

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Н. И. БУРАВЧУК**

# **РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**



Ростов-на-Дону  
Издательство Южного федерального университета  
2009

УДК 691  
ББК 38.3  
Б 90

*Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Южного федерального университета*

*Рецензенты:*

доктор технических наук, профессор **Курочка П. Н.**,  
доктор химических наук, доцент **Ерейская Г. П.**

*Учебное пособие подготовлено и издано в рамках национального проекта  
«Образование» по «Программе развития федерального  
государственного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
“Южный федеральный университет” на 2007–2010 гг.»*

**Буравчук Н. И.**

**Б 90**    Ресурсосбережение в технологии строительных материалов: учебное пособие / Н. И. Буравчук. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. — 224 с.

ISBN 978-5-9275-0681-1

Обобщены результаты исследований и опыт промышленного использования золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС и горелых пород отвалов некоторых шахт Ростовской области в производстве заполнителей, вяжущих, керамики, бетонов различного назначения, материалов для дорожного строительства; даны сведения о составе и свойствах горелых пород шахтных отвалов и золошлаковых отходов; приведены технологические схемы ресурсосберегающих технологий производства строительных материалов.

Для инженерно-технических и научных работников угольной и строительной отрасли, занимающихся разработкой техногенных месторождений, производством строительных материалов, охраной окружающей среды.

ISBN 978-5-9275-0681-1

УДК 691  
ББК 38.3

© Буравчук Н. И., 2009  
© Южный федеральный университет, 2009  
© Оформление. Макет. Издательство  
Южного федерального университета, 2009

# ВВЕДЕНИЕ

Перед строительными организациями особенно остро стоит задача рационального природопользования, позволяющего удовлетворить потребности производства, не забывая об охране и воспроизводстве окружающей среды. При этом идеология безграничного технического прогресса уступает место концепции устойчивого развития, учитывающей интересы не только нынешнего, но и грядущих поколений.

Одно из направлений этой концепции – использование отходов промышленности, накапливающихся в отвалах и представляющих собой техногенное сырье. Из огромного количества минерального сырья, извлекаемого из природной среды для целей производства, в конечный продукт превращается лишь 1,5–2,0 %. Основная же его масса переходит в производственные и бытовые отходы. Загрязнение окружающей среды ведет к необратимым нарушениям ее состояния и негативно сказывается на экологической безопасности нашего государства и здоровье населения.

При значительных объемах техногенных скоплений уровень их утилизации невысокий. Основным потребителем промышленных отходов может быть строительная индустрия. Производство строительных материалов является наиболее материало- и энергоемкой отраслью человеческой деятельности. В этом направлении используются природные ресурсы, максимально готовые к употреблению, так как они требуют минимальных затрат труда. Извлечение природных ресурсов из взаимосвязанных естественных состояний, где их присутствие обеспечивает равновесие и устойчивость окружающей среды, вносит дисбаланс в систему самоорганизационных процессов геосистемы. Уменьшить это разбалансирование можно изменением природной сырьевой базы стройиндустрии путем пополнения ее новым видом сырья – техногенным.

В Ростовской области имеются огромные запасы техногенного сырья, потенциально пригодного для производства строительных материалов. Для Ростовской области таким многотоннажным техногенным сырьем являются запасы шахтных пород и золошлаковых отходов, складированные в терриконах и золоотвалах.

# 1 ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ - СЫРЬЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ресурсосберегающие технологии – обобщенное название технологий, в которых при получении изделия заданного качества и требуемой производительности технологический процесс обеспечивается при минимальном расходе энергии (механической, электрической и др.), затратах на основные и вспомогательные материалы, зарплате основного производства.

Одной из важнейших задач строительной отрасли является разработка и внедрение ресурсо- и энергосберегающих технологий, предусматривающих широкое применение местного минерального сырья и техногенных продуктов. В области ресурсо- и энергосберегающих технологий приоритетными направлениями можно считать:

- совершенствование традиционных технологий;
- предварительная подготовка исходных компонентов, основанная на современных технологических приемах;
- применение малоэнерго- и материалоемких материалов, в том числе техногенного сырья.

В условиях дефицита сырьевых ресурсов возрастает роль экономики материальных ресурсов, прежде всего за счет вовлечения в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов. Расчеты показывают, что в случае комплексного использования сырьевых материалов и техногенных продуктов выпуск многих из них можно увеличить на 25–30 %. Ресурсосбережение приобретает всеобъем-

лющий характер и становится частью экономического мировоззрения как системы взглядов на мир.

Из всех образующихся и накопившихся отходов самыми многотоннажными являются отходы угледобывающей и топливной промышленности. Техногенные отходы отличаются большим разнообразием свойств и по-разному влияют на качество продукции на их основе. Это приводит к необходимости разработки для каждого вида отхода особых методов их подготовки. Как справедливо отмечает академик В. И. Соломатов [1], для эффективного использования техногенных отходов нужен принципиально новый подход к их утилизации, требующий дополнительных затрат для создания информационно-аналитического банка данных об отходах, технологий и санитарно-гигиенической их оценки, разработки методов кондиционирования и хранения.

Среди промышленных отходов одно из первых мест занимают золошлаковые отходы и породы шахтных отвалов. По химическому, гранулометрическому и фазово-минералогическому составу эти отходы во многом идентичны природному минеральному сырью. Использование золошлаковых смесей и пород шахтных отвалов в промышленности строительных материалов – один из стратегических путей решения экологической проблемы по улучшению состояния природной среды в зоне работы ТЭС и угольно-промышленных районов. Золошлаковые смеси и породы шахтных отвалов имеют хорошую перспективу для широкого их применения с целью ресурсосбережения, решения экономических проблем, связанных с сохранением природных ресурсов. С другой стороны, эта «ниша» пока не достаточно освоена и поэтому утилизация этих отходов представляет перспективное направление для развития малого и среднего бизнеса. Как отвалы пустых шахтных пород, так и золошлаковые смеси, складированные на земной поверхности, обладают определенной ценностью. В них содержатся многие полезные компоненты, их можно использовать в качестве минерального сырья для стройиндустрии, в дорожном, гидротехническом и других видах строительства. Все это служит основанием того, что из разряда бесполезных отходов они могут быть отнесены в класс техногенных месторождений. Разработка таких месторождений позволит не только расширить минерально-сырьевую базу,

получить дополнительную продукцию, но и снизить загрязнение окружающей среды.

### ***Использования золошлаковых отходов и пород шахтных отвалов***

***Золошлаковые отходы*** используют для производства строительных материалов и изделий самой широкой номенклатуры. За счет использования золошлаковых отходов экономится до 30 % цемента и более половины природных заполнителей, снижается теплопроводность бетонов, уменьшается масса зданий и сооружений. В стране к настоящему времени разработано более 100 технологий изготовления различных бетонов с использованием зол и шлаков.

В тяжелых бетонах использование золошлаковых отходов обеспечивает повышение качества многокомпонентной матрицы и улучшение строительно-технических свойств готовой продукции [2, 3]. Введение в бетон золы-уноса позволяет снизить опасную концентрацию щелочей в цементе и модифицировать структуру бетона. Однако нестабильность свойств зол ТЭС по дисперсности, химическому и минеральным составам, содержанию оксидов щелочных металлов и несгоревшего топлива, пуццолановой активности и другим факторам, сдерживает их применение в производстве бетона, поскольку приводит к колебаниям его свойств [4–6]. Химический состав золы может изменяться в широком диапазоне и зависит не только от вида источника золообразования, но и от состава сжигаемого топлива. Не способствует применению зол ТЭС и отсутствие конкретных рекомендаций по оптимальному их содержанию в бетонах и растворах, особенно высоких классов.

Успешный опыт использования золошлаковых отходов в ячеистых и тяжелых бетонах описан в работах [7–10]. Авторы вводили в состав бетонной смеси до 25 % золы-уноса. Для модифицированных золой составов зафиксирована повышенная скорость набора прочности по сравнению с бездобавочным бетоном. Отсюда можно сделать вывод, что золу можно рассматривать как ускоритель твердения бетона. Введение золы в состав бетона приводит к снижению его плотности, тем большее, чем выше количество вводимой золы. Это можно объяснить пониженной насыпной плотностью золы,

а также повышенным расходом воды в модифицированных бетонах. При этом закономерно снижается теплопроводность тяжелого бетона. При добавлении золы морозостойкость бетона не снижается. Установлена возможность изготовления тяжелого бетона М300 с 10 % заменой портландцемента на золу уноса без существенного изменения физико-механических характеристик. Тепловлажностная обработка позволяет повысить количество вводимой золы в состав бетона без снижения прочностных характеристик. Введение золы позволяет снизить себестоимость бетона и улучшить его свойства.

По мнению разработчиков [11], максимальное содержание цемента в бетоне, при котором целесообразно использовать золу ТЭС с сохранением ее пластифицирующего действия, составляет 300–320 кг/м<sup>3</sup>. При этом суммарный расход цемента и золы ТЭС, определяемый по действующим методикам с учетом экономии первого компонента в количестве 50–70 кг/м<sup>3</sup>, будет находиться на уровне 400 кг/м<sup>3</sup>. При большем их суммарном расходе содержание воды в бетонной смеси для сохранения ее удобоукладываемости увеличивается, и технический эффект от использования золы значительно снижается или полностью отсутствует. Таким образом, применение зол ТЭС в бетонах с повышенным расходом цемента, в том числе в кассетном производстве, где их использование особенно целесообразно ввиду повышения качества бетонной смеси и уменьшения ее расслаиваемости, по технико-экономическим показателям не является эффективным. Для увеличения объемов утилизации золы в бетонах требуется новая концепция технологии применения зол, базирующаяся на получении стабильно высокого качества всех классов и видов бетонов, в составе которых используется зола ТЭС. Исследованиями установлено, что такие показатели бетонов достигаются при оптимальной дисперсности зол ТЭС, превышающей дисперсность цемента на 150–170 м<sup>2</sup>/кг, а возможный теоретический интервал их использования для экономии цемента составляет 20,6–32,4 % [12]. Количество замещенного цемента зависит от пуццоланической активности золы. Установлено, что золы ТЭС с оптимальными параметрами (дисперсность, содержание) повышают коррозионную стойкость и морозостойкость бетона, уменьшают водоотделение и расслаиваемость бетонной смеси, качественно улучшают поверхность изделий (практически отсутствуют крупные

раковины), формируемых в кассетных формах, а также снижают энергоемкость и себестоимость готовой продукции.

Эффективным направлением использования зол ТЭС с оптимальной дисперсностью являются ячеистые бетоны автоклавного твердения. Применение зол ТЭС обеспечивает их высокие и стабильные строительно-технические свойства за счет получения плотного и прочного известково-цементно-золяного камня, а также более высокой пуццоланической активности золы относительно кварцевого песка. При этом целесообразно осуществлять более тонкое измельчение известково-золяной составляющей ячеистого бетона.

Исследованиями авторов [13, 14] показано, что золу ТЭС эффективно использовать в неавтоклавном пенобетоне плотностью 200–550 кг/м<sup>3</sup>. Введение золы ТЭС в пенобетон в количестве 20–30 % повышает его прочность на 30–40 %, обеспечивает возможность его применения в виде теплоизоляционного, жаростойкого и огнезащитного материала с температурой применения до 1200 °С.

В результате проведенных исследований было установлено, что на основе многокомпонентных сухих смесей, приготовленных с комплексными химическими добавками, можно получить ячеистые бетоны, характеризующиеся достаточно высокими показателями физико-механических свойств.

В работах [15, 16] рассмотрена возможность изготовления эффективного бесцементного газобетона на основе зол ТЭС. Замена песка на золы позволяет одновременно повысить прочность изделий и значительно сократить расход цемента в бетоне, упростить технологию, так как отпадает необходимость в предварительном просеве и сушке, а в зимнее время – размораживании песка. Автором предложено использовать золы не только в газобетоне, но и в технологии пенобетона, сухих полистиролбетонных смесях, наливных самовыравнивающихся полов [17].

Исследованиями [18, 19] показано, что на основе переработки шлаков тепловых электростанций можно получать эффективный гранулированный пористый заполнитель с насыпной плотностью 200–250 кг/м<sup>3</sup>. На основе таких заполнителей можно получить пеностеклобетон. Экономическая эффективность применения пеностеклобетона в качестве штучных строительных изделий (блоки, перегородки, стены и другие виды конструктивных решений)



позволяет уменьшить толщину стены ограждающей конструкции в 1,2–1,5 раза по сравнению с конструкциями из пено- или газобетона, сохранив при этом повышенные теплоизоляционные качества и комфортно-климатические характеристики конструкции.

В институте высоких температур РАН предложено несколько технологий по переработке и использованию золошлаковых отходов в производстве строительных и теплоизоляционных материалов [20, 21]. По мнению специалистов этого института, в XXI веке наибольшие перспективы имеют комбинаты, комплексно использующие угли, которые наряду с электрической и тепловой энергией будут производить стройматериалы, глинозем, цемент и другую продукцию.

Одним из самых золоемких направлений в производстве строительных материалов является изготовление керамических кирпичей, камней и блоков. Изготовление строительного кирпича из золы ТЭС не требует разработки глиняных карьеров, транспортировки сырья и его многомесячного содержания в запасниках.

Известно, что золы и шлаки используются как сырьевой компонент и в качестве добавки (5–20 %) на многих кирпичных заводах. Даже небольшая добавка золы повышает качество кирпича и при этом снижает расход электроэнергии. За счет использования золы на кирпичных заводах экономится до 20 % топлива, повышается качество продукции. По этому направлению использования зол и шлаков ТЭС можно отметить работы [22–29]. Выполненными исследованиями установлено, что добавки золошлаковых отходов позволяют снизить температуру спекания керамической шихты на 50–100 °С, определены оптимальные количества вводимых золошлаковых смесей в зависимости от свойств используемого глинистого сырья. Доказана возможность получения с использованием золошлаковых отходов не только изделий грубой строительной керамики (глиняный кирпич, облицовочные и фасадные плитки), но и фаянсовых изделий строительного и культурно-бытового назначения. Показано, что в присутствии золошлаковых смесей повышается спекаемость шихты, повышается прочность черепка. Изделия характеризуются высокой морозостойкостью и прочностью, имеют привлекательный внешний вид и цвет.

Ценные цветные и редкие металлы могут быть извлечены из золошлаковых материалов в комплексном технологическом про-

цессе [30–33], когда эффективно утилизируется основная масса золошлаковых смесей для получения строительных материалов, камнелитых изделий, строительства и т. д. Присутствие в золах ценных элементов позволяет рентабельно извлекать их при содержании даже более низком, чем в промышленных рудах. При этом, кроме существенного экономического эффекта, решаются многие экологические проблемы.

В процессе фракционирования золошлаковых материалов выделяются магнитные микросферы, применяемые в металлургии, приборостроении, радиотехнике и электронике. Эти микросферы имеют размеры от 10 до 500 мкм. Содержание этих фракций в золе относительно невелико (около 2–5 %). Однако они обладают уникальными свойствами: их объемная насыпная масса – 100–150 кг/м<sup>3</sup>; а сферы имеют алюмосиликатный состав [27, 34, 35]. Это определяет их повышенную кислотостойкость и термостойкость. В композиции с другими материалами (глиной, цементом, гипсом) они позволяют получать эффективные материалы. На основе микросфер можно изготавливать огнеупорные изделия. По своим основным характеристикам легкие огнеупорные теплоизоляционные изделия с использованием микросфер наиболее эффективны в металлургии и энергетике, где с успехом могут заменить традиционный шамотный легковес.

Разработке методов выделения микросфер из золы, а также возможных направлений их использования, как в качестве насыпного теплоизоляционного материала, так и в качестве компонента для получения новых композиционных материалов различного назначения (тепло- и звукоизоляционные материалы, фильтры, композиционные резины, пластмассы и др.) посвящены работы [29, 30]. Введение микросфер в композиционные материалы снижает их плотность, увеличивает прочность на объемное сжатие и устойчивость к различным деформациям, улучшает тепло-, электро- и звукоизоляционные свойства.

Технология выделения микросфер из состава зол и шлаков ТЭС сложна. Однако использование такого ценного компонента зол и шлаков ТЭС позволит получить специальные тепло- и звукоизоляционные материалы с уникальными показателями свойств по теплопроводности и плотности материала. И несмотря на мате-

риальные затраты на получение микросфер, получаемый в итоге теплоизоляционный материал будет эффективен.

Стоимость строительства автомобильных дорог можно снизить при широком применении нетрадиционных материалов и утилизации отходов промышленности. Так, в Ростовской области имеются значительные запасы золы-уноса и золошлаковых смесей, которые как самостоятельно, так и в сочетании с другими компонентами используют при укреплении мелких одномерных песков, лёссовых грунтов и малопрочных известняков в качестве малоактивного вяжущего или гранулометрической добавки. Эти смеси – медленно-схватывающиеся, отличаются удобоукладываемостью и технологичностью устройства конструктивных слоев дорожных одежд, позволяющих: выполнять все технологические процессы укладки, разравнивания и уплотнения с обеспечением высокого качества дорог. Производственные испытания подтверждают эффективность и целесообразность применения золошлаковых смесей в конструктивных слоях дорожных одежд [36–38].

Имеется опыт [39] устройства морозозащитных оснований из смесей следующего состава: золошлаковые смеси, укрепленные портландцементом (6–8 %) или золами уноса (15–20 %) без добавок или с добавками сульфитно-дрожжевой бражки (0,5–1,5 %). Устройство морозозащитных оснований из таких смесей позволяет уменьшить толщину морозозащитных слоев из песчаных грунтов примерно в 1,5 раза, сократить общую толщину дорожной одежды на 15–17 %, уменьшить транспортные перевозки песка не менее, чем на 25–30 %. Такие слои дорожной одежды являются несущими.

Дорожная отрасль испытывают потребность в минеральном порошке для асфальтобетонных смесей. Исследованиями авторов [40] показано, что благодаря гидравлической активности и дисперсности золы уноса, она с большим техническим и экономическим эффектом может быть использована в качестве наполнителя в асфальтовом бетоне. Авторы делают выводы, что активная зола уноса является хорошим минеральным порошком для асфальтового бетона. Благодаря применению золы есть возможность повысить качество асфальтового бетона, сохранить природные ресурсы и решить некоторые вопросы защиты окружающей среды от загрязнения.

Для экономии дефицитного цемента при устройстве оснований дорожных одежд применяются составы с использованием золошлаковых смесей. Эффективным направлением, как следует из данных [11], является использование зол ТЭС в шлакосиликатных бетонах, применяемых для ремонта аэродромов, дорог, мостов, а также для устройства щелоче- и кислотостойких полов в животноводческих комплексах, цехах химических, металлургических и других производств, работающих с агрессивными средами. Устройство полов может осуществляться путем их заливки или из плиток, приготовленных из шлакосиликатного бетона.

Кроме того, такой вид бетона позволяет производить щелоче- и кислотостойкий бортовой камень, тротуарные и дорожные плиты прочностью 900–1200 МПа и маркой по морозостойкости F600–F1000, т. е. со строительно-техническими свойствами на уровне свойств аналогичных изделий из гранита.

Сложность использования золошлаковых смесей из отвалов заключается в том, что, как правило, эти материалы неоднородны. Кроме того, эти отходы имеют повышенную влажность, не классифицированы по химическому и гранулометрическому составам. При этом достаточно эффективное оборудование для классификации и предварительной сушки золошлаков из отвалов отсутствует как у нас в стране, так и за рубежом. Для решения проблемы использования золошлаковых отходов в технологии строительных материалов и в дорожном строительстве наиболее эффективным и необходимым условием является строительство на отвалах специальных предприятий по предварительной подготовке и сортировке золошлаковых смесей на 3–4 фракции. В этом случае у потребителей будет возможность приобретать именно те фракции, в которых они нуждаются.

В качестве одной из наиболее распространенных причин, влияющих на уровень использования золошлаковых материалов (ЗШМ), некоторые специалисты часто называют их токсичность и радиоактивность. Однако исследования ЗШМ в этом направлении показали отсутствие у них токсичных свойств. Согласно проведенным исследованиям, золошлаковые материалы оказались практически не радиоактивными [41, 42]. Отметим при этом, что повышенная радиоактивность некоторых видов углей после высо-

котемпературной обработки в топках котлов может снижаться до фонового уровня.

*Горелые шахтные породы* в технологии строительных материалов менее распространены. Однако за счет них можно существенно расширить сырьевую базу для дальнейшего развития производства строительных материалов. Работами Г. И. Книгиной и др. [7–11] установлено, что горелые породы способны проявлять гидравлическую активность, что позволяет вводить их в состав бетонной смеси в тонкомолотом виде взамен части цемента, а также использовать для получения смешанных вяжущих. Известково-глинистые вяжущие на основе горелых пород имеют высокую прочность (прочность при сжатии пропаренных – 20–30 МПа, автоклавированных – 42–53 МПа), морозо- и воздухоустойчивы, долговечны. На основе активизированного известково-глинистого вяжущего возможно получение газобетонов, кладочных растворов, мелкозернистых легких бетонов и автоклавных высокопрочных изделий.

На заполнителях из горелых пород Экибастузского бассейна организован серийный выпуск крупных и мелких блоков для возведения малоэтажных объектов жилого, общественного и производственного назначения, а также для нужд индивидуального строительства. При выпуске изделий на заполнителях из горелых пород экономия цемента составила 15–35 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона [12].

Высокое содержание в горелых породах глинозема, кремнезема и наличие гидравлической активности обуславливают возможность эффективного использования их в качестве глинисто-кремнеземистого компонента при производстве безавтоклавных и автоклавных ячеистых бетонов.

Исследованиями Н. И. Федынина [28] доказано, что в ячеистобетонной смеси в присутствии частиц несгоревшего топлива горелых пород происходит ускорение и углубление реакции между алюминиевой пудрой и гидроксидом кальция, интенсифицируются другие физико-химические процессы: сокращается время вспучивания, увеличивается конечное приращение объема смеси, ускоряется нарастание пластической прочности. Все эти факторы положительно сказываются на технологии ячеистых бетонов.

Значительно сократить расход глинистого сырья, топлива и отощающих добавок в керамической промышленности и повысить

эффективность выпускаемой продукции можно за счет использования шахтных пород. Породы шахтных отвалов по химическому и минералогическому составу близки к глинистому сырью, используемому при производстве керамических изделий, а органическая составляющая углеотходов позволяет использовать их в качестве топливного компонента шихты, что значительно сокращает расход топлива на обжиг. Горелые шахтные породы в составе шихты для кирпича можно широко применять как комплексную добавку (отощающую, частично выгорающую и алюмо-кремнеземистую, участвующую в физико-химических реакциях при обжиге).

Опыт работы кирпичных предприятий [31] подтверждает, что добавка горелых и негорелых пород в количестве 10–25 % в глиняный кирпич снижает брак, повышает марочность кирпича. Добавки углеотходов в керамических массах улучшают технологические свойства местного низкосортного сырья. Научные исследования [32–37] и опыт работы предприятий показывают, что применение углеотходов в смеси с местными глинами дает возможность корректировать физико-механические свойства керамических стеновых материалов, облицовочных и фасадных плиток, канализационных труб, изделий художественной керамики, огнеупоров. Количество вводимой добавки зависит от минералогического состава и физико-механических свойств применяемого глинистого сырья, а также требований к изделиям. Содержание добавок в шихте – 10–80 %.

Опыт применения горелых и негорелых шахтных пород на некоторых кирпичных заводах Ростовской области в качестве топливосодержащей и отощающей добавки подтверждает возможность регулирования и улучшения физико-механических свойств кирпича пластического и полусухого способов прессования. При добавке 12–15 % горелых шахтных пород снижается чувствительность глин к сушке, значительно уменьшается количество брака; получаемый кирпич соответствует марке «125».

Со значительным экономическим эффектом шахтные породы и отходы углеобогащения используются не только при производстве глиняного кирпича, но и в качестве основного материала и добавок при производстве керамических камней, дренажных труб и других изделий стеновой керамики. Поскольку запасы топливосодержащих отходов значительно превышают потребности кирпичной промышленности, имеется возможность выбора таких отходов,

применение которых даст наибольший экономический эффект как за счет экономии топлива, так и за счет улучшения качества изделий (повышение марочности и морозостойкости, снижение средней плотности, улучшение внешнего вида).

Большой объем работ комплексной переработки отходов угольной промышленности проводится во ВНИИстроме и Институте горючих ископаемых. Предложенные разработки находят практическую реализацию в производстве, особенно по утилизации отходов добычи и обогащения угля Донецкого и Подмосковского бассейнов. Введение углеотходов в шихту для производства кирпича в качестве добавки не требует существенных изменений в технологической линии заводов.

На основе золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС и горелых пород террикона бывшей шахты им. Петровского разработаны и испытаны в заводских условиях составы формовочных масс для керамических фасадных плиток и изделий художественной керамики [26]. Горелые породы и золошлаки в составах керамических масс частично заменяли глинистое сырье, выполняли роль отошающей добавки и плавня. В качестве глинистого сырья использованы глины Федоровского месторождения (Ростовская область, Зверевский район). Содержание отходов в составах керамических масс варьировалось в пределах от 30 до 70 %. В результате проведенных экспериментов установлено, что введение в состав керамических масс горелых пород и золошлаков положительно сказывается на свойствах продукции: снижается водопоглощение, уменьшается количество брака, повышаются морозостойкость и механическая прочность.

Отходы угольной промышленности и теплоэнергетики применимы в производстве пористых заполнителей (аглопорит, керамзит и т. д.). Использование этих отходов позволяет снизить расход сырьевых и энергетических затрат. Отходы добычи и обогащения углей различных угольных бассейнов как сырье для пористых заполнителей исследовались во ВНИИстроме им. П. П. Будникова, ИГИ, НИИкерамзите. Получаемые пористые заполнители имеют насыпную плотность 600–800 кг/м<sup>3</sup>, прочность 0,6–1,4 МПа и по свойствам и техническим требованиям соответствуют действующим стандартам. Результаты испытаний легких бетонов на аглопоритовом щебне и песке из отходов угледобычи показывают, что

из таких бетонов можно изготавливать практически всю номенклатуру изделий для жилищных, гражданских, промышленных и сельскохозяйственных зданий, а также для ряда инженерных сооружений, в том числе для подземных объектов в угольной промышленности [43, 44].

В Ростовской области, как и в целом по стране, всегда был дефицит огнеупорных глин. Он стал еще ощутимее с отделением Украины, где сосредоточены основные запасы качественных, в том числе и огнеупорных глин. Производство огнеупорных изделий у нас практически отсутствует. Их ввоз из других стран обходится дорого. Составить сырьевую базу для изготовления огнеупорных изделий могут отходы добычи и сжигания углей.

Горелые шахтные породы по физико-механическим свойствам (прочность, огнеупорность, плотность обожженного черепка, водопоглощение) могут стать равноценным заменителем шамота, получаемого обжигом до полного спекания огнеупорной глины. Имеется опыт [45] получения огнеупорного шамотного кирпича на основе горелых шахтных пород. В составе шихты для огнеупоров содержание породы может быть до 80 %. В качестве пластифицирующей добавки применяется пластичная глина или глина средней пластичности с огнеупорностью не менее 1250–1300 °С. Основное назначение глины в составе шихты сводится к выполнению роли связующего. Повышение огнеупорности изделий (выше 1600 °С) обеспечивается при совместном введении в шихту горелой породы и корректирующей добавки в виде  $Al_2O_3$  или алюминиевых отходов Белокалитвенского металлургического завода.

На Пермском заводе силикатных панелей выпущены и испытаны опытные партии жароупорных бетонов. Этими исследователями рекомендованы к использованию горелые породы наиболее крупных геолого-экономических районов Кузбасса – Прокопьевско-Киселевского и Кемеровского. Рабочие температуры жароупорных бетонов зависят от количества в них горелых пород. Максимальная рабочая температура жароупорного бетона из горелых пород – 1000 °С.

Принцип ресурсосбережения в технологии дорожного строительства основан на использовании нетрадиционного сырья – золошлаковых отходов и горелых шахтных пород. В результате исследований зол и шлаков ТЭС применительно к дорожному строительству выявлены возможности практического их применения



при устройстве дорожных одежд в самых различных климатических зонах.

Практический опыт использования углеотходов в дорожном строительстве имеется во всех угольных регионах. В наиболее крупных масштабах углеотходы используются на Украине. Так, имеется опыт сооружения с применением этих отходов объездной дороги к пос. Белоречинский. Протяженность участка 500 м, ширина проезжей части 7 м, интенсивность движения – до 200 автомашин в сутки. Хорошо обожженная порода с размером кусков 20–45 мм использована при возведении земляного полотна; увлажнение не производилось. Дорога успешно эксплуатируется более 20 лет.

По данным Донецкого филиала Укргипродора, горелые породы Горской ЦОФ пригодны для возведения земляного полотна без каких-либо ограничений. Они использованы при устройстве земляного полотна объездной автомобильной дороги Ореховка–Ивановка. На построенном участке дороги высота насыпи составляет 0,8–1,5 м. Порода отсыпалась и укатывалась послойно (25–40 см) гладковальцовыми катками, увлажнение не применялось. При уплотнении происходило разрушение крупных кусков породы и образование плотной стабильной по составу структуры насыпи [39].

В Кизеловском угольном регионе построен участок автодороги Пермь–Соликамск. В основании дороги использована горелая порода шахты «Северная», укрепленная цементом. Перемешивание породы с цементом производилось непосредственно на строящемся участке с помощью автогрейдера. Обследование, проведенное после нескольких лет эксплуатации дороги, показало хорошее состояние участка.

Возможность и эффективность применения целого ряда местных материалов, в том числе горелых пород, обосновываются в работах [46–51]. Отмечается, что обработанные вяжущими пористые материалы обладают высокими деформационными, прочностными показателями и теплоизоляционными свойствами, позволяющими в условиях промерзания сократить толщину слоев дорожной одежды до 30 %. Такие материалы могут применяться при строительстве автомобильных дорог любых категорий во всех дорожно-климатических зонах.

Имеется опыт по использованию горелых пород в дорожном строительстве в Ростовской области. В пос. Киселево экс-

платируется участок подъездной автомобильной дороги к промплощадке шахтного вентиляционного ствола. Нижние слои основания изготовлены из горелых пород отвалов шахт им. Кирова и Воровского. Испытания щебня из горелых пород в основании дорог IV и V категорий с устройством покрытий облегченного, переходного и низшего типов проведены в г. Гуково на шахтах «Алмазная», «Замчаловская», 50-летия Октября [52, 53]. На опытных участках при реконструкции и ремонте промплощадок некоторых шахт, устройстве технологических и подъездных дорог для грузового и легкового автотранспорта, устройстве асфальтобетонных покрытий промплощадок и тротуаров городских улиц применялись нерудные материалы из горелых пород отвала шахты № 26. Эффективность применения нерудных материалов из отходов добычи и сжигания углей подтверждается положительным результатом эксплуатации опытных участков дорог, промплощадок, тротуаров.

При устройстве земляного полотна подъездного железнодорожного пути от шахты «Садкинская» до железнодорожного пути общего назначения [54] использованы породы отвалов шахт № 17 и «Северюговская», расположенных в пос. Синегорский Ростовской области. Для устройства земляного полотна подъездного железнодорожного пути шахтные породы отвалов подвергались усреднению путем многократной перевалки бульдозером при отгрузке с отвала. Технология устройства земляного полотна из шахтных пород аналогична послойному возведению насыпи из традиционно используемого грунта.

За период эксплуатации, в течение 5 лет, земляное полотно не изменило геометрических размеров, включая откосы и обочины, и соответствует предъявляемым к нему требованиям по плотности и прочности. Видимых деформаций и разрушений нет. Использование шахтных пород для возведения земляного полотна и насыпей позволяет снизить затраты на их устройство. Замена грунтов отвальными горелыми шахтными породами при возведении земляного полотна производилась и в других угледобывающих регионах.

Из приведенного обзора следует, что одним из резервов экономии природных сырьевых ресурсов и снижения энергозатрат для получения экономичных, с высокими потребительскими свойствами строительных материалов могут стать техногенные отходы угольной промышленности и теплоэнергетики. Строительная продукция на

основе золошлаковых отходов и пород шахтных отвалов с высокими показателями свойств и качества и при этом более дешевая сможет вытеснить аналогичную продукцию, изготовленную из природных материалов. Это вполне возможно, но не сразу, поскольку новой продукции еще надо завоевать свое место на рынке товаров. При этом необходимо проявить активность в конкурентной борьбе при ее продвижении к покупателю. Неготовность потенциальных потребителей золошлаковых отходов и пород шахтных отвалов к этой борьбе может стать сдерживающим фактором при замене природных материалов на техногенное сырье.

### ***Перспективные научные направления в материаловедении***

Технологии производства строительных материалов постоянно совершенствуются. В связи с развитием современного материаловедения новые представления о дисперсных материалах и строительных композитах выходят за рамки понятия их структуры. Наряду с этим появляются более емкие понятия строения вещества и материалов: структурная топология, топологические переходы и состояния и пр. Это становится особенно актуально в связи с развитием такого направления как наносистемы в строительном материаловедении.

Характерной чертой современных научных направлений строительного материаловедения является то, что они не только позволяют создавать новые и совершенствовать существующие технологии и материалы, но и дают возможность сквозь призму нетрадиционных подходов по-новому взглянуть на сырье, технологию, свойства и области применения современных строительных материалов и изделий, открывая путь к стремительному развитию новых научных направлений «Наносистемы в строительном материаловедении» и компьютерное материаловедение [50, 51, 55–58].

По мнению ученых, намечаются три основные ветви нанотехнологий в строительном материаловедении: посредством синтеза вещества (получение вяжущих, материалов из расплавов и т. д.), т. е. от нано- к макрокомпозитам; за счет дезинтеграции (сухие строительные смеси, керамобетоны и др.) – от макро- к нановеществу; путем применения в качестве микродобавок для композиционных вяжущих уже широко используемых и хорошо зареко-

мендовавших себя наноматериалов (нанотрубки, фуллерены и др.) различного состава, синтезируемых изначально для других целей. Данное разделение условно, например синтез и механоактивация неразрывно связаны и дополняют друг друга. Представляется, что будущее стройиндустрии за сырьем, разрушенным до уровня элементарных ячеек, атомов, что будет способствовать созданию строительных материалов не только с использованием наноматериалов и наносистем, но и сборке строительных материалов от атома до строительного изделия.

Современные материалы должны быть ориентированы на работу в жестких условиях эксплуатации и поэтому должны обладать повышенной прочностью, морозостойкостью, истираемостью, водонепроницаемостью, т. е. теми свойствами, которые определяют надежность изделий и конструкций в целом. Для решения столь важной задачи строительного материаловедения необходима реализация новых научных подходов. Одним из таких является нанотехнологический подход.

Идеальными «кандидатами» для применения наноуправления являются бетоны, представляющие собой сложную, частично находящуюся на наноуровне структуру, включающую гидратные фазы цемента с размером частиц 1–100 нм, зерна исходного цемента (10–100 нм), добавки и заполнители.

Стремления использовать мелкие и ультрамелкие модификаторы для регулирования свойств строительных материалов на молекулярном уровне являются теми небольшими шагами, которые должны вывести строительное материаловедение на качественно иной уровень. При создании малоотходных ресурсосберегающих технологий учет структурной и фазовой нестабильности природного и техногенного сырья позволяет осуществлять выбор оптимальной технологии их переработки и использования, сокращать затраты энергии на синтез готовых композитов. В качестве мелкодисперсного модификатора может быть использована зола уноса. Зола-унос не является однородным материалом: морфология, гранулометрия, содержание стеклофазы, а также вид кристаллической составляющей – муллита, кварца, гематита, магнетита и пр. – могут изменяться в широком диапазоне. Размер частиц микрокремнезема мельче. Поэтому влияние ввода микрокремнезема как наполнителя и его пуццолановая активность при одинаковой дозировке с золой

уноса выше, чем золы уноса. Для повышения ее пуццоланической активности и приравнивания ее к активности микрокремнезема как представителя нанодисперсного материала необходимо провести дополнительную активацию измельчением. При этом, кроме активации золы, произойдет и стабилизация ее физико-химических характеристик.

Общие принципы нанотехнологии, уже используемые в исследованиях некоторых ученых, свидетельствуют о назревшем поворотном моменте в материаловедении и разработке новых материалов, обладающих заданными показателями свойств, на основе эффективных вяжущих, синтезированных при помощи нанотехнологий. Нанотехнологии позволяют придать конструкционным материалам весьма разнообразные свойства. Один из основных законов развития техники приводит к тому, что все больше функций, обычно возлагаемых на устройства, будут выполнять сами материалы. Область материаловедения существенно изменится – появятся так называемые «умные» материалы: сверхпрочные, сверхлегкие и негорючие материалы. По предварительным прогнозам [58], нанотехнологии произведут такую же революцию в манипулировании материей, какую произвели компьютеры в манипулировании информацией.

Эффективность материалов, получаемых по новым технологиям, определяется их уникальными свойствами, обеспечивающими их эксплуатацию в особо жестких условиях, удлинением срока ремонтных работ и т. п. В новых технологиях непременно будут использованы различные техногенные материалы. Для этого потребуется более глубокая переработка и подготовка. Компенсацией затрат на подготовку техногенных отходов будет, во-первых, экономия природных ресурсов, во-вторых, приобретение получаемыми материалами особых уникальных свойств.

Переживаемый строительной наукой этап развития характеризуется кардинальным изменением понятий и подходов к строительным материалам и изделиям. Этот этап подразумевает полный переход от эмпирической отрасли, где научные подходы ограничиваются в основном методами обработки результатов большого количества экспериментов, к научному строительному материаловедению.

Настоятельное требование времени привело к появлению нового направления в строительной науке, базирующегося на изучении

явления кластерообразования, заключающегося в формировании групп частиц наполнителя и установлении закономерностей его влияния на природу структурообразования композиционных материалов. Одновременно с этим стали возникать проблемы, обусловленные трудностью математического описания взаимодействий отдельных частиц наполнителя и кластеров с вяжущим, а также межкластерного и внутрикластерного взаимодействия.

Очевидно, что преодолению данных проблем может способствовать широкое внедрение компьютерных технологий. Многие ученые это поняли, что сформировало новейшее направление в исследовании композитных материалов в широком понимании, названное термином «компьютерное материаловедение» [59–62], которое занимается изучением свойств композитных материалов на основе моделирования с применением компьютеров.

Появление универсальных оболочек и все более мощных алгоритмических языков программирования позволяет использовать компьютер как средство автоматизации процесса поиска оптимальных составов композитных материалов с целью получения последних с заранее заданными свойствами. Трудоемкость использования компьютера в таких исследованиях заключается в создании программного обеспечения, поскольку программы должны способствовать получению конечного результата, позволяющего использовать не алгоритмы, реализующие вычисления по заранее заданным аналитическим выражениям, а лишь ограничивающие критерии.

При таком подходе к компьютерному материаловедению любая решаемая задача разделяется на два направления – моделирование структуры композита и на основании полученной модели структуры моделирование и расчет свойств композитов в зависимости от качества исходных компонентов и их объемных концентраций в готовом материале.

# 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

## 2.1. Комплексная оценка техногенных отходов как минерального сырья

В Ростовской области имеются огромные запасы техногенного сырья, потенциально пригодного для производства строительных материалов. Многочисленные отвалы, терриконы, хвостохранилища, золоотвалы, в которых складированы огромные количества шахтных пород и золошлаковых отходов, являются характерной особенностью Ростовской области. Эти техногенные массивы становятся источниками загрязнения среды обитания. Отходы оказывают отрицательное воздействие на водный и воздушный бассейны, землю, недра, растительный и животный мир. Вблизи отвалов ухудшается жизнь людей.

Большинство из отвалов склонны к самовозгоранию. Выбросы горящих отвалов представлены такими газами, как оксид углерода, оксиды азота, сероводород и др. Горение может продолжаться в течение многих лет и десятилетий. В процессе горения горные породные массы разрушаются, при этом образуются тонкодисперсные фракции, легко подвергающиеся ветровой эрозии. Выбросы пылевидных веществ – это еще один источник загрязнения окружающего воздуха. Так, например, количество выбросов на горящем, неэксплуатирующемся отвале Бургустин-

ского шахтоуправления (г. Гуково), содержащем 450 тыс. м<sup>3</sup> породы, составляет 44,5 т в год. Из них на оксид углерода приходится 36,7; оксид серы – 3,67; оксид азота – 0,37; сероводорода – 1,83; пыль – 2 т. На горящем отвале ЦОФ «Гуковская» (объем породы – 17300 тыс. м<sup>3</sup>) количество выбросов составляет 329,3 т в год, из них: пыль – 31,4 т; CO – 256,8; SO<sub>3</sub> – 25,7; NO – 2,59; H<sub>2</sub>S – 12,81 т.

Опасность для водного и особенно воздушного бассейнов, для растительного мира представляет распыление золы ТЭС при хранении ее в отвалах. Поскольку отвалы расположены вблизи поселков и садовых участков, пыль создает крайне неблагоприятную экологическую обстановку для населения.

Анализ химического состава грунтовых вод вокруг золоотвалов, шахтных терриконов и хвостохранилищ показывает значительное повышение уровня минерализации грунтовых вод и появление в их составе новых микрокомпонентов (фтор, марганец, мышьяк, ванадий, молибден и др.), причем нередко их концентрации превышают допускаемые пределы.

Для размещения отходов добычи и сжигания углей необходимы значительные земельные площади. Техногенные массивы не только требуют отторжения каких-либо территорий для своего размещения, но и создают вокруг себя зоны дистанционного техногенного поражения, в десятки и сотни раз превышающие площади самих предприятий.

На строительство отвалов, складирование отходов и природоохранные мероприятия по предотвращению их негативного воздействия на окружающую среду тратятся огромные средства.

Одним из мероприятий по снижению техногенного давления на естественную среду обитания является утилизация отходов добычи и сжигания углей [63], повышение комплексности использования минеральных ресурсов, способствующее уменьшению площадей нарушаемых поверхностей, объемов выделения пыли и газа, снижению степени загрязнения почвы, водоемов, подземных и грунтовых вод.

Утилизация отходов добычи и сжигания углей не только необходима с экологической точки зрения, но и выгодна экономически.



Эффективности переработки и использования шахтных пород и золошлаковых отходов в Ростовской области способствуют следующие объективные факторы:

– **экономические**, связанные с тем, что в нашем густонаселенном и промышленно развитом регионе имеется большая потребность в строительных материалах и одновременно хорошо развита инфраструктура, что значительно облегчает внедрение разработок;

– **природные**, связанные с мягкими климатическими условиями, дающими возможность предприятиям, разрабатывающим отвалы и перерабатывающим отходы, работать практически весь год;

– **социальные**, связанные с определенной социальной напряженностью вследствие закрытия шахт и высвобождения большого количества трудоспособного населения.

– **экологические**, связанные с тем, что утилизация отходов добычи углей позволит решить некоторые экологические вопросы (снизить выбросы в атмосферу, освободить земли из-под отвалов, восстановить нарушенные ландшафты, восстановить биологическую активность почв, уменьшить загрязнение подземных и поверхностных вод), способствовать осуществлению принципа рационального природопользования.

Ликвидировать шахтные и золошлаковые отвалы можно только путем переработки и использования отходов, складированных в них. При этом появляется возможность решения другой важной для региона проблемы – пополнения сырьевой базы промышленности за счет использования техногенного сырья. Это позволит снизить объемы добычи природных материальных ресурсов и тем самым уменьшить вред, наносимый природе разработкой карьеров.

Использование техногенного сырья позволяет не только улучшить прочностные и деформативные характеристики материалов, но и появляется возможность направленного формирования макро- и микроструктуры материалов и изделий, а также существенного расширения сырьевой базы за счет использования местного сырья и техногенных отходов и снижения техногенной нагрузки на окружающую среду.

Самой материалоемкой отраслью, имеющей потенциальные возможности для вовлечения в производство значительных объемов отходов добычи и сжигания углей, является строительство. Состав

пород и золошлаковых отходов и их свойства не стабильны. Это один из главных сдерживающих факторов широкомасштабного использования данного техногенного сырья. Однако при соблюдении рекомендуемых технологических приемов при подготовке и переработке отходов из них может быть получена качественная продукция.

Накопленный многолетний опыт по переработке и использованию шахтных пород и золошлаковых отходов позволяет сделать следующие выводы.

1. Первичной продукцией из горелых пород являются нерудные строительные материалы: щебень, щебеночно-песчаные смеси и песок из отсевов дробления пород. В Ростовской области имеется дефицит качественного щебня и песка. Недостающее количество нерудных материалов поставляется из других областей и регионов. Затраты на транспортировку щебня и песка увеличивают их стоимость в несколько раз. В то же время из большинства горелых шахтных породных отвалов, имеющихся в области, могут быть получены щебень, щебеночно-песчаные смеси, отвечающие всем требованиям нормативной документации на подобного рода продукцию. Заполнители из горелых шахтных пород по качеству не уступают аналогичной продукции из традиционно используемого сырья, и даже имеют некоторые преимущества: не содержат илистых и глинистых частиц и других засоряющих примесей; глины в комках; из-за микропористости частиц легче по насыпному весу; отличаются хорошим сцеплением с растворной частью. Щебень из горелых пород может иметь марку по прочности от 400 до 1200.

При одинаковой прочности с природным щебнем нерудные материалы из горелых пород по насыпному весу легче, чем природные. Шероховатость поверхности частиц щебня и зерен отсевов дробления способствует хорошему сцеплению с цементным камнем.

2. Дорожное строительство является одним из наиболее емких потребителей щебня, песка и щебеночно-песчаных смесей. В дорожном строительстве наиболее целесообразно использовать заполнители из породной массы отвалов шахт для устройства дополнительных (дренирующих, теплоизоляционных) и основных слоев оснований и покрытий низшего и переходного типов и в асфальтобетонных смесях для нижних слоев двухслойных покрытий и покрытий с устройством слоев износа. Прежде всего, эти заполнители можно

использовать для устройства дорожных одежд дорог IV, V категорий (подъездные, технологические и местного значения и т. д.). По мере накопления положительного опыта эксплуатации дорог на материалах из горелых пород можно продолжить использование их в дорогах более высоких категорий.

Отсевы дробления горелых пород и золошлаковые отходы пригодны к использованию в мелкозернистом дорожном бетоне для изготовления тротуарной плитки, бортовых камней, брусчатки. На отсевах дробления горелых пород отвала шахты № 26 выпущена опытная партия тротуарной плитки в ОАО «Спецстрой». Все показатели свойств тротуарной плитки находятся в соответствии с требованиями нормативной документации. Разрушений и снижения показателей свойств бетона в опытной партии тротуарной плитки в течение многих лет эксплуатации не обнаружено.

**3.** Следующее направление применения заполнителей из горелых пород и золошлаковых отходов – производство ячеистого бетона (газо- или пенобетона). На кремнеземистых компонентах из горелых пород и зол сухого отбора можно выпускать теплоизоляционный и теплоизоляционно-конструкционный ячеистый бетон. Изделия из этих бетонов предназначены для улучшения теплотехнических характеристик, снижения материалоемкости и стоимости строительства зданий.

В Ростовской области начинают создаваться предприятия по выпуску изделий из ячеистого бетона (г. Ростов-на-Дону, Новошахтинск, Батайск, Целина и др.). В качестве кремнеземистого компонента используется зола сухого отбора Новочеркасской ГРЭС. В связи со снижением объемов выработки электроэнергии, а также частичным переходом электростанции на сжигание газа, уменьшилось количество золы, и предприятия стройиндустрии испытывают недостаток в этом сырье. Восполнить возникший дефицит можно за счет отсевов, образующихся при переработке шахтных пород. Для этих целей могут быть использованы все виды отсевов: первичный и отсевы дробления. В связи с повышением требований по теплозащите зданий потребность в теплоизоляционных материалах будет расти, их производство будет развиваться, и материалы из горелых пород как кремнеземистые компоненты для ячеистого бетона будут востребованы. Литые ячеистобетонные смеси можно закачивать в полости при проведении горных выработок и для

обеспечения изоляции деревянной крепи, а также для выполнения литой теплоизоляции под полы и чердачные перекрытия.

4. Большие объемы отсевов дробления горелых пород, зол и золошлаковых смесей могут быть востребованы для производства экономичных малоклинкерных вяжущих низкой водопотребности и тонкомолотых вяжущих. Это тонкодисперсные активированные вяжущие нового поколения. Они получают при совместном помоле цементного клинкера с минеральными добавками. В качестве минеральной добавки могут быть использованы золошлаковые отходы, доменные металлургические шлаки, отсеvy горелых шахтных пород. Содержание отсевов может составлять до 70 %. Применение активированных тонкодисперсных вяжущих позволяет получить бетоны повышенной прочности, морозостойкости, долговечности. Марка по прочности и морозостойкости 800–1000. В новом столетии предпочтение будет отдаваться бетонам с такими показателями свойств.

5. Имеющийся опыт Гуковского завода железобетонной шахтной крепи по выпуску элементов шахтной крепи из горелопородного бетона и успешная эксплуатация этих изделий в условиях шахт являются основанием для рекомендаций к более широкому использованию бетонов на заполнителях из горелых пород в шахтном строительстве. Это могут быть изделия шахтной крепи, монолитный бетон для возведения бетонной крепи, тампонажные растворы для подавления притоков воды и др. Имеется положительный опыт применения тампонажных растворов, содержащих от 40 до 70 % молотых пород, для подавления притоков воды. Так, на шахте «Самбековская» тампонажные растворы с горелой породой применялись для проведения предварительного тампонажа при реконструкции квершлага. Был выбран состав раствора, содержащий 40 % горелой породы. После проведения работ притоки воды были снижены со  $120 \text{ м}^3/\text{ч}$  до  $2,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Горелые породы придают бетону и растворам повышенную стойкость к действию агрессивных вод. В связи с этим в условиях проходки выработок с агрессивными сульфатными водами можно применять бетоны и растворы на заполнителях из горелых пород, используя обычный портландцемент вместо дефицитного сульфатостойкого.

**6.** Горелые породы с высокопористой структурой и объемным весом менее  $1000 \text{ кг/м}^3$  могут быть источником сырья для получения легких заполнителей и материалов для теплоизоляции. Такие материалы из горелых пород можно рекомендовать для применения вместо керамзита и других искусственных пористых заполнителей, а также в качестве сыпучей теплоизоляционной засыпки. При одинаковой плотности керамзита и горелых пород теплопроводности этих материалов сравнимы.

Пористые заполнители из горелых пород высоко конкурентны в сравнении с керамзитом, а бетоны на таких материалах дешевле. В легких бетонах на заполнителях из горелых пород можно использовать отсеvy дробления пород с насыпной плотностью  $850\text{--}950 \text{ кг/м}^3$  и модулем крупности 2,3–3,5. Применение горелых пород в легких бетонах позволяет снизить расход цемента на 5–10 %, а в сочетании с золой – на 27–35 % без ухудшения свойств бетона.

Материалы из горелых пород (щебень и щебеночно-песчаную смесь) с объемным весом от 600 до  $900 \text{ кг/м}^3$  можно рекомендовать к использованию при кладке облегченных кирпичных стен, при утеплении пола первого этажа, перекрытий и кровель.

**7.** Отсевы дробления пород, включая и первичный отсев, а также золошлаковые смеси являются многокомпонентной добавкой в шихту для изделий керамической промышленности. Они одновременно выполняют роль плавня, отошающей и выгорающей добавки. Их введение в состав шихты позволяет повысить марку по прочности, морозостойкости, улучшить теплофизические характеристики, снизить объемный вес изделий.

**8.** Заполнители из горелых пород можно применить при устройстве гидротехнических сооружений, дамб, насыпей, противофильтрационных завес засыпки горящих отвалов, для благоустройства территорий, закладки выработанного пространства, строительства спортивных сооружений (стадионов, теннисных кортов) и при выполнении других общестроительных работ.

На стадии прогноза возможных направлений утилизации шахтных пород и золошлаковых отходов необходимо провести многоуровневое тестирование отходов по следующим критериям [64]:

*Первый уровень – оценка по экологическим показателям.* Экологическая чистота отхода оценивается путем сравнения состава отходов с ПДК тяжелых металлов, токсичных веществ. Критерием

экологической чистоты отходов является также величина удельной эффективной активности естественных радионуклидов.

**Второй уровень – оценка по химическому составу.** Химический состав шахтных пород и золошлаковых отходов представлен в основном оксидами кремния, алюминия, железа. Содержание кислотных окислов составляет более 70 %, и отходы можно характеризовать как кремнисто-железистые. Существенное значение на выбор направления утилизации данных отходов имеет количественное содержание серы.

**Третий уровень – оценка по минеральному составу.** На минеральный состав техногенного сырья существенное влияние оказывают технологические особенности его образования. Шахтные породы и золошлаковые отходы отличаются от традиционного сырья вещественным составом, структурой исходных минералов. Минералого-петрографическая характеристика шахтных пород и золошлаковых отходов позволяет выявить наличие пород, относимых к вредным примесям, содержание аморфных компонентов, присутствие углистых веществ и их модификаций.

**Четвертый уровень – оценка по реакционной способности.** Установление наличия компонентов, находящихся в метастабильном состоянии, позволяет оценить степень активности отходов и рекомендовать их к использованию в качестве основного сырья или добавки. Горелые шахтные породы и золошлаковые отходы относятся к активным органо-минеральным добавкам. Наличие активных компонентов связано с нарушением кристаллических решеток породообразующих минералов при обжиге и возникновением у продуктов обжига некоторого энергетического потенциала.

**Пятый уровень – оценка по физико-механическим свойствам.** Техногенные отходы характеризуются прочностью, истираемостью, водостойкостью, пластичностью, дисперсностью, плотностью и другими свойствами, показатели которых существенно влияют на область их применения.

**Шестой уровень – оценка по однородности.** По химико-минералогическому составу и физико-механическим свойствам шахтные породы и золошлаковые отходы в пределах одного и того же отвала отличаются неоднородностью. Изучение свойств отходов позволяет оценить степень их подготовленности к участию в техно-

логических процессах, определить эффективные способы доведения их характеристик до показателей качественного сырья.

**Седьмой уровень – оценка по объемам образования.** Объемы образования шахтных пород и золошлаковых отходов позволяют оценить их как многотоннажные отходы. Запасы породных масс и золошлаков огромны, и скопления их в отвалах можно рассматривать как техногенные месторождения.

**Восьмой уровень – оценка по технико-экономическим показателям.** При выборе направлений утилизации шахтных пород и золошлаковых отходов необходимо учитывать невысокую стоимость этого сырья; возможность замены традиционного сырья шахтными породами или золошлаками; минимальное количество операций по их подготовке к использованию; небольшой радиус перевозок их к месту потребления; высокие показатели свойств материалов и композиций, изготовленных на основе шахтных пород или золошлаков.

Многоуровневая оценка позволит безошибочно определить эффективные направления утилизации шахтных пород и золошлаков.

## 2.2. Золошлаковые отходы

Зола и шлак тепловых станций представляют собой остаток от сжигания твердого топлива. Они являются продуктами высокотемпературной (до 1200–1700 °С) обработки минеральной несгоревшей части углей. Основная масса зол и шлаков образуются на тепловых электростанциях из пылевидного угля. При этом в камерных топках получают отходы двух видов: зола уноса и шлак.

Золошлаковые отходы Новочеркасской ГРЭС представлены двумя видами: зола сухого отбора (зола-унос) и золошлаковая смесь совместного гидроудаления золы и шлака, складированная в отвалах.

### Физические свойства

Важнейшими физическими свойствами зол и шлаков ТЭС являются их насыпная и истинная плотность, а также гранулометрический состав.

Гранулометрический (зерновой) состав пылевидных зол зависит от вида топлива, условий его подготовки, режима сжигания, способа

улавливания золы и места ее отбора. Наиболее крупные частицы золы улавливаются циклонами, мелкие и мельчайшие – электрофилтрами, причем на каждом поле электрофилтра собирается определенная фракция золы. Системы совместного гидроудаления золы и шлака направляют в отвалы полидисперсные шлакозольные смеси.

В составе золы присутствуют в основном частицы шарообразной формы. Большая часть полностью расплавившихся частиц образует капельки стекла, содержащие газовые пузырьки, замкнутые или, реже, вскрытые у поверхности. Другие, не имеющие правильных очертаний, частицы представлены не расплавившимися при нагревании зернами кварца, ортоклаза, слюды и других минералов. Присутствуют также в золе зерна, представляющие собой смесь стекловидной и кристаллической фаз. В одной и той же пробе золы имеются частицы разнообразной формы – от неправильной, в виде щепы, иглы, до идеально сферической. Максимальное содержание сферических стекловидных частиц имеют мельчайшие фракции золы. Чем крупнее фракция, тем выше в ней содержание агрегированных, шероховатых, пористых частиц.

Гранулометрический (зерновой) состав пылевидных зол зависит от вида топлива, условий его подготовки, режима сжигания, способа улавливания золы и места ее отбора. Наиболее крупные частицы золы улавливаются циклонами, мелкие и мельчайшие – электрофилтрами. При совместном гидроудалении золы и шлака в отвал поступают полидисперсные золошлаковые смеси. Вблизи места выпуска пульпы образуется шлаковая зона отвала с преобладанием частиц крупнее 0,25 мм, далее – зола с частицами менее 0,25 мм. В золоотвалах накапливаются золошлаковые смеси различного зернового состава: мелкие, средние, крупные. Разброс в грансоставе следующий: частиц более 10 мм – 0–35 %; 5–10 мм – 0–10; 2–5 мм – 15–30; 1–2 мм – 10–15; 0,5–1 мм – 10–20; 0,25–0,5 мм – 0–3,5; 0,125–0–0,25 мм – 4; 0,125–0,04 мм – 20–50; менее 0,04 мм – 2,5–85 %. Модуль крупности золошлаковой смеси как песка колеблется в пределах 1,2–3,7.

Истинная плотность частиц золы – 2,15–2,47 г/см<sup>3</sup>, золошлаковой смеси – 2,3–2,5 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность золы – 1100–1300 кг/м<sup>3</sup>, золошлаковой смеси – 1400–1600 кг/м<sup>3</sup>; пористость золы – 20–37 %, золошлаковой смеси 20–50 %.



Неоднородность золошлаковых отходов по гранулометрическому составу затрудняет их использование.

#### Химический состав

Золы Новочеркасской ГРЭС по виду сжигаемого топлива относятся к антрацитовым. Химический состав нескольких проб золы приведен в табл. 1, золошлаковой смеси в табл. 2. По содержанию оксидов исследуемые золошлаковые отходы относятся к кислым.

Таблица 1

#### Химический состав золы-уноса Новочеркасской ГРЭС (вес. % на сухое вещество)

Проба	Потери при прокаливании	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>	Сумма Na <sub>2</sub> + K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Активность M <sub>ГРЖ</sub>
1	9,18	53,00	20,30	7,32	2,55	2,11	0,58	3,49	0,93	0,52
2	7,37	54,60	21,03	7,54	1,83	2,25	0,35	3,50	0,87	0,52
3	8,81	52,25	21,04	7,91	2,09	2,35	0,38	3,65	0,93	0,55
4	7,66	52,80	23,05	8,00	2,86	1,60	0,52	2,05	0,97	0,59
5	11,4	52,67	22,10	5,44	2,48	1,78	0,20	2,28	0,91	0,52
6	7,68	54,90	21,00	6,13	4,38	1,88	0,62	2,18	0,93	0,48
7	10,15	53,35	20,08	7,51	2,67	2,16	0,64	1,15	0,93	0,52
8	8,61	49,75	23,80	8,18	2,81	2,06	0,69	2,03	0,96	0,64
9	7,35	52,45	21,32	7,45	4,96	2,30	0,62	2,00	0,99	0,55
10	10,4	51,50	21,20	7,27	3,07	1,97	0,63	2,08	0,84	0,55
Среднее значение	8,86	52,74	21,49	7,28	2,97	2,05	0,52	2,44	0,93	0,54

Таблица 2

#### Химический состав золошлаковой смеси Новочеркасской ГРЭС (вес. % на сухое вещество)

Проба	Потери при прокаливании	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	SO <sub>3</sub>	Сумма Na <sub>2</sub> + K <sub>2</sub> O	Активность M <sub>ГРЖ</sub>
1	6,42	51,00	26,35	5,35	12,34	0,43	—	0,06	2,77	0,622
2	10,2	48,15	28,25	2,90	5,42	1,56	—	0,70	2,80	0,647

Окончание табл. 2

Проба	Потери при прокаливании	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	SO <sub>3</sub>	Сумма Na <sub>2</sub> + K <sub>2</sub> O	Активность M <sub>гж</sub>
3	9,07	47,94	22,44	9,60	3,55	2,30	0,07	0,79	2,83	0,689
4	4,00	53,50	21,10	9,80	4,34	3,23	0,07	0,98	2,70	0,577
5	3,00	53,00	22,10	9,86	3,60	2,00	0,03	0,70	2,87	0,634
6	9,40	49,80	23,30	5,35	5,85	2,00	0,05	0,25	3,15	0,575
7	11,03	54,48	22,26	4,78	2,81	2,11	0,06	0,44	1,78	0,496
8	10,07	54,30	21,84	5,42	2,93	2,16	0,05	0,44	1,97	0,502
Среднее значение	7,89	51,52	23,45	6,63	5,10	1,97	0,04	0,54	2,61	0,59

Соотношения главных оксидов в золах ТЭС в среднем таковы: SiO<sub>2</sub> – 40–58 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 21–27, CaO – 4–6, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4–17, Na<sub>2</sub>Cl – 0,4–1,4, K<sub>2</sub>J – 0,4–4,7 %. Помимо этого в состав зол входят SO<sub>3</sub>, MgO, TiO<sub>2</sub> и др. Нормативные требования к химическому составу зол ТЭС призваны обеспечить надлежащую прочность и долговечность бетона. Верхний предел содержания SO<sub>3</sub> (< 3 %) в золах ограничен требованиями сульфатостойкости. Для обеспечения равномерности изменения объема при твердении вяжущего с золой содержание свободного CaO не должно превышать 2–5 % в зависимости от вида золы, а MgO – 5 %. Суммарное содержание Na<sub>2</sub>O и K<sub>2</sub>O в золах должно быть менее 1,5–3 % во избежание возможных деформаций при их реакции с заполнителями.

Стандарты ограничивают также нижний предел содержания SiO<sub>2</sub> – 40 % либо SiO<sub>2</sub> + Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 50–70 % (в зависимости от вида золы), от которых в значительной степени зависит активность золы. В зависимости от вида углей и условий их сжигания в золах может содержаться 0,5–20 % и более несгоревших органических частиц топлива. Они считаются вредными примесями, ухудшающими важнейшие технические свойства бетонов с золой. Содержание остатков топлива оценивается по потерям при прокаливании пробы золы при 800 °С. Стандарты устанавливают допустимое содержание органических остатков в золах в зависимости от вида исходного угля (антрацит, каменный или бурый уголь), вида бетона (тяжелый, легкий), вида бетонной конструкции (армированная, неармиро-

ванная). По этим признакам содержание органических остатков в антрацитовых золах допускается в пределах 5–20 %.

#### Фазово-минералогический состав

Фазово-минералогический и химический состав золы и шлака определяются в основном содержанием минерального вещества топлива и теми изменениями, которые оно претерпевает при высокотемпературной обработке в котлах ТЭС. Чаще всего минеральная часть топлива, в частности каменных и антрацитовых углей, представлена глинами и минералами с включением дисперсных песчаных фракций.

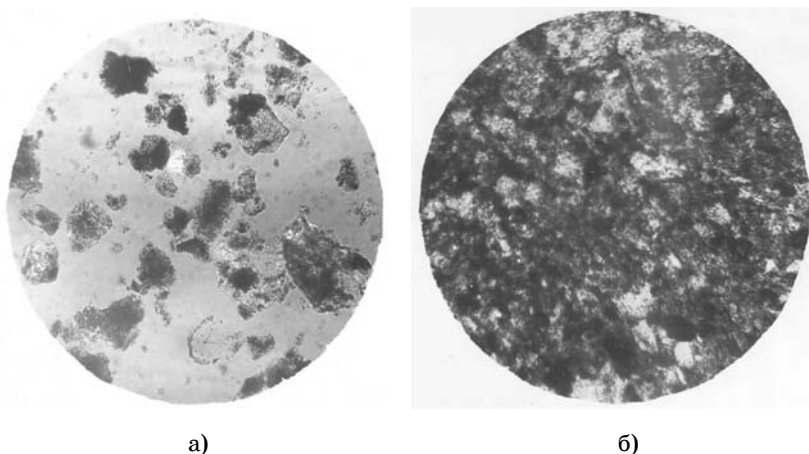
При сжигании твердого топлива его минеральная часть подвергается превращениям, связанным с дегидратацией, диссоциацией, окислением, полиморфными изменениями, взаимодействием в твердой фазе, в расплаве, аморфизацией.

Зола включает в себя продукты обжига глинистых минералов, которые занимают промежуточное положение между кристаллической и стекловидной фазами. Это аморфизованное глинистое вещество типа метакаолинита, аморфные кремнезем и глинозем, спекшееся и частично остеклованное вещество и стеклофаза алюмосиликатного состава. Наибольшее количество частиц аморфизованного глинистого вещества характерно для донецких углей. Таким образом, в золе присутствуют основные группы веществ: кристаллические, стекловидные, аморфные и органические – в разной степени метаморфизированные несгоревшие частицы топлива. По составу эти частицы представляют собой коксовые и полукоксовые остатки с малой гигроскопичностью и выходом летучих веществ.

Вид и количество кристаллических новообразований в золе можно определить комплексными исследованиями, включающими рентгенофазовый анализ и световую микроскопию. Чтобы определить аморфную составляющую золы, следует использовать количественный минералогический анализ в иммерсионных препаратах.

При микроскопическом ( $\times 63$ ) рассмотрении золы (рис. 1, а) и золошлаковой смеси (рис. 1, б) выясняется, что их частицы различны не только по форме, но и по размеру и составу. Частицы золы и золошлаковой смеси представлены зернами кварца и стекла самой разнообразной формы, от круглой до угловатой, размером 0,02–0,04 мм (зола), и 0,25–0,50 мм (золошлаковая смесь). Стекло прозрачно и окрашено в слабо-желтые, бурые и темно-бурые

тона с показателями преломления 1,48; 1,55 и 1,67 (зола), и 0,25–0,50 мм (золошлаковая смесь). Стекло прозрачно и окрашено в слабо-желтые, бурые и темно-бурые тона с показателями преломления 1,48; 1,55 и 1,67, характерными для полевошпатовых и глиняных стекол. Темные частицы имеют неправильную угловатую форму и большие размеры – 1–2 мм. В золошлаке они слиплись послойно; зерна кварца, подвергшиеся температурным процессам, имеют радужную оболочку.



**Рис. 1.** Микрофотографии золошлаковых отходов в иммерсии (х 63, николи II)

При изучении вещественного состава золошлаковых отходов в иммерсионных препаратах определены: кварц, стеклофаза, гематит, магнетит, полевые шпаты, аморфизованное глинистое вещество, удлиненные игольчатые кристаллы муллита. Рентгеноструктурный анализ показывает, что кристаллическая составляющая золошлаковой смеси представлена кварцем, тридимитом; присутствуют полевые шпаты в виде альбита, геленит, метакаолинит. Кристаллическая фаза золы-уноса представлена в основном кварцем, тридимитом; присутствуют каолинит, полевые шпаты, оксиды алюминия и кальция, карбонаты.

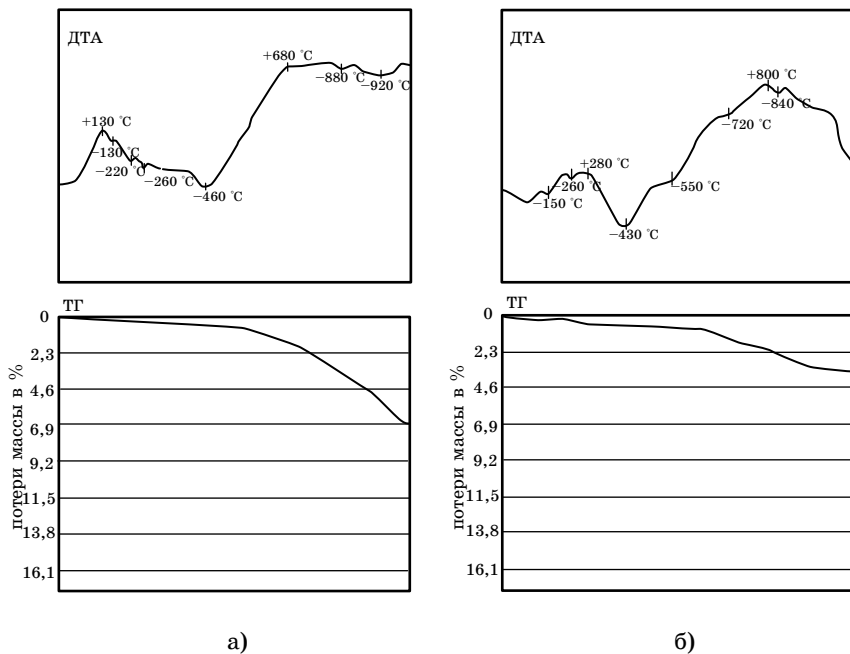
Фракция зол с размером частиц менее 0,005 мм представлена в основном аморфизованным глинистым веществом, более крупные

частицы – стеклофазой и в сравнительно небольшом количестве кристаллической фазой. Из стекол преобладает в основном стекло А – алюмосиликатного состава.

Мелкие и мельчайшие фракции золы содержат наибольшее количество шарообразных частиц и меньше несгоревших органических остатков. При добавке в бетон они наиболее активно проявляют пуццолановые свойства и повышают удобоукладываемость бетонной смеси.

Термический анализ золошлаковой смеси показывает, что в ее составе часть глинистых минералов не подвержена термической обработке. На термограммах золошлаковой смеси и золы (рис. 2) прослеживаются эффекты, характерные для процесса:

– удаления свободной воды (эндоэффект при температуре 150 °С);



**Рис. 2.** Термограммы золошлаковых отходов:

- а) – зола сухого отбора;
- б) – золошлаковая смесь

- дегидратации глинистых минералов с выделением конституционной воды и разрушением кристаллической решетки (эндоэффект при 460 °С);
- переход аморфного железа в кристаллическое (экзоэффект при 130 и 280 °С);
- полиморфные превращения кварца;
- диссоциация карбонатов, выгорание ококованных углистых частиц (экзоэффект при 680 и 800 °С).

Из данных термического анализа следует, что в интервале температур 20–1000 °С в золе и золошлаковой смеси происходят примерно одни и те же физико-химические превращения. Однако эндо- и экзоэффекты у золы имеют большую в сравнении с золошлаковой смесью глубину пиков и потерю веса (общая потеря массы составляет 7 %). Кривая потери массы у золошлаковой смеси более пологая, основная масса вещества теряется после 550 °С – начало выгорания углистых веществ и разложения карбонатов – и составляет 30 мг или 3,3 %. Высокотемпературные процессы включают размягчение частиц золы, их контактное спекание, вспучивание и кристаллизацию при охлаждении.

**Зола-унос по техническим характеристикам должна соответствовать требованиям ГОСТ 25818-91 Зола-унос тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.** Золошлаковая смесь по техническим характеристикам должна соответствовать требованиям ГОСТ 25592-91 Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов. Технические условия.

### 2.3. Горелые шахтные породы

#### Физические свойства

В зависимости от степени обжига (от полного спекания до едва заметного прокаливания) и минералогического состава горелые породы имеют разную окраску: черный, кирпично-красный, бледно-розовый и желтый цвет. Темный и серовато-бурый цвет указывает на то, что горелая порода плохо обожжена и сохранила часть угля. Розоватый, желтоватый или различной насыщенности кирпичный цвет указывает на то, что порода хорошо обожжена и не содержит углистых включений. Большое влияние на окраску

оказывает присутствие оксидов железа и титана. Оксиды железа придают породе кирпично-красный цвет, а оксиды титана изменяют красный оттенок от желтого до красно-коричневого. При температуре обжига около 1000 °С может происходить процесс восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  до  $\text{FeO}$  и даже до металлического железа, придающего породе металлический серый цвет.

Важнейшими физическими свойствами зол и шлаков ТЭС являются их прочность, насыпная и истинная плотность, а также гранулометрический состав.

Наличие в горелых породах обломочного материала, скрепленного пелитовым и кремнеземистым природным цементом до состояния конгломерата, обеспечивает их высокую водостойкость и механическую прочность, усиленную горным давлением и термической обработкой. В природных условиях произошло уплотнение и образование камнеподобной (литифицированной) породы, физико-механические свойства которой зависят от степени метаморфизма и других характеристик. В отвале наряду с плотным, хорошо обожженным материалом могут залегать и необожженные слабые породы, а также крупнозернистые шлаки, спекшиеся с кусками породы. Наряду с крупными включениями в отвалах содержится пылевато-зольная мелочь, образовавшаяся в результате горения сланцев. Качество горелой породы в отвале можно определить при внешнем осмотре по плотности строения, цвету, характеру поверхности излома ее кусков. Ноздреватая и шероховатая или жирная на ощупь поверхность в изломе указывает на плохое качество материала с малым объемным весом и большим водопоглощением. Хорошо обожженные горелые породы однородного сложения, с плотной структурой и гладкой камневидной поверхностью в изломе из отвалов антрацитовых углей отличаются повышенной механической прочностью, стойкостью к истиранию, температурным и атмосферным воздействиям.

Гранулометрический состав пород в отвале очень разнообразен. Его характеристика является весьма относительной. Зерновой состав во многом зависит от особенностей исходных пород. В среднем преобладают обломки размером от 6 до 100 мм. Породы, выдаваемые из шахт, имеют крупность до 250 мм, а отдельные куски достигают 350–450 мм. Имеются куски размером более 600 мм. Чем прочнее

порода, тем крупнее и массивнее получается обожженный материал, который незначительно подвергается измельчению в результате обжига, сползания с откосов и давления вышележащих слоев. Самообжиг мелкозернистых песчаников и песчаниковых сланцев дает наиболее прочные горелые породы, состоящие из крупных кусков. Мелкая фракция получается из мелко- и крупнослоистых глинистых и углистых сланцев, карбонатных и железистых минералов, имеющих меньшую механическую прочность.

О степени обожженности горелых пород можно судить по окраске, прочности, данным термического анализа, а также по водопоглощению, аналогично оценке степени спекаемости керамического черепка. Горелые породы, имеющие водопоглощение в пределах 5–10 %, относятся к умеренно обожженным, а при водопоглощении менее 5 % – к хорошо обожженным.

Физико-механические характеристики породы одного литологического типа различны, иногда даже в пределах одного угольного бассейна, и колеблются в широком диапазоне.

Характеристики отвальных горелых пород Восточного Донбасса:

истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,2–2,8
объемная масса, кг/м <sup>3</sup> :	
в кусках	1400–2500
дробленной	800–1400
пористость, %	3,6–32,5
пустотность, %	22–45
водопоглощение, %	0,5–17,5
предел прочности на сжатие, МПа	10–100 и выше
морозостойкость, количество циклов	10–100
истираемость (потеря массы), %	4,6–19,7

Наиболее однородны по составу и физико-механическим свойствам горелые породы, образовавшиеся из шахтной породы после добычи антрацитов. Их истинная плотность – 2,1–2,5 г/см<sup>3</sup>, водопоглощение – от 0,5 до 4 %. При испытании в барабане на истираемость разрушаются в основном наиболее пористые частицы. Горелые породы, образовавшиеся при обжиге шахтной породы добычи каменных углей, характеризуются большим диапазоном изменения плотности, прочности, водопоглощения.



### Химический состав

Химический состав горелых шахтных пород в значительной степени определяет направления их возможного использования. В табл. 3 приведены данные по химическому составу породных масс усредненных проб, отобранных с терриконов Ростовской области. Химический состав пород представлен в основном оксидами кремния, алюминия и железа. Содержание кислотных оксидов составляет более 70 %, и породы можно характеризовать как кремнисто-глиноземистые. По модулю основности, учитывающему соотношение кислотных и основных оксидов, породы относятся к кислым, модуль основности – 0,03–0,069. По величине глинисто-железистого модуля (0,4–0,57), в соответствии с классификацией Г. И. Книгиной, породы относятся к I группе: аргиллиты активные и высокоактивные. Породы обладают высокой химической стойкостью: по отношению к минеральным кислотам – 95–99 %, к щелочам – 65,5–77,8 %.

Химический и минеральный составы пород взаимосвязаны. Высокое содержание кремнезема объясняется присутствием его в свободной форме в виде кварца, а также связанного в алюмосиликаты различного состава (каолинит, слюда, полевые шпаты и др.). Железо в породах представлено дисульфидом (пирит, марказит), сидеритом или смесью этих минералов. Наличие щелочей можно объяснить разложением полевого шпата и слюд, а триоксида серы – разложением сульфатов и окислением пирита. Алюминий, как и кремний, сосредоточен в виде разнообразных неорганических кислородных соединений.

В табл. 3 приведены данные по химическому составу пород отвалов различных литологических типов: глинистого, песчанисто-глинистого, песчанистого и известковисто-песчанисто-глинистого. Значительных колебаний в химическом составе пород не обнаружено. Химический состав глинистых отвалов, наиболее распространенных на территории Ростовской области, по содержанию основных породообразующих оксидов довольно сходен. Различия сводятся, в основном, к колебаниям содержания оксидов железа и щелочных металлов. Характерно снижение закиси железа у перегоревших пород (отвал шахты им. Воровского) и повышенное содержание сульфатных соединений серы у породной массы отвалов шахт «Несветаевская» и «Ростовская».

## Химический состав горелых пород некоторых шахтных отвалов

Шахта	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Сумма K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O	Потери при прока- лива- нии	C <sub>o</sub> <sup>d</sup>	Гли- нино- желе- зистый модуль
№ 26	55,10	20,72	6,58	0,62	1,07	0,96	3,18	2,64	7,55	1,78	0,51
Антрацит	54,78	21,80	6,30	1,06	1,15	1,02	2,35	4,77	6,80	1,26	0,50
Бургустинская	52,47	20,53	3,98	0,92	1,24	1,17	3,67	4,31	11,40	3,21	0,47
Алмазная	51,54	20,26	6,87	5,14	1,52	1,06	3,42	4,16	4,65	1,26	0,52
Центральная	52,29	18,37	4,18	2,35	2,17	1,13	2,97	4,64	11,05	2,42	0,43
Донецкая	48,81	24,48	6,20	1,93	2,34	1,17	3,83	4,01	5,83	1,17	0,63
Петровского	58,14	22,31	6,34	1,02	1,46	1,03	2,04	4,10	3,27	0,53	0,49
Майская	58,68	19,20	5,85	1,27	2,63	1,00	2,68	4,07	3,90	2,27	0,43
Несветаевская	52,68	24,08	5,66	1,98	1,44	1,07	3,69	3,61	5,47	2,91	0,56
им. «Комсомольской правды»	53,07	20,95	6,02	1,61	1,82	1,12	1,96	4,90	8,11	1,12	0,53
им. Кирова	53,09	29,96	7,98	0,66	0,97	1,49	0,44	3,96	0,63	0,81	0,57

Особенностью химического состава горелых пород отвалов известковисто-песчанисто-глинистого состава является повышенное содержание оксидов кальция и магния. Это характерно для породных масс терриконов Гуково-Зверевского и Каменско-Гундоровского геолого-промышленных районов.

В горелых породах присутствуют остатки угля и углистые аргиллиты. Содержание углистых веществ оценивается по концентрации органического углерода. Его количество может составлять от 1,2 до 7,5 %. Значительный разброс отмечается в величине потерь при прокаливании (п.п.п.). Высокие значения п.п.п. (более 3 %) горелых пород указывают на неполное выгорание органических веществ.

В породах исследованных отвалов содержатся легкорастворимые соли, аморфный кремнезем, свободный оксид кальция. Их содержание невелико. Минеральная часть водных вытяжек состоит из различных водорастворимых солей, среди которых преобладают бикарбонаты, сульфаты кальция и магния. В составе водных вытяжек породной массы известковистых отвалов преобладают бикарбонаты кальция.

В горелых породах кроме макроэлементов присутствуют также микроэлементы. Микроэлементный состав горелых пород изучен в меньшей степени, чем макрокомпонентный. Главным образом это связано с трудностями анализа содержания микроэлементов. Вместе с тем при оценке возможных направлений использования горелых пород следует учитывать эти данные с точки зрения перспектив извлечения ценных микроэлементов.

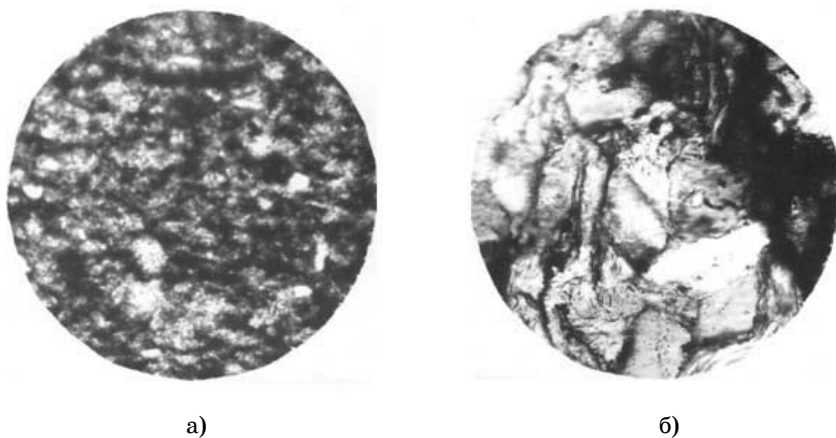
#### Фазово-минералогический состав

Вещественный состав горелых шахтных пород определяется минеральным составом углевмещающих пород. Присутствие большого количества железа в кристаллическом и коллоидном состоянии, а также сложный полиминеральный состав пород затрудняют изучение их вещественного состава. В связи с этим при исследовании горелая порода подвергается различным видам химической обработки. Наиболее эффективной оказалась обработка 5 %-ным подогретым водным раствором щавелевой кислоты в присутствии алюминия. При кипячении горелых пород в этом растворе происходит растворение железистых пленок и осаждение поверхности алюминия щавелевокислого железа. При этом происходит частич-

ное диспергирование горелых пород и удаление значительной части железа. Приведенный снимок (рис. 3) породы после обработки подтверждает ожидаемый результат. С поверхности частиц породы в основном удалены пленки гидроксидов железа.

Породы угленосных отложений сложены в основном песчаниками, аргиллитами и алевролитами, иногда встречаются известняки. Песчаник представляет собой сцементированный кремнекислотой, известняком или глиной песок; аргиллит – уплотненную, обезвоженную и сцементированную глину с размерами частиц менее 0,01 мм; алевролит – сцементированную породу, промежуточную между песчаником и аргиллитом, с размером частиц 0,01–0,1 мм. Минеральный состав песчаника, аргиллита и алевролита – в основном кварц, обломки полевого шпата, каолинит, гидрослюда и монтмориллонит с примесью хлоритов и гидроксидов железа, алюминия и кремния. Известняк состоит главным образом из кальцита с примесью доломита, глинистых и песчаных частиц. В процессе длительного обжига исходные углевмещающие породы претерпевают в той или иной степени различные изменения и приобретают свойства, отличные от свойств исходных пород.

Таким образом, высокочольная породная масса, складываемая в терриконах, представлена смесью углистых пород, алевролитов,



**Рис. 3.** Шлифы, изготовленные из горелой породы (х 140, николи II)  
а) – до обработки;  
б) – после обработки щавелевой кислотой

аргиллитов, песчаников и известняков. Соотношения между минералами изменяются в довольно широких пределах. По литологическому составу в зависимости от преобладающего типа пород выделены следующие типы отвалов [65]:

- глинистые, состоящие из аргиллитов и алевролитов при содержании песчаников до 10 % от общего объема породы;
- песчанисто-глинистые (песчаников 10–30 %);
- песчанистые (песчаников более 30 %);
- известковисто-глинистые (песчаников до 10 %);
- известковисто-песчанисто-глинистые (песчаников 10–30 %).

Установлено, что на всей территории Восточного Донбасса преобладает глинистый тип отвалов. По литологическому составу глинистой части пород выделяются аргиллитовый, углисто-аргиллитовый, аргиллито-алевролитовый и алевролитовый типы отвалов.

В отвале породная масса является многокомпонентной системой, обжиг которой сопровождается параллельно-последовательным протеканием многих реакций, приводящих к образованию множества конечных продуктов в зависимости от температуры и соотношения различных компонентов системы.

При самообжиге шахтных пород происходят сложные фазовые преобразования:

- удаление адсорбированной влаги (120–160 °С);
- деструкция (250–500 °С);
- окисление и выгорание органического вещества (300–1000 °С);
- диссоциация и окисление сульфидов железа (300–500 °С);
- диссоциация карбонатов железа (500–700 °С), кальция и магния (700–850 °С);
- ступенчатая дегидратация и аморфизация глинистых минералов (550–900 °С);
- кристаллизация вновь образующихся соединений (муллит, силлиманит, гематит, шпинель), а также их взаимодействие друг с другом или оксидами с образованием силикатов и алюмосиликатов (980–1200 °С);
- образование расплава (стеклофазы преимущественно мелилитового состава) и кристаллизация новых фаз – магнетита, кристобалита, корунда (950–1200 °С).

При физическом и химическом выветривании пород происходит изменение их крупности за счет диспергирования и разрушения химически неустойчивых минералов. В результате термического воздействия различной интенсивности и неравномерного распределения очагов горения образуются породы различной степени измененности: обожженные, горелые, переплавленные и породы, прокаленные в среде, близкой к восстановительной.

Обожженные породы претерпели наименьшие изменения, по цвету отличаются от исходных преобладанием красновато-бурых тонов. В обожженных аргиллитах и алевролитах термическим воздействиям подвергается в основном глинистое вещество: оно частично аморфизовано и покрыто пленками гидроксидов железа. В песчаниках затронуты в основном обломки пород. Текстурно-структурные особенности песчаников и алевролитов остались без изменений.

Наибольшие изменения в минеральном составе массы при термическом воздействии происходят при ее переплавлении, вплоть до образования совершенно новых типов пород. Макроскопически они представляют собой плотные массы от красновато-бурого до кирпично-красного цвета с темно-коричневыми и лиловыми оттенками. В горелых породах можно выделить две группы минералов: минералы исходных пород и новообразованные [66]. К первой группе относятся: кварц, полевые шпаты, слюда, частично гематит, обломки пород, гидрослюда, каолинит. Ко второй группе относятся: муллит, форстерит, кордиерит, шпинель, тридимит, силлиманит, андалузит, стекло, гематит и др. Наиболее глубокие изменения происходят в минеральном составе аргиллитов. В нем преобладают аморфизованные обжигом глинистые частицы, покрытые гидроксидами железа, пылеватые частицы кварца, почти все измененные – мутные и трещиноватые. Текстура может быть определена как пузырчато-слоистая пятнистая.

Переплавленные породы имеют темно-серый цвет с участками буроватого оттенка и кавернозную и пористую текстуру. Сложены они агрегатами твердых безводных силикатов и оксидов; обломки оплавленных пород образуют брекчиевидные глыбы, напоминающие спекшиеся и сваренные агломератовые туфы со шлаковой текстурой.

В отвалах встречаются также плотные породы черного цвета с характерным металлическим блеском — «черные блоки». Они образовались во внутренних частях отвалов при прокаливании пород в среде, близкой к восстановительной. Эти породы содержат значительное количество углерода (15–20 %) в виде тонко дисперсного графитового вещества и обломков бывшего угля.

В минеральном составе горелых пород содержатся кварц, глинистые минералы, представленные гидрослюдами с примесью каолинита и хлорита, карбонаты в виде кальцита, магнезита, доломита, сульфаты — гипс и сульфаты щелочных металлов; железо находится в виде пирита, марказита, гематита. Встречаются полевые шпаты, модификации кристаллического кремнезема — тридимит, кристобалит. Стекловидная фаза представлена стеклом в основном мелинитового состава.

Несгоревшие частицы топлива, присутствующие в качестве примесей, в разной степени метаморфизованны, отличны от исходного состояния и находятся в виде кокса и полукокса и графитизированного углистого вещества.

Цементирующая масса породы сложена бурым пелитовым материалом, обожженным и частично остеклованным. В цементе наблюдаются одиночные зерна вторичного карбоната, бурые пленки гидроксидов железа. В результате процессов метаморфизации цементирующая составляющая превращается в плотный агрегат, облегающий материал породы и в значительной степени скрадывающий контуры обломков.

В качестве примера фазово-минерального состава горелых пород Восточного Донбасса ниже приводятся данные исследований по отвалам шахт № 26 и им. Петровского.

Отвальные породы шахт № 26 и им. Петровского складировались при отработке угольных пластов, располагающихся в углевмещающих породах в основном глинистого состава. По литологическому составу преобладают глинисто-аргиллитовые породы с примесью алевролитов и песчаников. Содержание песчаников не превышает 10 %. Главным породообразующим минералом глинистого вещества является гидрослюда. Содержание кремнистых пород составляет примерно 10–13 % (по объему).

Большинство минералов, слагающих породы, видоизменено в процессе обжига. Судя по окраске, прочности и плотности пород,

можно предположить, что их обжиг происходил длительно и в основном равномерно при температурах, близких к 1000 °С.

Текстуры и структуры пород разнообразны. Можно выделить следующие основные текстуры: плотные, ноздреватые, шлаковидные, брекчиевидные. Присутствуют пористые и вспученные, агрегированные слоистые и плотносцементированные породы.

При рентгенографическом исследовании пород выделены следующие основные кристаллические минералы: кварц и его модификации; железо в форме магнетита и гематита; глинистое вещество в виде корунда, муллита. В качестве второстепенных минералов присутствуют каолинит, полевые шпаты, сера и др. На термограммах наблюдаются эндоэффекты, связанные с удалением гигроскопической и связанной воды, экзотермические эффекты, обусловленные окислением железистых минералов, полиморфными превращениями кварца, выгоранием углистых веществ, разложением карбонатов. Пики на термограммах появляются в результате процессов, происходящих в той части породы, которая прошла недостаточный обжиг в отвале или горела при более низкой температуре. Незначительная величина пиков показывает, что такой породы немного. Хорошо обожженная порода является термически инертной, и на кривых дифференциально-термического анализа у таких пород почти не обнаруживаются термические эффекты.

По данным химического анализа можно рассчитать ряд модулей, позволяющих оценить степень измененности, выветрелости, железистости и других особенностей пород. Исследуемые породы относятся к сверхкислым, имеют высокую степень измененности; степень железистости незначительна, степень выветрелости повышенная, в минеральном составе преобладают глинистые составляющие, породы хорошо дифференцированы по гранулометрическому составу.

## **2.4. Активность гидравлических добавок**

Гидравлическая активность является наиболее важным свойством **золошлаковых отходов и горелых шахтных пород**, обуславливающих их применение в составе вяжущих и бетонов. Способностью к непосредственному взаимодействию с водой эти материалы



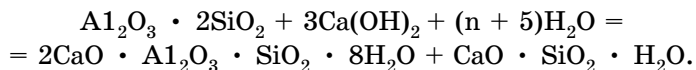
не обладают. Однако в смеси с вяжущими (известь, цемент) они проявляют пуццолановую активность, т. е. способность при обычных температурах связывать гидроксид кальция с образованием нерастворимых соединений. Это характерно для вулканических горных пород – пуццоланов, которые и дали название данному явлению. С накоплением этих новообразований возникает возможность гидравлического твердения вяжущих из смесей извести или портландцемента с пуццолановыми добавками.

В основе возникновения активности горелых пород и золошлаковых отходов лежит изменение глинистого вещества при физико-химических процессах, происходящих при высокотемпературном обжиге углесодержащих пород и сжигании твердого топлива. Активность горелых шахтных пород и золошлаковых отходов обусловлена наличием в них нескольких активных компонентов: алюминатного в виде аморфизованного глинистого вещества и некоторого количества активной модификации  $Al_2O_3$ , кремнеземистого в виде растворимой или активной кремнекислоты, железистого в виде растворимых  $Fe_2O_3$  и  $Fe_3O_4$  и алюмосиликатного стекла. Появлению этих веществ при нагревании способствовало нарушение молекулярных связей водных алюмосиликатов и других минералов при дегидратации их, а также активизации кварца за счет нарушения поверхности и диспергации частиц при пиропроцессах. При повышенных температурах и давлении водяного пара активность проявляют некоторые кристаллические компоненты отходов – кварц, полевые шпаты, алюмосиликаты кальция.

Имеющиеся различия в вещественном составе исходных шахтных пород и твердого топлива, а также в условиях их сгорания сказываются на степени активизации и реакционной способности отдельных компонентов горелых пород и золошлаковых смесей. Характер взаимодействия активных компонентов отходов с водными растворами гидроксида кальция зависит от величины удельной поверхности этих компонентов и их растворимости.

Пуццолановой активностью обладают продукты обжига глин: аморфизованное глинистое вещество типа метакаолинита, смесь аморфных кремнезема и глинозема и алюмосиликатное стекло. Реакционная способность по отношению к гидроксиду кальция у них различна. Обладающий большой удельной поверхностью метакаолинит активно реагирует с гидроксидом кальция при

обычных температурах с образованием гидросиликатов кальция и гидрогеленита по реакции:



Активность образующихся при более высоких температурах аморфных кремнезема и глинозема заметно меньше, что объясняется резким снижением удельной поверхности вследствие спекания и кристаллизации продуктов разложения каолинита (муллита, крестобалита и др.).

Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов снижает их удельную поверхность и соответственно активность, поэтому алюмосиликатная стеклофаза золы малоактивна при обычных температурах. При повышенных температурах активность проявляют некоторые кристаллические компоненты зол – кварц, полевые шпаты, алюмосиликаты кальция.

Водотепловая обработка (пропаривание при нормальном давлении, автоклавирование) резко увеличивает активность всех аморфных фаз зол и шлаков, в особенности спекшихся и остеклованных. Продуктами взаимодействия пуццоланового компонента с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  при повышенных температурах являются гидросиликаты кальция состава  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и гидроалюмосиликаты кальция (гидрогранаты).

Пуццолановая реакция активных компонентов золы и горелых пород начинается с адсорбции на поверхности их частиц гидроксида кальция, выделяющегося при гидролизе минералов-силикатов портландцемента. Через тонкие водные слои толщиной 0,5–2 мкм ионы кальция поступают к поверхности частиц золы и породы и взаимодействуют с их активными компонентами.

При использовании минеральных гидравлических добавок в технологии строительных материалов необходимо провести оценку их пуццолановой активности. Методы определения активности разнообразны, и единого подхода здесь нет.

Существуют следующие методы определения активности добавок, проявляющих пуццолановые свойства:

- по концу схватывания теста нормальной густоты, состоящего из добавки, гидратной извести и гипса;
- по водостойкости схватившегося теста;

– по пределу прочности при изгибе и сжатии пропаренных образцов-балочек из теста такого же состава;

– по содержанию гидроксида кальция в жидкой фазе, находящейся в контакте с цементом. Последний метод основан на способности активных минеральных добавок поглощать гидроксид кальция, образующийся в результате процессов твердения цемента. Количество оксида кальция, поглощенного из раствора золой, зависит от продолжительности взаимодействия и температуры раствора. Например, при комнатной температуре в течение 28 суток количество поглощенного оксида кальция – 47–49 мг, при условиях изотермического прогрева – 110–120 мг, при тепловой обработке и повышенном давлении – 200–210 мг на 1 г золы. Зола из отвалов поглощает несколько больше оксида кальция после 14-суточного взаимодействия с раствором гидроксида кальция в сравнении с золой сухого отбора. По-видимому, это можно объяснить несколько большим содержанием стеклофазы в отвальной золе.

По данным фотокolorиметрического метода, позволяющего оценить активность золошлаковых отходов по способности поглощать краситель из раствора, они относятся к адсорбентам со средней активностью. И по величине глинисто-железистого модуля (0,5–0,7), учитывающего химический и минералогический составы, золошлаковые отходы относятся к группе добавок со средней активностью.

Основным критерием при оценке активности золы является ее способность вступать во взаимодействие с продуктами гидратации клинкерных минералов, не снижая прочности твердеющего камня, или поглощать известь из известкового раствора. Показателем активности золы служит доля пылевидной золы в составе золоцементного вяжущего, при которой не наблюдается снижения прочности золоцементнопесчаных образцов в сравнении с обычными, без добавки золы.

В основе возникновения активности горелых пород лежит изменение глинистого вещества при физико-химических процессах, происходящих при высокотемпературном обжиге углесодержащих пород. Активность горелых шахтных пород обусловлена наличием в них нескольких активных компонентов: алюминатного в виде аморфизованного глинистого вещества и некоторого количества активной модификации  $Al_2O_3$ , кремнеземистого в виде растворимой

или активной кремнекислоты, железистого в виде растворимых  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и алюмосиликатного стекла. Появлению этих веществ при нагревании способствовало нарушение молекулярных связей водных алюмосиликатов и других минералов при дегидратации их, а также активизации кварца за счет нарушения поверхности и диспергации частиц при пиропроцессах. При повышенных температурах и давлении водяного пара активность проявляют некоторые кристаллические компоненты отходов – кварц, полевые шпаты, алюмосиликаты кальция.

Имеющиеся различия в вещественном составе исходных шахтных пород а также в условиях их сгорания сказываются на степени активизации и реакционной способности отдельных компонентов горелых пород. Характер взаимодействия активных компонентов отходов с водными растворами гидроксида кальция зависит от величины удельной поверхности этих компонентов и их растворимости.

Обладающий большой удельной поверхностью метакаолинит активно реагирует с гидроксидом кальция при обычных температурах с образованием кристаллических и гелевидных гидросиликатов кальция группы  $\text{CSH(I)}$ .

Активность образующихся при высоких температурах аморфных  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiO}_2$  заметно меньше, что объясняется снижением удельной поверхности и растворимости вследствие спекания и кристаллизации новообразований (муллита, кристобалита). Высокотемпературные формы кремнезема и термически обработанный кварц при взаимодействии с гидроксидом кальция образуют гидросиликаты группы  $\text{CSH(I)}$ . Исходный же кварц, не подвергшийся обжигу, в этих условиях практически инертен.

Применение водотепловой обработки резко увеличивает активность продуктов аморфизации и плавления глинистого вещества, в связи с чем возрастает скорость и объем поглощения оксида кальция из раствора этими материалами. При этом в наибольшей степени повышается активность спекшихся и остеклованных аморфных фаз, характеризующихся малой удельной поверхностью. Наибольший вклад в активность вносит стеклофаза. Влияние железистых оксидов следует учитывать при оценке активности горелых пород. Наибольшую гидравлическую активность горелые породы проявляют находясь в тонкодисперсном виде.

По данным фотоколориметрического метода, позволяющего оценить активность горелых пород по способности поглощать краситель из раствора, они относятся к адсорбентам со средней активностью. По величине глинитно-железистого модуля (0,5–0,7), учитывающего химический и минералогический состав, исследуемые отходы также относятся к группе добавок со средней активностью.

По микрокалориметрической оценке активности добавок, разработанной Г. И. Книгиной, горелые породы относятся к аргиллитам и алевролитам активным и среднеактивным (II-я группа активности).

Наиболее объективно оценить активность минеральных добавок можно по степени их вовлечения в пуццолановую реакцию с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидролизе силикатов портландцемента. Эта методика позволяет дать сравнительную оценку активности пуццолановых добавок. Активность оценивается по степени вовлечения добавки в пуццолановую реакцию и выражается отношением массы добавки, вступившей в эту реакцию, к массе всей введенной добавки. Из экспериментальных данных следует [69], что пуццолановая реакция начинается в достаточно раннем возрасте, но заметное количество добавки вовлекается в реакцию к 7-м суткам. В дальнейшем происходит более замедленное нарастание количества прореагировавшей горелой породы. Данные согласуются с дисперсностью добавок и особенностями их аморфных и стекловидных фаз, проявляющих пуццолановую активность. По количеству прореагировавшей тонкомолотой горелой породы можно сделать вывод об интенсивном ее участии в процессе гидратации. Горелая порода состоит в основном из аморфизованного глинистого вещества, и это является причиной активного вовлечения ее в пуццолановую реакцию. Влияние пуццоланового эффекта возрастает с увеличением удельной поверхности добавки. Грубодисперсная зола слабее вовлекается в реакцию.

Следует отметить, что более полное вовлечение добавки в реакцию вызывает интенсивное связывание гидроксида кальция, что, в свою очередь, усиливает гидролиз силикатов цемента и ведет к дополнительному повышению степени его гидратации. Все это сказывается на структуре материала.

Таким образом, показатель степени вовлечения минеральной добавки в реакцию можно использовать для сравнительной оценки пуццолановой активности горелых пород и получения дополнительной информации о кинетике твердения и структурных особенностях вяжущих и бетонов, содержащих эти добавки.

Особенности гидратации цемента в присутствии минеральных добавок, проявляющих пуццолановую активность, можно выявить при проведении сравнительных исследований чистоцементных суспензий и суспензий, содержащих цемент и добавки горелой породы.

При микроскопическом исследовании суспензий, содержащих портландцемент с добавками горелых пород отвала шахты им. Петровского, установлено, что на 7-е сутки в суспензиях количество клинкерных зерен увеличивается, заметна их дальнейшая диспергация. В этом возрасте уже появляются различия в протекании процессов в чистоцементных и содержащих горелую породу суспензиях. Происходит просветление железистых пленок на породных частицах, большинство зерен приобретает корродированную форму, наблюдается процесс адсорбции извести на частицах горелой породы. Появляется множество игольчатых новообразований, располагающихся в виде радиально-лучистых сростков.

Через 14 суток в микропрепаратах, содержащих горелую породу, появляются крупные шестигранные и прямоугольные кристаллы (размер граней – 0,08–0,10 мм) гидроксида кальция, внутри которых заметны пылеватые и игольчатые включения. Их образование, по-видимому, вызвано тем, что частицы горелой породы, адсорбируя на своей поверхности известь, облегчают процесс кристаллизации.

В суспензиях 28-суточного возраста также попадают макрокристаллы извести. Присутствует большое количество игольчатых кристаллов и пластинок правильной формы. Игольчатые кристаллы образуют войлокообразные переплетения. На породных частицах лишь изредка заметны остаточные железистые пленки. На поверхности клинкерных и породных частиц видны кристаллические новообразования. Среди новообразований преобладают измененные, помутневшие пластинки неправильной формы, некоторые из них изотропные и относятся к гидрогранатам. Наблюдается переход зерен горелой породы в аморфизованные фазы гидратного геля

и пластинчатые кристаллические фазы типа гидроалюминатов и гидроферритов кальция. Вокруг диспергированных породных зерен, даже кварцевых, видны гелевидные, изотропные оболочки.

Данные термического анализа подтверждают участие породных частиц в процессе гидратации. В чистоцементных суспензиях величина пика при 520 °С, характерного для портландита, очень значительна. В суспензиях, содержащих горелую породу, этот эффект уменьшается и практически отсутствует при длительных сроках гидратации, что свидетельствует об интенсивном связывании частицами горелой породы выделяющегося гидроксида кальция. Таким образом, экспериментально подтверждено, что в присутствии минеральных добавок гидратация вяжущего протекает более интенсивно.

# 3 ЗАПОЛНИТЕЛИ ИЗ ГОРЕЛЫХ ПОРОД ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ

Одним из источников пополнения сырьевой базы для производства нерудных строительных материалов являются породные массы шахтных отвалов. Многолетнее изучение свойств и особенностей этих пород, а также опыт работы предприятий по их переработке показали, что заполнители из шахтных пород по физико-механическим свойствам практически не отличаются от традиционных и отвечают всем требованиям нормативных документов.

Переработка и использование шахтных пород позволит снизить объемы добычи первичного природного сырья и тем самым уменьшить вред, наносимый природе разработкой карьеров, а также снизить негативное воздействие породных масс отвалов на окружающую среду.

Щебень и песок, получаемые из горелых пород, по зерновому составу, прочности, морозостойкости, форме зерен щебня, содержанию глинистых и засоряющих примесей, а также пород и минералов, отнесенных к вредным примесям, должны соответствовать требованиям, которые предъявляются государственными стандартами к нерудным материалам из природного сырья. Добавочные требования, предъявляемые к горелопородным заполнителям, изложены в **ТУ 5711-001-02070105-2002** и **ТУ 5711-002-02070105-2008**.

Горелые шахтные породы являются достаточно дешевым и доступным сырьем. Запасы горелых шахтных пород, пригодных



для получения заполнителей, огромны. Одним из критериев для принятия решений об области их применения в строительстве является величина удельной эффективной активности естественных радионуклидов (ГОСТ 30108-94). По результатам радиационно-гигиенического контроля, проводимого радиологической службой ОблСЭС и Центром метрологии, стандартизации и сертификации следует, что разрабатываемые шахтные терриконы, щебень и песок, получаемые при этом, по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов относятся к I классу материалов, применение которых допустимо во всех видах строительства.

По физико-механическим свойствам горелые шахтные породы можно отнести к III типу горных пород, включающему неоднородные по прочности малоабразивные породы, содержащие слабые разности. Переработка таких пород вызывает наибольшие трудности.

Для получения кондиционного сырья из горелых шахтных пород их следует подвергать переработке, основу которой составляет обогащение по прочности. Оно включает комплекс производственных операций, обеспечивающих получение материала необходимой прочности и долговечности. При обогащении происходит отделение тех частиц, которые снижают качество материала, и разделение оставшегося материала по классам прочности. Принцип обогащения по прочности основан на выделении из материалов мелких фракций, основная часть которых представляет собой слабые разности. Поэтому если после дробления отсечь из продуктов мелкую фракцию, то оставшийся надрешетный продукт окажется более однородным и прочным.

Технология производства заполнителей из пород шахтных отвалов приведена на примере работы предприятия ООО «Донстройресурс», имеющего в своем составе дробильно-сортировочный комплекс по переработке шахтных пород и производству заполнителей из них. Исходным сырьем для производства заполнителей являются перегоревшие шахтные породы отвала № 4 бывшей шахты (б/ш) «Глубокая» г. Шахты. Объем складированной породы – 350,3 тыс. м<sup>3</sup>.

По характеру горения породный отвал относится к перегоревшему. По химическому составу (табл. 4) породная масса отвала представлена большим числом химических соединений, основными

из которых являются кремнезем и глинозем. По литологическому составу глинистой составляющей породной массы отвал относится к глинистому типу аргиллитового сложения с пониженным содержанием органического вещества. Минеральная часть глинистых пород представлена в основном гидрослюдистой составляющей с незначительной примесью каолинита. Главный породообразующий минерал в гидрослюдистых глинах – гидрослюда. Содержание песчаных пород менее 10 %.

Таблица 4

**Химический состав усредненной пробы  
горелой породы отвала № 4  
бывшей шахты «Глубокая»**

Химический состав сухого вещества, вес. %														
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub> суль- фат.	S суль- фид.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.	Σ	SO <sub>3</sub> общ.	гиг- роск. влага	SiO <sub>2</sub> несв.
48,60	18,98	0,80	6,97	2,39	0,86	2,48	0,25	1,17	2,70	15,12	100,32	3,10	1,91	21,50

Гранулометрический состав пород в отвале разнообразен. В основном преобладают обломки размером 6–50; 50–70; 70–100 мм. Имеются куски породы крупных размеров: 100–450; более 450 мм. В отвале присутствуют породы неоднородные по прочности и степени термической измененности. Прочность пород в отвале колеблется в пределах: от 10 до 100 и выше МПа, водопоглощение не превышает 10 %, истинная плотность составляет 2,67–2,78 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность находится в пределах 1280–1450 кг/м<sup>3</sup>. Морозостойкость породы не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. При испытании породы на истираемость потеря массы составляет от 7,0 до 15,6 %, что соответствует марке И1. Цвет пород разнообразный. Преобладают цвета ярко-, темно-, кирпично-красные, фиолетового и лилового оттенков. Слабые породы имеют более светлые тона. В отвале встречаются прослойки термически мало измененной породы темно-серого цвета, а также несгоревший уголь. Большинство минералов, слагающих породы, видоизменено в процессе самообжига. По косвенной оценке можно предположить, что породы, слагающие отвал, подвергались длительному самообжигу при температурах, близких к 1000 °С.

Качественные заполнители можно получить из хорошо обожженных прочных пород ярко-красного, кирпично-красного и темно-красного цвета. Горелая порода темного и темно-серого цвета, а также порода с незагасившимися частицами оксида кальция и магния не пригодна для этой цели. Для получения заполнителей пригодны горелые, перегорелые шахтные породы, представленные аргиллитами, алевролитами, песчаниками с прочностью при сжатии в водонасыщенном состоянии не менее 200 кг/см<sup>2</sup>.

Содержание слабых пород не должно превышать 15 %. Термоизмененные породы должны иметь достаточную степень обожженности. Такие породы имеют ярко-красные, кирпично-красные, темно-красные и лилово-фиолетовые цвета. Степень обжига шахтных пород оценивают по водопоглощению, которое не должно превышать 10 % по массе.

Содержание углистых примесей в шахтных породах не должно превышать 5,0 % по массе. Потеря массы при прокаливании (п.п.п.) не должна превышать 20 % по массе.

По морозостойкости горелые породы должны иметь марку не менее F15.

Основной продукцией, выпускаемой по данному технологическому регламенту, являются заполнители:

- *щебень, смесь фракций от 5 (3) до 20 мм;*
- *щебень, фракция св. 20 до 40 мм;*
- *щебень, фракция св. 40 до 80 (70) мм;*
- *отсев, фракция св. 0 до 5,0 мм.*

Физико-механические свойства щебня из пород отвала № 4 бывшей шахты «Глубокая» приведены в табл. 5; отсевов – в табл. 6.

Таблица 5

#### Показатели качества щебня из пород шахтного отвала

Основные показатели качества щебня	Значение показателей для фракций, мм		
	от 5 до 20	св. 20 до 40	св. 20 до 40
Марка по прочности при испытании на дробимость	800; 1000	600; 800; 1000	600; 800; 1000
Марка по морозостойкости, не менее	F25	F25	F25

Основные показатели качества щебня	Значение показателей для фракций, мм		
	от 5 до 20	св. 20 до 40	св. 20 до 40
Марка по водостойкости	В1; В2	В1; В2	В1; В2
Марка по истираемости	И1	И1; И2	И1; И2
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1120–1240	1100–1260	1140–1290
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,66–2,68	2,67–2,69	2,66–2,69
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,90–1,50	0,70–1,15	0,08–0,93
Содержание глины в комках, %	не содержится	не содержится	не содержится
Содержание пластинчатых и игольчатых зерен, %	20,0–27,0	18,0–30,0	1,25–3,85
Содержание зерен слабых пород, %	4,50–8,0	7,0–9,0	1,77–2,30
Водопоглощение, %	3,3–4,5	3,0–5,5	2,70–3,86
Потери при прокаливании, %	3,5–4,7	2,85–3,70	1,70–1,90
Содержание оксида кальция, %	1,15–1,40	1,13–1,24	1,07–1,18
Содержание оксида магния, %	0,77–1,20	1,13–1,30	1,03–1,27
Содержание серы, сульфатов в пересчете на SO <sub>3</sub> , %	1,28–2,15	1,25–1,48	1,16–1,27
Содержание пирита в пересчете на SO <sub>3</sub> , %	0,17–0,38	0,03–0,04	0,02–0,08
Содержание щелочных оксидов (Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O), %	3,50–4,25	2,18–3,51	2,70–3,83
Класс материалов по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов	I	I	I

Таблица 6

## Показатели качества отсева из пород шахтного отвала

Основные показатели качества отсева (фракция св. 0 до 5,0 мм)	Значения показателей
Марка щебеночной фракции по прочности при испытании на дробимость: фракция от 5 до 10 мм	400; 800

Основные показатели качества отсева (фракция св. 0 до 5,0 мм)	Значения показателей
Марка по пластичности (фракция менее 0,63 мм)	Пл2
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1150–1320
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,67–2,69
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	1,58–3,75
Устойчивость структуры щебеночной фракции против всех видов распада, потеря массы при распаде, % фракция от 5 до 10 мм	0,70–1,3
Коэффициент фильтрации, м/с	6,80–7,32
Содержание щебеночной фракции от 5 до 10 мм, %	25,3–28,7
Потери при прокаливании, %	5,0–6,0
Содержание оксида кальция, %	1,15–1,40
Содержание оксида магния, %	0,77–1,20
Содержание серы, сульфатов в пересчете на SO <sub>3</sub> , %	1,28–2,15
Содержание пирита в пересчете на SO <sub>3</sub> , %	0,17–0,38
Содержание щелочных оксидов в пересчете на Na <sub>2</sub> O и K <sub>2</sub> O, %	3,50–4,25
Класс материалов по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов	I

По техническим характеристикам щебень и отсев из шахтной породы отвала № 4 отвечает требованиям **ТУ 5711-001-02070105-2002 Щебень и песок из горелых пород шахтных терриконов.**

Одна из особенностей заполнителей из горелой шахтной породы – отсутствие загрязняющих примесей, глины в комках.

Содержание оксида кальция в щебне и песке должно быть не более 10 % по массе. Содержание оксида магния в щебне и песке должно быть не более 5 % по массе. Потеря массы при прокаливании в щебне и песке должна быть не более 25 % по массе. Щебень и песок не должны содержать посторонних засоряющих примесей.

Важным дополнением является требование по устойчивости структуры щебня против железистого и силикатного распада. От-

раничивается содержание сернистых и сернокислых соединений, несгоревшего угля, а также оксидов щелочных и щелочноземельных металлов.

Содержание серы, сульфидов, кроме пирита (марказит, пирротин и др.) и сульфатов (гипс, ангидрит и др.) в пересчете на  $\text{SO}_3$  – не более 4 % по массе.

Содержание щелочных оксидов натрия и калия в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  в щебне и песке должно быть не более 5 % по массе.

Содержание в заполнителях серы может вызвать коррозию стальной арматуры. В связи с этим использование заполнителей, содержание серы в которых превышает 2,5 %, в производстве железобетонных конструкций с предварительно напряженной арматурой должно быть обосновано специальными исследованиями. Несгоревший уголь в заполнителях является вредной примесью. Его наличие в заполнителях отрицательно сказывается на прочности и морозостойкости бетона. Частицы угля обладают способностью под действием влаги и кислорода воздуха увеличиваться в объеме, что приводит к разрушению бетона.

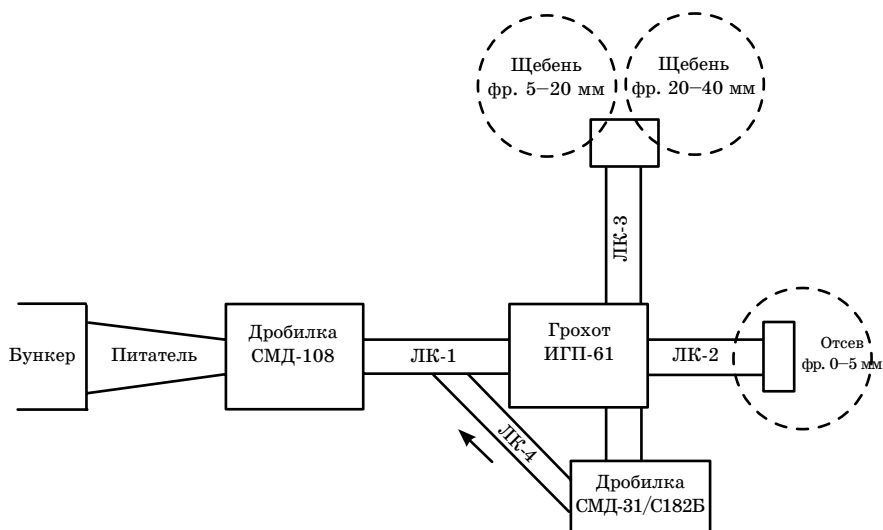
Значительная часть невыгоревших частиц в породе – это не уголь, а устойчивые к атмосферным влияниям ококсированные частицы, которые не претерпевают превращений и не вызывают объемных изменений. Опасность для бетона создают угольные частицы, не прошедшие стадию ококсирования.

### ***Технология производства заполнителей***

Разработке пород предшествуют работы по удалению растительного слоя с отвала и слоя породы, относящегося к зоне выветривания и мало пригодного к переработке. После обнажения породного массива приступают к разработке отвала. Разработка породного отвала производится открытым способом, ее ведут сверху вниз горизонтальными уступами, заходками. Высота уступа составляет 10–15 м, угол откоса уступа рабочего – до  $40^\circ$ , нерабочего –  $30-40^\circ$ . Высота уступа при использовании экскаватора без предварительного рыхления пород не превышает высоты и глубины черпания экскаватора.

Переработка пород на заполнители производится на дробильно-сортировочной установке по технологической схеме, включающей

основные технологические процессы переработки: дробление сырья для получения требуемых по крупности фракций щебня и заданного зернового состава отсева, сортировку продуктов дробления на заданные фракции, транспортировку и складирование готовой продукции. Основное оборудование дробильно-сортировочного комплекса – дробилки и грохот, а также ленточные конвейеры, питатели, транспортеры, объединяющие все агрегаты в технологическую линию. Технологическая схема переработки шахтной породы приведена на рис. 4.



**Рис. 4.** Технологическая схема расположения оборудования дробильного комплекса на базе породного отвала № 4 (ООО «Донстройресурс»)

Горелая порода одноковшовым экскаватором нагружается в автосамосвалы и доставляется к месту переработки, находящемуся на расстоянии 1 км от отвала. Горная масса с автосамосвала подается в приемный бункер. Из бункера пластинчатым питателем порода подается на щековую дробилку. На первичное дробление поступает порода с максимальным размером кусков – 100–300 мм. Максимальный размер кусков породы на второй стадии дробления – 20–80 мм.

После щековой дробилки дробленая порода по конвейеру № 1 подается на инерционный грохот, укомплектованный двумя ситами, где производится поверочное (контрольное) грохочение для выделения из потока материала продукта, не требующего второй стадии дробления.

На этой стадии грохочения из продуктов дробления в соответствии с потребностями выделяют необходимую фракцию щебня (от 5 до 20 или свыше 20 до 40 мм) и отсеб. После грохота щебеночная фракция по конвейеру № 3, а отсеб по конвейеру № 2 складировются вблизи дробильно-сортировочной установки.

Нагрешетный продукт после грохочения направляется на вторичное дробление, которое производится на молотковой дробилке. Дробленый продукт с молотковой дробилки по конвейеру № 4 возвращается на конвейер № 1 и направляется на инерционный грохот. По данной технологической схеме продукты обеих дробилок сортируются на одном грохоте. После грохота полученный продукт по конвейеру № 3 и № 2 направляется на склад готовой продукции.

Складирование и хранение щебня производится на открытой площадке с твердым (асфальтовым) покрытием по фракциям в конусах (конусный склад). Заполнители подаются на склад ленточным конвейером, точечным сбросом. Отсеб, предназначенный для использования в производстве керамического кирпича, складировается в конус под навесом. Отгрузка готовой продукции осуществляется автопогрузчиком.

При наличии в отвале достаточно четких слоев негорелой породы производится селективная выемка таких пород с использованием экскаваторов или автопогрузчиков.

### ***Коэффициент разрыхления породы***

При расчете производительности по исходной породной массе необходимо учитывать свойство породы занимать в разрыхленном состоянии больший объем по сравнению с тем, который она имеет в плотно сложенном состоянии.

Разрыхляемость пород, т. е. увеличение объема пород в результате их рыхления, дробления, перелопачивания, экскавации при разработке, оценивают *коэффициентом разрыхления*  $K_p$ , представ-



ляющим отношение объема породы после рыхления  $V_p$  к объему породы в условиях естественного залегания в массиве  $V$ , т. е.

$$K_p = V_p / V.$$

Разрыхляемость пород зависит как от их состава, так и от производственных условий разработки, транспортировки, способа укладки в отвал, длительности стояния отвала и т. д.

Количественная оценка разрыхляемости породы шахтного отвала была проведена двумя способами:

– по изменению объемов, занимаемых породной массой в рыхлом состоянии и в уплотненном, соответствующем естественному залеганию породной массы в отвале;

– исходя из установленной производительности по исходной горной массе.

По первому способу в ходе испытаний определялся объем ( $V_1$ ), занимаемый породной массой весом  $g_1$  в рыхлом состоянии и объем ( $V_2$ ), занимаемый этой навеской породной массы в уплотненном состоянии. Результаты испытаний приведены в табл. 7.

Как следует из полученных экспериментальных данных, объем, занимаемый одним и тем же количеством породы (по весу –  $g_1$ ) в плотном сложении (в отвале) и в рыхлом (после дробления), различен. В рыхлом состоянии объем породной массы в 1,208 раза больше, чем в плотно сложенном состоянии.

Таблица 7

**Коэффициент разрыхления  
породной массы отвала**

Вес испытываемой пробы, $g_1$ , кг	Объем, занимаемый породой в рыхлом состоянии, $V_1$ , м <sup>3</sup>	Объемный вес породы в рыхлом состоянии, $\gamma_1$ , кг/м <sup>3</sup>	Объем, занимаемый породой в уплотненном состоянии, $V_2$ , м <sup>3</sup>	Объемный вес породы в уплотненном состоянии, $\gamma_2$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент разрыхления, $K_p$
<b>Состояние естественной влажности (<math>W = 3,25</math> %)</b>					
71,24	0,0489	1456	0,0403	1768	1,213
33,78	0,0231	1462	0,0192	1756	1,203
Среднее значение		<b>1459</b>		<b>1762</b>	<b>1,208</b>

По второму способу для расчета коэффициента разрыхления было использовано уравнение:

$$Q_{\text{исх.}} = Q_{\text{гот.}} \cdot \rho_{\text{гот.}} / (\gamma_{\text{гот.}} \cdot \rho_{\text{исх.}}),$$

где:  $Q_{\text{исх.}}$  – количество исходной горной массы, планируемой для переработки, м<sup>3</sup>/год;  
 $Q_{\text{гот.}}$  – количество готовой продукции, м<sup>3</sup>/год;  
 $\rho_{\text{гот.}}$  – насыпная масса готовой продукции, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_{\text{исх.}}$  – насыпная масса исходной горной породы, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma_{\text{гот.}}$  – планируемый выход готовой продукции, доли единицы.

Для расчета были взяты следующие исходные данные:

$$Q_{\text{исх.}} = 15000 \text{ м}^3;$$

$\rho_{\text{гот. щ}}$  – насыпная плотность щебня (усредненное значение) – 1180 кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{\text{гот. щ}}$  – планируемый выход щебня – 0,36;

$\rho_{\text{гот. о}}$  – насыпная плотность отсева (усредненное значение) – 1230 кг/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{\text{гот. о}}$  – планируемый выход отсева – 0,64;

$\rho_{\text{исх.}}$  – насыпная масса исходной породы (усредненное значение) – 1470 кг/м<sup>3</sup>.

Решая приведенное выше уравнение относительно выхода готовой продукции ( $Q_{\text{гот.}}$ ), – щебня и отсева, получаем следующие значения:

При переработке 15 000 м<sup>3</sup> породы выход готовой продукции составит:

♦ щебня – 6727 м<sup>3</sup>;

♦ отсева – 11 473 м<sup>3</sup>.

Общее количество готовой продукции составит – 18 200 м<sup>3</sup>, а коэффициент разрыхления будет:  $(K_p) = 18\,200/15\,000 = 1,213$ .

Среднее значение коэффициента разрыхления породы шахтного отвала:  $K_p = 1,21$ .

Фракционированный щебень и смесь фракций щебня используются в дорожном строительстве и для благоустройства территорий, спортивных площадок, стоянок автотранспорта. Они пригодны для устройства дополнительных и основных слоев оснований и покрытий дорог III, IV, V категорий.

Отсев дробления используется в производстве кирпича керамического в качестве отощающей и выгорающей добавки. Отсевы пригодны к использованию вместо грунта для устройства насыпей, дамб, плотин, выравнивания рельефа земной поверхности, засыпки теннисных кортов, горящих отвалов, садовых дорожек и т. п., посыпки дорог и улиц во время гололедицы. Молотую горелую породу используют как гидравлическую добавку, пластификатор, микронаполнитель.

Основные направления использования заполнителей из горелых пород шахтных отвалов показаны на приведенных ниже рис. 5–7.

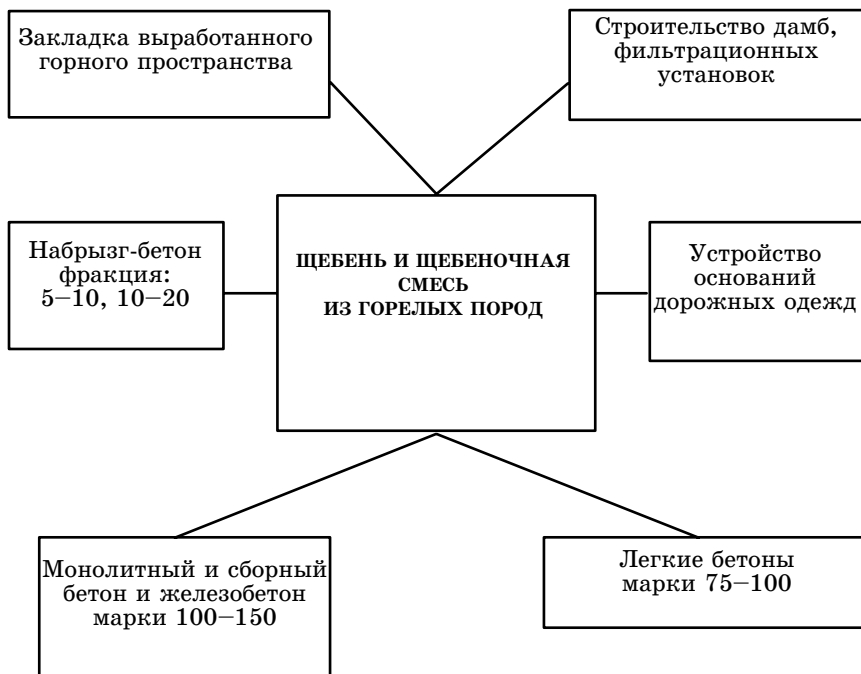
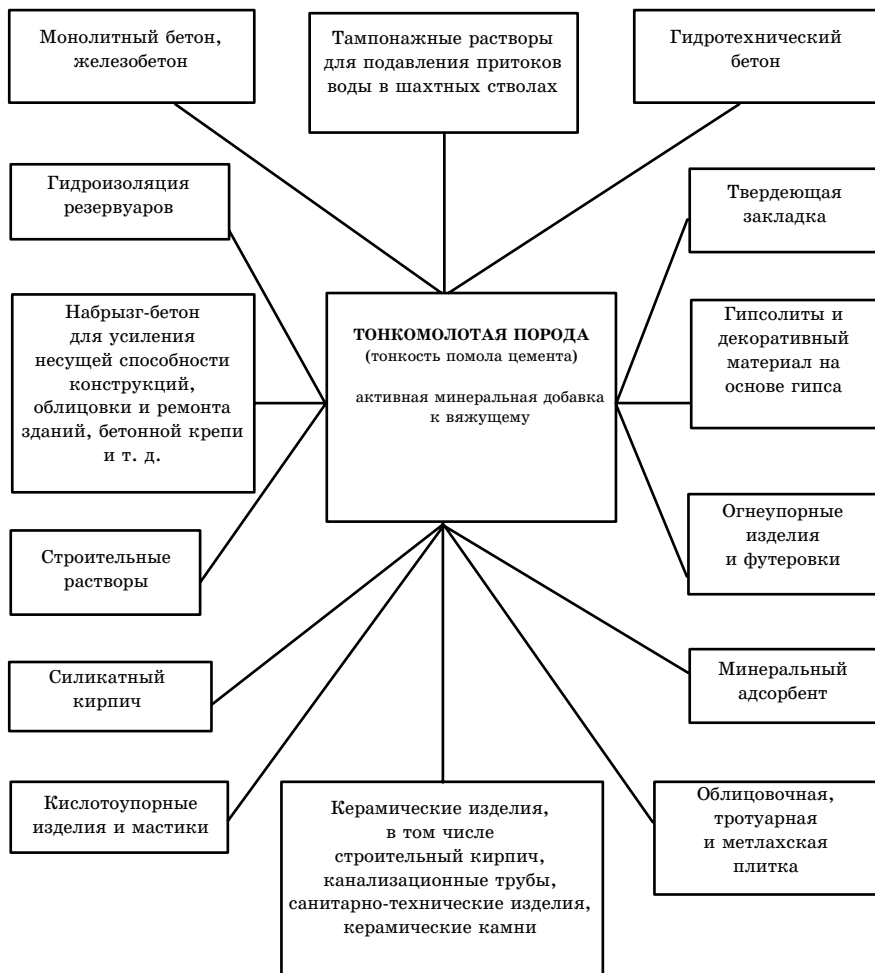
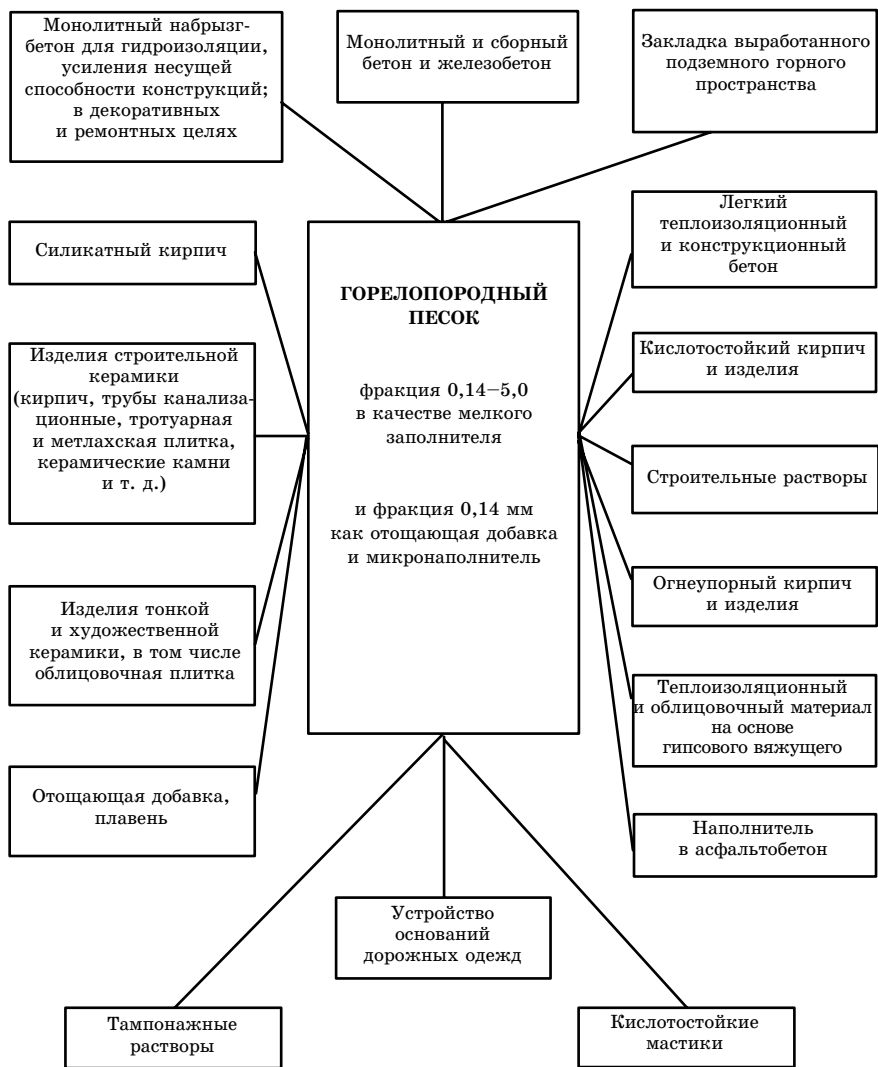


Рис. 5. Направления утилизации щебня из горелых пород



**Рис. 6.** Направления утилизации тонкомолотых горелых пород



**Рис. 7.** Направления утилизации горелопородного песка

# 4 БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

## 4.1. Бетон – материал будущего

Современное строительство немислимо без бетона. 2 млрд м<sup>3</sup> в год – таков сегодня мировой объем его применения. Это один из самых массовых строительных материалов, во многом определяющий уровень развития цивилизации. Вместе с тем, бетон – самый сложный искусственный композиционный материал, который может обладать совершенно уникальными свойствами. Он применяется в самых разных эксплуатационных условиях, гармонично сочетается с окружающей средой, имеет неограниченную сырьевую базу и сравнительно низкую стоимость. К этому следует добавить высокую архитектурно-строительную выразительность, сравнительную простоту и доступность технологии, возможность широкого использования местного сырья и утилизации техногенных отходов при его изготовлении, малую энергоемкость, экологическую безопасность и эксплуатационную надежность. Именно поэтому бетон, без сомнения, останется основным конструкционным материалом и в обозримом будущем.

Последние десятилетия двадцатого века ознаменовались значительными достижениями в технологии бетона. В эти годы появились и получили широкое распространение новые эффективные вяжущие, модификаторы для вяжущих и бетонов, активные

минеральные добавки и наполнители, армирующие волокна, новые технологические приемы и методы получения строительных композитов; на рубеже столетия существенно обогатились наши представления о структуре и свойствах бетона, о процессах структурообразования, появилась возможность прогнозирования свойств и активного управления характеристиками материала, успешно развивается компьютерное проектирование бетона и автоматизированное управление технологическими процессами.

Все это позволило не только создать и освоить производство новых видов бетона, но и значительно расширить номенклатуру применяемых в строительстве материалов: от суперлегких теплоизоляционных (с объемной массой менее  $100 \text{ кг/м}^3$ ) до высокопрочных конструкционных (с прочностью на сжатие свыше  $200 \text{ МПа}$ ). Сегодня в строительстве применяется более тысячи различных видов бетона и процесс создания новых бетонов интенсивно продолжается. Бетон широко используется в жилищном, промышленном, транспортном, гидротехническом, энергетическом и других видах строительства.

В новом веке теория, технология и практика применения бетона получают, несомненно, дальнейшее развитие, сохранив за ним ведущее положение среди строительных материалов. Бетон, являясь наиболее ярким представителем более широкого класса материалов, – строительных композитов гидратационного твердения, проектируемых на единой материаловедческой основе, даст новый импульс для создания гибридных, слоистых, тонкостенных, профильных и других видов строительных конструкций нового поколения.

Легко прогнозировать, что в ближайшем будущем произойдет постепенное замещение обычных традиционных бетонов многокомпонентными. В последних используются химические модификаторы структуры, свойств и технологических характеристик бетона, в том числе комплексные модификаторы, включающие порой несколько десятков индивидуальных химических добавок, активные минеральные компоненты различной дисперсности (от  $2000$  до  $25000 \text{ см}^2/\text{г}$ ) и, в ряде случаев, композиционные вяжущие вещества, в том числе вяжущие низкой водопотребности, расширяющие добавки (неорганические и органические), дисперсные волокнистые наполнители (углеволокно, стекловолокно,

полипропиленовая фибра, растительные волокна и т. д.), а также другие специальные компоненты. Многокомпонентность бетонной смеси позволяет эффективно управлять структурообразованием на всех этапах технологии и получать материалы с самым различным комплексом свойств.

С целью достижения наилучших результатов при производстве новых видов бетона, изделий и конструкций получит развитие интенсивная технология бетона. В ней будет использована механо-химическая активация сырьевых смесей, скоростные турбулентные смесители, в том числе двухкамерные, баротермическое воздействие, электроимпульсные и волновые агрегаты, компьютерное управление технологией и качеством материала, пропитка готовых изделий и конструкций специальными глубоко проникающими и отверждающимися композициями, близкими по структуре и свойствам к бетону, использование новых материалов, полученных в результате развития нанотехнологий (например, наносиликатов с удельной поверхностью свыше 180 000 см<sup>2</sup>/г вместо микрокремнезема), литье, каландрирование и другие технологические приемы.

Ясно, что в перспективе применение на практике найдет вся гамма бетонов — от обычных традиционных до многокомпонентных и высококачественных. Однако постепенный переход к более эффективным видам бетона будет предопределен их более высоким качеством, и соответственно большей конкурентоспособностью на строительном рынке, большими возможностями в создании новых видов конструкций, возведении зданий и сооружений, всемерным снижением эксплуатационных затрат и инвестиционных рисков при строительстве сложных инженерных объектов.

Одним из способов получения более эффективного, качественного и многофункционального бетона является использование в технологии бетона отходов промышленности. Промышленные отходы необходимо рассматривать не как отходы производства, а как ценное сырье, источник расширения сырьевой базы строительной отрасли. За рубежом, например, именно промышленность строительных материалов быстро развивает сегодня собственные производства по переработке различного химического сырья, вторичных продуктов металлургии, горнодобывающей и других отраслей промышленности и энергетики. Среди промышленных отходов одно из первых мест по объему выпуска занимают золы и



шлаки от сжигания твердых видов топлива на тепловых электростанциях. На многих ТЭС ежегодный выход золы и шлака превышает 1 млн т, а на станциях, сжигающих многозольное топливо, достигает 5 млн т.

Огромные количества золы и шлака скопились в отвалах, занимающих ценные земельные угодья. Содержание золошлаковых отвалов требует значительных затрат. В то же время золы и шлаки являются материалами, прошедшими высокотемпературную обработку и получившими специфические свойства, предопределяющие возможность их эффективного использования в производстве различных строительных материалов, что подтверждается научными исследованиями и практическим опытом. Повышенная химическая активность зол и шлаков ТЭС, по сравнению с материалами, не прошедшими термической обработки, позволяет более чем на треть снизить топливно-энергетические затраты при последующем их использовании в производстве строительных материалов и изделий.

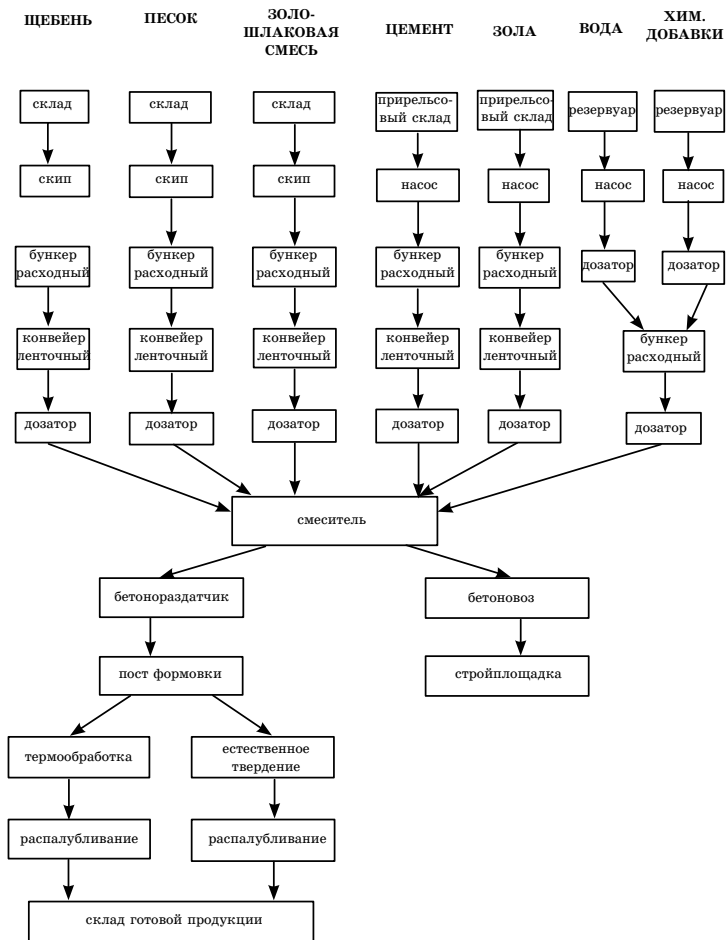
Вновь разрабатываемые бетоны с повышенным содержанием промышленных отходов – гранулированного шлака, зол уноса, золы рисовой шелухи, метаксаолина цеолитов, других активных минеральных добавок и техногенных отходов – расширяют и без того безграничное поле применения этого удивительного материала, без которого трудно представить себе будущее строительства.

Технология изготовления бетона на материалах из техногенного сырья (например, золошлаковых отходах, шахтных породах) принципиально не отличается от технологии приготовления бетона на традиционных материалах и включает следующие операции: подготовка исходных материалов и заполнителей и добавок из техногенного сырья, сушка и фракционирование инертных материалов, подготовка поверхностно-активных добавок, дозирование компонентов и приготовление бетонной смеси в смесителе принудительного действия, выгрузка бетона, испытание физико-механических свойств и качества бетонных смесей и бетона.

## **4.2. Бетон с добавкой золы уноса**

При разработке технологий бетонных смесей и бетонов на основе техногенного сырья в качестве объектов исследования

выбраны золошлаковые отходы Новочеркасской ГРЭС и породы некоторых шахтных отвалов Ростовской области. К технологическим переделам при приготовлении бетонных смесей относятся: подготовка материалов, их дозирование и перемешивание бетонной смеси, формование изделий, твердение отформованных изделий. Технологическая схема приготовления бетонных смесей приведена на рис. 8.



**Рис. 8.** Технологическая схема приготовления золобетонных смесей и золобетона

Основными преимуществами использования техногенного сырья являются:

- расширение минерально-сырьевой базы стройиндустрии;
- выпуск конкурентоспособной продукции;
- снижение себестоимости продукции;
- реабилитация окружающей среды от техногенных воздействий:

- уменьшение ежегодных отчуждений территорий под нарастающие объемы отходов добычи и сжигания твердого топлива;
- исключение капитальных затрат на складирование и транспортировку отходов; решение экологических и экономических проблем, возникающих с хранением отходов добычи и сжигания углей.

В технологии бетона золу сухого отбора следует использовать, прежде всего, как активную минеральную добавку и микронаполнитель. При введении золы в состав бетона непосредственно в момент его приготовления зола используется как добавка многофункционального действия, т. е. взамен части цемента и песка.

Основными проблемами при использовании золы как добавки к вяжущим веществам для бетона, как показали исследования, являются дисперсность и количество, которое допускается вводить в цементы без снижения их прочности, а также способ введения добавки золы в бетон.

Зола, в отличие от цемента, имеет повышенную водопотребность из-за имеющейся значительной микропористости. Водопотребность бетонной смеси с добавкой золы, равноподвижной с контрольной, корректируется увеличением воды затворения.

Одним из показателей, определяющих эффективность применения золы, является прочность бетона. При установлении оптимального количества золы следует учитывать также такие параметры, как количество сэкономленного цемента и отношение количества золы к сэкономленному цементу ( $Z/C_3$ ). Доля вводимой добавки золы может превышать количество заменяемого цемента в 2–7 раз. Оптимальным считается состав бетона, который обеспечивает получение требуемых показателей при максимальной экономии цемента. Оптимальное количество вводимой золы определяется экспериментально в зависимости от марки бетона, его назначения и требований к бетону.

Существенное влияние на прочностные характеристики золобетона оказывает дисперсность золы. В наибольшей степени это влияние сказывается на прочности на растяжение при изгибе. Добавка золы с удельной поверхностью 400 и 600 м<sup>2</sup>/кг приводит к увеличению прочности и превышению этого показателя контрольных образцов. Экспериментально было установлено, что обеспечить высокие прочностные показатели бетонов позволяет применение золы с удельной поверхностью 500–600 м<sup>2</sup>/кг. Оптимальная дисперсность минеральной добавки к цементу должна на 100–200 м<sup>2</sup>/кг превышать дисперсность клинкерного компонента (цемента). Зола сухого отбора чаще всего имеют удельную поверхность 300–350 м<sup>2</sup>/кг.

На свойства бетона оказывает существенное влияние активность золы. Она может быть повышена дополнительным измельчением – повышением ее дисперсности. Однако это связано с энергетическими затратами. Целесообразность активации золы путем ее доизмельчения должно в каждом конкретном случае обосновываться экономическими расчетами достигаемого результата.

Введение золы взамен части цемента оказывает влияние на подвижность бетонной смеси: она увеличивается. Это объясняется, прежде всего, сферической формой частиц золы с гладкой остеклованной фактурой поверхности. Подвижность бетонной смеси возрастает благодаря уменьшению внутреннего трения бетонной смеси. Причем, чем выше дисперсность золы, чем больше в ней остеклованных шарообразных частиц, тем сильнее пластифицирующее действие золы на бетонную смесь. Кроме того, при введении золы вместо цемента объем теста вяжущего в бетоне увеличивается, так как замена цемента золой производится по массе, а плотность золы меньше плотности цемента. Увеличение же объема вяжущего (цементно-золяного теста) при прочих равных условиях приводит к увеличению подвижности бетонной смеси.

Такие тяжелые бетоны с добавкой золы особенно рационально использовать при изготовлении плоских крупных элементов в кассетных установках. Поверхность изделий из такого бетона практически не имеет дефектов.

Набор прочности бетонов, содержащих золу, влияет на режим твердения. Для бетонов нормального твердения, в которых часть цемента заменена золой, характерна более низкая прочность в

раннем возрасте по сравнению с бетонами без золы. С течением времени разница в прочности бетонов с золой и без золы постепенно сокращается, а в поздние сроки твердения (180–360 сут.) бетоны с умеренным содержанием золы приобретают прочность, равную прочности бетона без золы и даже превышающую ее.

Это объясняется тем, что формирование прочности бетонов с золой происходит под влиянием двух важнейших факторов. Первый связан с уменьшением расхода цемента и повышением водоцементного отношения при введении золы и приводит к снижению прочности. Второй фактор связан с проявлением пуццолановой активности золы. В ранние сроки твердения преобладает первый фактор, в поздние – второй.

Золобетоны естественного твердения целесообразно использовать в изготовлении гидротехнических бетонных сооружений, вступающих в эксплуатацию в достаточно позднем возрасте, замедленное нарастание прочности бетонов с золой не является недостатком. Для конструкций, быстро вводимых в эксплуатацию, прочность бетона с золой в раннем возрасте может быть повышена применением цемента более высокой марки, использованием добавок-ускорителей твердения бетона, повышением активности золы помолом (без цемента или совместно с цементом).

В условиях пропаривания добавка золы оказывается более эффективной, чем при нормальном твердении. Пропаривание конструкций и изделий из бетона на портландцементе и шлакопортландцементе с добавкой золы рекомендуется производить при температуре 90–95 °С с продолжительностью изотермического прогрева 8–10 ч.

### **4.3. Бетон на заполнителях из золошлаковой смеси**

Золошлаковую смесь используют в тяжелых бетонах в качестве однокомпонентного заполнителя без природного песка и крупного заполнителя (мелкозернистые бетоны), а также в различных бетонах в сочетании с другими природными или искусственными заполнителями. Вяжущими в таких бетонах могут быть портландцемент и его разновидности, а также воздушная или гидравлическая известь обычно в смеси с двуводным гипсом. Золошлаковую смесь

можно использовать как непосредственно из отвала, так и получать смешиванием золы и шлака.

В мелкозернистом бетоне из золошлаковой смеси обычные заполнители (щебень и песок) полностью заменяют золошлаковой смесью, содержащей мелкодисперсные золы, мелкие и крупные фракции шлака.

Для выбора оптимального количества добавки золы к вяжущему изучали прочность такого вяжущего с добавкой золы (золоцементное вяжущее). Критерием оценки являлась прочность золобетона. Для приготовления экспериментальных составов использовали цемент марок 400 и 500.

При анализе полученных результатов по прочности бетонных смесей с золой-уносом следует, что чем ниже марка бетона, тем большее количество цемента можно заменить золой при сохранении марки и качества бетона. Вместе с тем, расход цемента у составов золы возрастает с увеличением марки бетона. Поэтому отношение количества вводимой золы к количеству заменяемого цемента уменьшается по экспоненте при переходе от марки 100 к марке 300 с 5,6 до 1,14.

При более детальном исследовании бетонов различной прочности с осадкой конуса 3–4 см следует, что для бетона марки 100 отношение *зола/цемент* изменяется в пределах 1,8–5,59; наиболее оптимальные значения, судя по прочности образцов, находятся в пределах 2,4–5,59, это соответствует замене цемента в бетонной смеси от 14 до 50 %.

Для бетона марки 150 отношение *зола/цемент* находится в пределах 1,66–5,58, что соответствует замене цемента в количестве 17–35 %. Однако для бетона этой марки возможна замена цемента золой от 10 до 50 %.

Для бетона марки 200 отношение *зола/цемент* меняется в пределах 1,66–3,97. Для бетона этой марки возможна замена цемента золой от 10 до 40 %. Для бетона марки 300 отношение *зола/цемент* составляет 1,14–2,78. Оптимальные значения отношения *зола/цемент* для бетона этой марки – 1,47–1,98, что соответствует с учетом прочности замене цемента от 10 до 30 %.

Описание результатов приведено для бетонной смеси с осадкой конуса 3–4 см. Для остальных подвижностей указанных марок бетонной смеси зависимость по изменению соотношения между

заменяемым цементом и вводимой золой и прочностью примерно сохраняется, отличие лишь в абсолютных значениях по запасу прочности.

Оптимальное для практики количество заменяемого цемента приходится на 20–30 %. Это количество заменяемого цемента подтверждено также при испытании экспериментальных составов бетона на морозостойкость, коррозионную стойкость и водонепроницаемость.

При 20 и 30 %-ной замене цемента золой на одну весовую часть заменяемого цемента для каждой марки бетона вводится различное количество золы (в весовых частях) и соответственно отношение количества золы к смеси золоцементного вяжущего для каждого бетона различно (табл. 8).

Таблица 8

**Долевые соотношения зола/цемент для бетона**

Класс (марка) бетона	$\frac{\text{зола}}{\text{цемент}}$	$\frac{\text{зола}}{\text{цемент} + \text{зола}}$
B7,5 (M100)	2,4–3,3	0,45–0,55
B10 (M150)	2,4–3,3	0,45–0,55
B15 (M200)	2,0–2,5	0,35–0,45
B22,5 (M300)	1,5–2,0	0,30–0,40

Бетоны с тонкодисперсными добавками золы-уноса, проявляющими пуццолановую активность, набирают прочность как в условиях нормального твердения, так и при тепловой обработке. В зависимости от условий твердения действие золы на структурообразование бетона проявляется по-разному.

На ранней стадии в условиях нормального твердения действие золы сводится главным образом к улучшению гранулометрического состава, повышению удельной поверхности бетонной смеси и увеличению количества контактов. Позднее начинают проявляться пуццолановые свойства золы и активное участие ее в формировании веществ, обладающих вяжущими свойствами. Этот процесс продолжается достаточно долго.

Как известно, при пропаривании в бетоне одновременно протекают два процесса: конструктивный, связанный с образованием и упрочнением структуры твердеющего бетона, и деструктивный, вызываемый воздействием на бетон изменяющихся во времени температур. Основные физические изменения и нарушения в структуре твердеющего бетона происходят в период его разогрева. На стадии изотермического прогрева необратимо фиксируются структурные дефекты, которые приобрел бетон в период нагрева. На стадии охлаждения возникшие в результате перепада температур напряжения могут вызывать образование трещин.

Положительное влияние тонкодисперсной добавки, приводящее к уменьшению деструктивных процессов в бетоне при тепловой обработке, заключается в повышении однородности бетона. Так, компактное, сближенное расположение частиц цемента, добавки и заполнителей, уменьшение размеров пор и капилляров существенно ослабляют миграционные процессы внутри материала. Развитая удельная поверхность системы благоприятствует протеканию физико-химических процессов твердения и структурообразования без возникновения дефектов структуры.

По результатам лабораторных исследований установлено, что эффективность использования зол повышается при твердении бетона в условиях термовлажностной обработки. Термовлажностная обработка увеличивает активность всех аморфных фаз зол и шлаков, в особенности спекшихся и остеклованных. При повышенных температурах проявляют активность и некоторые кристаллические компоненты зол и шлаков (кварц, полевые шпаты, алюмосиликаты кальция). Основными продуктами твердения золоцементных вяжущих при термовлажностной обработке являются гидросиликаты кальция.

К числу важных факторов, влияющих на прочность и долговечность бетонов и растворов, относится однородность. Однородность бетонной смеси с добавками золы определяли наиболее широко применяемым методом – по прочности бетона. Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют о повышении однородности бетонной смеси с добавками золы в среднем на 25–27 %, и, прежде всего, за счет увеличения пластичности смесей. В присутствии золы происходит изменение структуры цементного камня, что сказывается на свойствах бетона.



Введение золы-уноса в состав бетона позволяет экономить до 50 % цемента. В табл. 9–11 приведены показатели прочностных свойств золобетонov для различных марок бетона. Независимо от условий твердения изделия из золобетона классов В7,5–В30 имели запас по прочности от 4 до 40 % при экономии цемента от 10 до 40 %. Наибольший запас по прочности отмечался у низкомарочных бетонов.

Таблица 9

**Прочностные свойства золобетона**

Бетон, марка; осадка конуса (ОК)	Цемент : зола	Экономия цемента		Прочность на сжатие, МПа
		%	кг	
М100; ОК – 3–4 см	1 : 2,0	50	100/110	13,8
М150; ОК – 3–4 см	1 : 1,38	40	80/96	17,4
М200; ОК – 3–4 см	1 : 0,85	30	78/90	22,7
М300; ОК – 5–8 см	1 : 0,63	30	88/120	33,5
М300; ОК – 1 см	1 : 0,63	30	98/110	34,3
М300; ОК – 5–7 см	1 : 0,63	30	120	35,6

**Примечание:** числитель – цемент М 400, знаменатель – цемент М 500.

Таблица 10

**Прочностные свойства золобетона**

Бетон, марка; осадка конуса (ОК)	Цемент : зола	Экономия цемента, на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси		Прочность на сжатие, МПа
		%	кг	
М100; ОК – 1–3 см	1 : 0	–	–	10,8
	1 : 0,83	20	38	14,8
	1 : 1,20	30	58	15,3
	1 : 1,50	40	77	14,8
	1 : 2,00	50	96	11,4

Окончание табл. 10

Бетон, марка; осадка конуса (ОК)	Цемент : зола	Экономия цемента, на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси		Прочность на сжатие, МПа
		%	кг	
М200; ОК – 1 см	1 : 0	–	–	24,0
	1 : 0,62	20	61	28,0
	1 : 0,85	30	91	25,9
	1 : 1,11	40	121	23,0
М200; ОК – 3–5 см	1 : 0	–	–	20,6
	1 : 0,62	20	69	24,5
	1 : 0,85	30	103	28,6
	1 : 0,99	40	138	22,5
М300; ОК – 4–9 см	1 : 0	–	–	31,3
	1 : 0,49	20	91	34,2
	1 : 0,63	30	137	34,0
	1 : 0,76	40	182	32,7
М300; ОК – 4–6 см	1 : 0	–	–	30,4
	1 : 0,49	20	80	32,8
	1 : 0,63	30	120	34,5
	1 : 0,83	40	160	32,1

Таблица 11

### Прочностные свойства золобетона

Бетон, марка; осадка конуса (ОК)	Цемент : зола	Экономия цемента, на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси		Прочность на сжатие, МПа
		%	кг	
М100; ОК – 3–4 см	1 : 2,0	50	100/110	13,8
М150; ОК – 3–4 см	1 : 1,38	40	80/96	17,4
М200; ОК – 3–4 см	1 : 0,85	30	78/90	22,7
М300; ОК – 5–8 см	1 : 0,63	30	88/120	33,5
М300; ОК – 5–8 см	1 : 0,63	30	98/110	34,3
М300; ОК – 5–7 см	1 : 0,63	30	120	35,6

**Примечание:** числитель – цемент марки 400, знаменатель – цемент марки 500.

Применение золы и золошлаковой смеси позволяет получать отпускную прочность бетона без перерасхода цемента в случае использования загрязненных, запесоченных и мелких заполнителей. В ходе лабораторных исследований доказана возможность снижения расхода цемента в бетонах классов В7,5–В10 в летнее время до 30–40, в зимнее – до 30–35 %; в бетонах классов В15–В30 в летнее время – до 20–30, в зимнее – до 20 % без ухудшения прочностных показателей.

По вопросу влияния золы на морозостойкость и водонепроницаемость бетонов есть некоторые разногласия. Существует мнение, что добавки золы снижают морозостойкость и водонепроницаемость бетонов. Минеральные компоненты бетона из техногенных отходов, проявляющие свойства пуццоланов, такие как зола, золошлаковая смесь, горелые шахтные породы и др., в отличие от природных пуццоланов, по-иному влияют на морозостойкость и долговечность бетона. Объяснение этому следует искать в особенностях природы этих материалов, их химико-минералогического состава, твердения в бетоне, роли в формировании структуры и прочности искусственного конгломерата. Физико-химические процессы, протекающие при твердении искусственного камня и определяющие прочность и другие физико-механические свойства материала в присутствии таких добавок, еще недостаточно изучены.

В проводимых исследованиях неоднократно проверялись морозостойкость и водонепроницаемость бетонов с добавками золы, испытывались составы, которые эксплуатируются в условиях переменных температур, повышенной влажности и действия агрессивных сред. Все исследуемые составы бетонов с добавками золы выдерживали испытания на морозостойкость и зачастую превышали проектную марку; коэффициент морозостойкости был на 11–23 % выше, чем у бетона без золы. По морозостойкости золобетоны имеют марку F50–F300, по водонепроницаемости – W2–W12 (табл. 12, 13). Основными факторами, положительно влияющими на морозостойкость и водонепроницаемость бетонов с добавками золы являются: уменьшение водоцементного отношения (благодаря пластифицирующему действию золы), повышение плотности бетона, снижение водопоглощения, «самозалечивание» трещин при испытаниях. Для золобетона отмечается прирост прочности и повышение плотности. Это связано с появлением

**Физико-механические свойства золотенов, рекомендуемых для железобетонных изделий**

Бетон, марка; осадка конуса (ОК); изделие	Прочность на сжатие, МПа			Морозостойкость, марка	Водопроницаемость, марка	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>
	пропаривание	естественное твердение, сут.				
		28	60			
М100; ОК 3–4 см, блоки стен подвалов	12,5/125	14,2	25,3	F50	W2	2210
М150; ОК 3–4 см, фундаментные подушки	14,25/95	16,7	27,6	F50	W4	2200
М200; ОК 3–4 см, плиты укрепления откосов и резервуаров	21,6/108	25,5	30,0	F100	W4	2240
М200; ОК 1–3 см, перемычки, балконы	22,8/114	25,6	35,0	F200	W6	2150
М250; ОК 5–6 см, плиты ПКЖ, сваи	25,8/103	27,8	28,0	F100	W6	2250
М300; ОК 1 см, пустотный настил	33,3/111	37,6	43,4	F150	W6	2260
М300; ОК 3–4 см, плиты лоджий, лестничные марши	34,5/115	38,0	45,7	F200	W8	2240
М300; ОК 5–8 см, лотки, колонны	30,9/103	37,4	47,5	F200	W10	2230

**Примечание:** в графе «пропаривание» – в числителе приведены значения прочности в МПа, полученные после пропаривания образцов, в знаменателе – процент, который составляет полученная прочность после пропаривания по отношению к проектной марке бетона.

## Результаты испытаний опытно-промышленных партий изделий из золотона

Бетон, марка; осадка конуса (ОК); изделие	Отпускная прочность, %	Прочность на сжатие, МПа			Экономия цемента на 1 м <sup>3</sup> бетона, % (кг)	Мо-розостойкость, марка	Марка по водонепроницаемости	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>
		после пропаривания	при твердении в естественных условиях в возрасте, сут.	60				
М100; ОК 3–4 см, блоки стен подвалов	70	8,54	11,90	14,40	16,80	F50	W2	2330
М150; ОК 3–4 см, плиты ленточных фундаментов	70	13,25	20,52	22,24	23,89	F50	W2	2260
М200; ОК 4–6 см, перемычки	70	19,46	25,40	27,73	29,88	F75	–	2310
М200; ОК 5–7 см, колонны	100	17,65	24,65	25,07	25,07	–	–	2250
М250; ОК 1 см, панели многослойные	70	24,78	31,20	38,45	41,22	F50	W4	2340

Бетон, марка; осадка конуса (ОК); изделие	Отпускная прочность, %	Прочность на сжатие, МПа			Экономия цемента на 1 м <sup>3</sup> бетона, % (кг)	Морозостойкость, марка	Марка по водонепроницаемости	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>
		после пропаривания	при твердении в естественных условиях в возрасте, сут.	60				
М300; ОК 3–4 см, блоки морских сооружений	100	35,06	34,25	41,42	45,71	F200	W12	2250
М300; ОК 1–4 см, плиты откосов и резервуаров	100	34,40	33,20	40,82	43,98	F200	W8	2230
М300; ОК 3–4 см, сваи	100	35,40	34,57	41,30	43,82	–	–	2380
М400; ОК 3–4 см, камни бортовые	100	41,80	41,56	49,17	53,05	F300	–	2290

дополнительного количества новообразований за счет повышения степени вовлечения цемента в гидратацию в присутствии тонкодисперсных добавок пуццоланового характера. Эти гидратные соединения кальматируют микротрещины и поры. По истечении большого количества циклов попеременного замораживания и оттаивания (т. е. по мере снижения ресурса морозостойкости) деструктивные процессы начнут превалировать над самопроизвольно идущим процессом «залечивания» трещин, и станут проявляться признаки разрушения бетона.

Высокие показатели физико-механических свойств бетона свидетельствуют о том, что в присутствии золы улучшается формирование структуры гидратирующегося цемента, происходит рост удельной поверхности новообразований, увеличивается число контактов между кристаллами, повышается плотность структуры конгломерата.

#### **4.4. Горелопородный бетон**

Одним из способов получения более эффективного, качественного и многофункционального бетона является использование в технологии бетона отходов угледобывающей отрасли. Вновь разрабатываемые бетоны, содержащие отходы угледобывающей промышленности, расширяют и без того безграничное поле применения этого удивительного материала, без которого трудно представить себе будущее строительства.

##### ***Технические требования, предъявляемые к горелопородным заполнителям***

Горелые шахтные породы являются достаточно дешевым и доступным сырьем. Запасы горелых шахтных пород, пригодных для получения заполнителей, огромны. Качественные заполнители можно получить из хорошо обожженных прочных пород ярко-красного, кирпично-красного и темно-красного цвета. Горелая порода темного и темно-серого цвета, а также порода с незагасившимися частицами оксида кальция и магния не пригодна для этой цели. Водопоглощение горелой породы не должно превышать 10 %,

потери при прокаливании – 20 %. Прочность горелой породы в водонасыщенном состоянии должна быть не менее 20 МПа, по морозостойкости она должна иметь марку не менее F15.

Щебень и песок, получаемые из горелых пород, по зерновому составу, прочности, морозостойкости, форме зерен щебня, содержанию глинистых и засоряющих примесей, а также пород и минералов, отнесенных к вредным примесям, должны соответствовать требованиям, которые предъявляются государственными стандартами к заполнителям из природного сырья. Дополнительные требования, предъявляемые к горелопородным заполнителям, изложены в **ТУ 5711-002-02070105-2002** и **ТУ 5711-002-02070105-2008**. Ограничивается содержание сернистых и сернокислых соединений, несгоревшего угля, а также оксидов щелочных и щелочноземельных металлов.

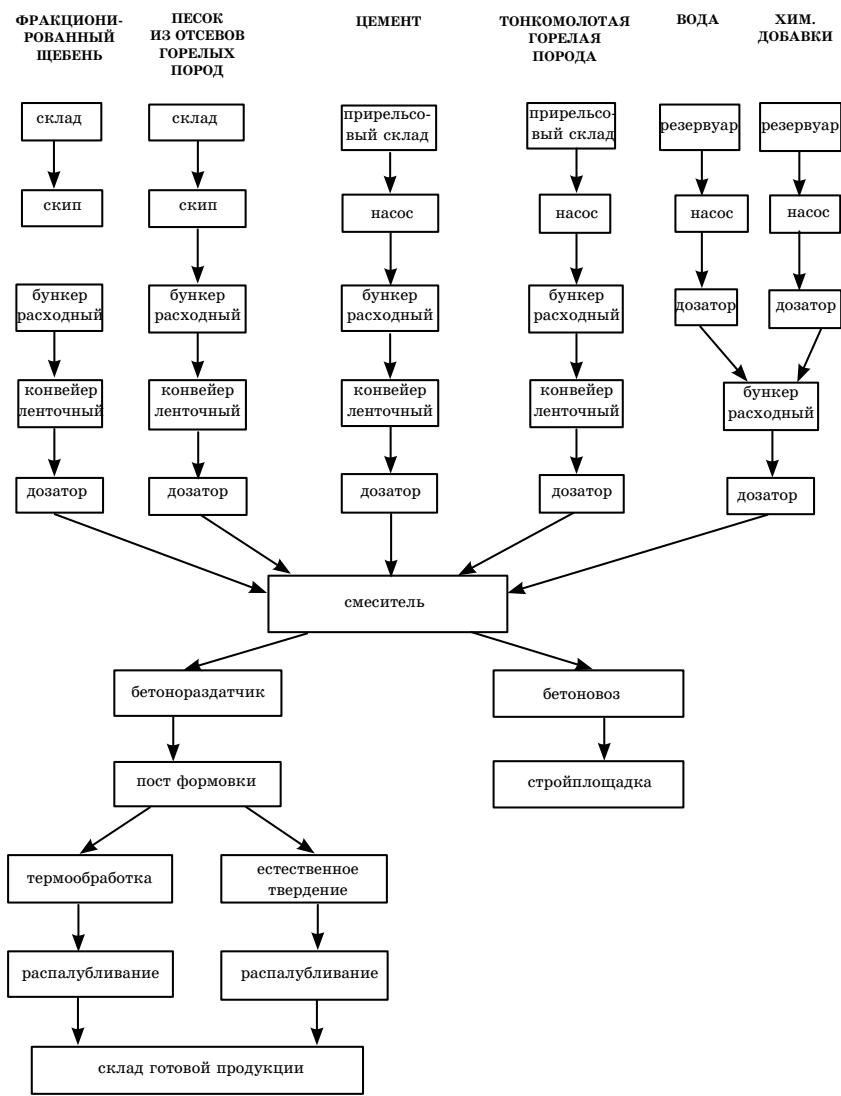
К технологическим переделам при приготовлении бетонных смесей с использованием материалов из пород шахтных отвалов относятся: подготовка материалов, их дозирование и перемешивание бетонной смеси, формование и твердение отформованных изделий. Технологическая схема приготовления бетонных смесей и бетона с использованием материалов из горелых пород шахтных отвалов приведена на рис. 9.

#### **4.5. Бетон с добавкой молотой горелой шахтной породы**

В технологии бетона молотую горелую шахтную породу следует использовать как активную минеральную добавку и микронаполнитель. Молотая порода, в отличие от цемента, имеет повышенную водопотребность из-за имеющейся значительной микропористости. Эффективность действия добавки в виде молотой горелой породы определяется ее дисперсностью и количеством, которое допускается вводить в цементы без снижения прочности бетона.

Одним из показателей, определяющих эффективность применения молотой породы, является прочность бетона. При установлении оптимального количества тонкомолотой породы следует учитывать также такие параметры, как количество сэкономленного цемента и отношение количества тонкомолотой горелой породы к сэкономленному цементу ( $P_{\text{мол.гор}} / C_а$ ).





**Рис. 9.** Технологическая схема приготовления горелопородных бетонных смесей и горелопородного бетона

Оптимальное количество тонкомолотой добавки в бетон можно определить экспериментально-расчетным способом, взяв за основу коэффициент эффективности ( $K_{эф}$ ) использования цемента. Для этого готовят несколько составов из бетонной смеси одинаковой подвижности, в которых часть цемента заменена тонкомолотой горелой породой и контрольные составы без добавки молотой породы. При замене части цемента добавкой ее количество рассчитывается из установленных соотношений между цементом и тонкомолотой горелой породой. Условия приготовления и режим твердения контрольных и испытываемых составов идентичны. После определения прочностных показателей рассчитывается коэффициент эффективности использования цемента и строится зависимость  $K_{эф}$  бетонов одинаковой подвижности от содержания тонкомолотой добавки. За оптимальное значение принимают такое содержание добавки, которому соответствует наибольшее значение  $K_{эф}$ . Корректировка составов производится на пробных замесах.

Количество вводимой добавки тонкомолотой горелой породы может превышать количество заменяемого цемента в 2–7 раз. Оптимальным считается состав бетона, который обеспечивает получение требуемых показателей при максимальной экономии цемента. Оптимальное количество вводимой тонкомолотой породы определяется экспериментально в зависимости от марки бетона, его назначения и требований к бетону. В зависимости от физико-механических свойств бетона соотношение между цементом и молотой горелой породой (цемент : горелая порода) может меняться в пределах **0,94–2,24**.

Существенное влияние на прочностные характеристики горелопородного бетона оказывает дисперсность добавки. В наибольшей степени это влияние сказывается на прочности на растяжение при изгибе. Добавка тонкомолотой породы с удельной поверхностью 400 и 600 м<sup>2</sup>/кг приводит к увеличению прочности и превышению этого показателя контрольных образцов. Экспериментально было установлено, что обеспечить высокие прочностные показатели бетонов позволяет применение молотой с удельной поверхностью 500–600 м<sup>2</sup>/кг. Оптимальная дисперсность минеральной добавки к цементу должна на 150–250 м<sup>2</sup>/кг превышать дисперсность клинкерного компонента (цемента).

На свойства бетона оказывает существенное влияние активность горелой породы. Она может быть повышена дополнительным измельчением – повышением ее дисперсности. Однако это связано с энергетическими затратами. Целесообразность активации горелой породы путем ее доизмельчения должно в каждом конкретном случае обосновываться экономическими расчетами достигаемого результата.

При введении тонкомолотой горелой породы вместо цемента объем теста вяжущего в бетоне увеличивается. На прочность бетонов, содержащих тонкомолотую горелую породу, оказывает влияние режим твердения. Для бетонов нормального твердения, в которых часть цемента заменена тонкомолотой горелой породой, характерна более низкая прочность в раннем возрасте по сравнению с бетонами без добавки. С течением времени разница в прочности бетонов с добавкой породы и без добавки постепенно сокращается, а в поздние сроки твердения (180–360 сут.) бетоны с умеренным содержанием тонкомолотой породы приобретают прочность, равную прочности бетона без добавки. В условиях среды с умеренной влажностью бетоны с добавкой молотых горелых пород продолжают длительное время медленно набирать прочность. Это связано с проявлением пуццолановой активности горелой породы.

Для конструкций, быстро вводимых в эксплуатацию, прочность бетона с тонкомолотой горелой породой в раннем возрасте может быть повышена применением цемента более высокой марки, использованием добавок-ускорителей твердения бетона, повышением активности горелой породы помолом (без цемента или совместно с цементом). В условиях пропаривания добавка тонкомолотой горелой породы оказывается более эффективной, чем при нормальном твердении. Пропаривание конструкций и изделий из бетона на портландцементе и шлакопортландцементе с добавкой горелой шахтной породы рекомендуется производить при температуре 93–95 °С с продолжительностью изотермического прогрева 10–12 ч.

#### **4.6. Бетоны на заполнителях из горелых шахтных пород**

Материалы из горелых шахтных пород представлены крупным заполнителем – фракционированным щебнем и мелким – в виде

отсевов дробления горелых пород. Заполнители из горелых пород можно использовать в различных тяжелых бетонах как самостоятельно, полностью заменяя природные, так и в сочетании с другими природными или искусственными заполнителям. Вяжущими в таких бетонах могут быть портландцемент и его разновидности, а также воздушная или гидравлическая известь обычно в смеси с двуводным гипсом.

Количество вводимых щебня и отсевов дробления определяется по принятым методикам расчета состава тяжелого бетона на традиционных заполнителях.

Бетон на заполнителях из горелых пород рекомендуется применять в шахтном строительстве для изготовления сборных бетонных и железобетонных крепежных элементов и рудничных шпал, в сельскохозяйственном и малоэтажном строительстве для изготовления мелких и крупных фундаментных и стеновых блоков, плит перекрытий и покрытий, перемычек, колонн и балок длиной до 6 м.

Бетон, в котором используются заполнители из горелых пород, по прочности не уступает бетону на высококачественных природных материалах. Ввиду реакционной способности таких заполнителей, кроме экономии дорогостоящих заполнителей, в отдельных случаях имеет место и определенная экономия цемента.

Фракционированный щебень и отсев дробления с оптимальным зерновым составом выпускают предприятия, ведущие разработку шахтных отвалов. Такие предприятия работают на отвале б/ш «Майская» (фирма «Транс-Уса»), на отвале б/ш им. Петровского (фирма «Терсь»), на отвале б/ш им. Воровского, на отвале б/ш «Глубокая» (фирма «Донстройресурс»).

### ***Особенности введения материалов из горелых пород в технологию***

Применение тонкодисперсной молотой породы, несмотря на значительные преимущества, создает вместе с тем определенные санитарно-гигиенические трудности, связанные с необходимостью обеспечения герметизации внутризаводских транспортных трактов и технологического оборудования и усиленной аспирации рабочих мест.

Тонкодисперсную молотую породу необходимо транспортировать и хранить в закрытых транспортных средствах и складах. Такую породу можно получить непосредственно на заводе ЖБИ, измельчая до определенной удельной поверхности отсева дробления горелых пород. Для измельчения можно использовать шаровые и виброцентробежные мельницы, скоростные смесители роторного типа и др.

Подача тонкодисперсной молотой горелой породы в технологическую линию производится аналогично подаче цемента. Для молотой породы должна быть отдельная емкость. Для ее дозирования можно использовать дозатор цемента.

Фракционированные щебень и отсева дробления горелых шахтных пород поступают на завод автотранспортом или в железнодорожных вагонах. Приемка, выгрузка и хранение этого сырья осуществляется так же, как и традиционных заполнителей. Склады инертных материалов должны быть оборудованы так, чтобы предохранить заполнители от порчи и потерь.

При использовании щебня и отсева дробления горелых пород неоптимального зернового состава необходима его корректировка. Для этого в состав бетона вводят природные заполнители: песок или щебень.

Заполнители из горелых шахтных пород по качеству не уступают аналогичной продукции из традиционно используемого сырья, и даже имеют некоторые преимущества: не содержат илистых и глинистых частиц и других засоряющих примесей; глины в комках; из-за микропористости частиц легче по насыпному весу; отличаются хорошим сцеплением с растворной частью.

Форма зерен щебня кубовидная, пластинчатая и угловатая. Поверхность частиц неокатанная, рваная, шероховатая, чистая, т. е. на ней не содержатся глинистые и другие засоряющие примеси. В результате термического воздействия частицы породы приобрели пористое строение. Однако низкие значения водопоглощения свидетельствуют о том, что большинство пор у частиц щебня имеет закрытый характер. По этому показателю заполнители из горелых пород сходны с искусственными пористыми заполнителями. Но в отличие от последних они имеют большую прочность, определяемую сдавливанием в цилиндре, и более низкие значения по водопоглощению. Благодаря жесткой структуре кристаллической решетки, микропоры в частицах щебня не могут переходить в открытые поры,

и молекулы воды не проникают в пространство микропор, поэтому водопоглощение щебня из горелых пород невысокое. Наличием пористости объясняется пониженная, в сравнении с природным щебнем, насыпная плотность. В щебне не содержатся примеси и компоненты, относимые к вредным, но могут присутствовать метаморфизованные негоревшие частицы топлива. По составу они отличны от исходного топлива и состоят из продуктов коксования (полукоксовые и коксовые остатки). Они стойки против окисления и долговечны при воздействии влаги и перепада температуры. Щебень выдерживает испытания на устойчивость структуры против всех видов распада.

Отсевы дробления горелых пород по зерновому составу соответствуют песчано-гравийной смеси. Песчаная фракция отсевов дробления пород по физико-механическим свойствам может соответствовать пескам I или II класса. По модулю крупности пески относятся к крупному и среднему. Песок из горелых пород имеет модуль крупности от 2,3 до 3,5, насыпную массу – 1250–1420 кг/м<sup>3</sup>. Отсевы дробления представляют собой смесь песчаной фракции и заполнителя св. 5–10 мм. Содержание щебеночной фракции колеблется в пределах от 10 до 30 %. Марка по прочности ее не менее 800. Пылевидная фракция менее 0,1 мм, присутствующая в заполнителях из горелых шахтных пород, является гидравлической добавкой с пуццолановой активностью. В бетонах такая добавка заменяет часть вяжущего. В табл. 14 приведены характеристики горелопородного заполнителя. Получаемые из горелых пород шахтных отвалов щебень, песок и щебеночно-песчаные смеси по техническим характеристикам и показателям качества соответствуют требованиям, которые предъявляются государственными стандартами к заполнителям из природного камня (ГОСТ 8267, ГОСТ 8736, ГОСТ 25607), а также техническими условиями на заполнители из горелых пород: ТУ 5711-002-02070105-2002 и ТУ 5711-002-02070105-2008, в которых детализированы требования к материалам из горелых пород. Щебень и отсевы дробления из горелых пород могут применяться в бетонных и железобетонных конструкциях как самостоятельно, так и в смеси с природными заполнителями, заменяя часть их. Материалы из горелых пород испытаны в производственных условиях при изготовлении бетонных и железобетонных изделий.

**Основные физико-механические свойства заполнителей  
из горелых пород**

Показатели	Вид заполнителя	
	щебень из горелых пород, фракция 5–10 мм	песок из отсевов горелых пород
Насыпной вес, кг/м <sup>3</sup>	1150–1200	1190–1270
Удельный вес, г/м <sup>3</sup>	2,55–2,78	2,60–2,65
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,48–2,85	0,8–8,6
Пустотность, %	30–45	35–42
Пористость, %	3–12	12–37
Коэффициент размягчения	0,96–0,98	0,87–0,93
Потери при прокаливании, %	0,9–2,8	1,2–14,8
Стойкость против всех видов распада, %		
	0,5–1,2	1,0–1,13
Марка по прочности при испытании на дробимость	800–1200	фракция 5–10 мм – не менее 800
Морозостойкость,		
Кол-во циклов попеременного замораживания и оттаивания	не менее 50	35
Модуль крупности	–	2,2–3,9

При испытании заполнителей из горелых пород шахтных отвалов проводились сравнительные испытания образцов из обычного и горелопородного тяжелого бетона. Были изготовлены опытные составы бетона, рекомендуемые для изготовления следующих изделий: блоки бетонных плит для стен подвалов, плиты ленточных фундаментов, перемычки для зданий, колонны, панели многпустотные для перекрытий зданий и сооружений,

массивы бетонные конструкций морских берегоукрепительных сооружений, плиты откосов и резервуаров, сваи забивные, камни бортовые.

Изготовление образцов осуществлялось виброформованием. Набор прочности бетона происходил при термообработке и в условиях естественного твердения по режиму, принятому для тяжелого бетона и для каждого конкретного вида изделий. Были испытаны контрольные кубы.

Составы бетона для железобетонной шахтной крепи были подобраны на заполнителях из горелых пород отвала шахты № 26. Результаты испытаний экспериментальных составов приведены в табл. 15 и 16. В табл. 17 приведены состав и прочностные свойства мелкозернистого горелопородного бетона, рекомендуемого для изготовления изделий в кассетах и мелкоштучных изделий. Испытания показали, что экспериментальные составы бетонов на заполнителях из горелых пород имели не только проектную прочность, но и превышали ее для бетонов классов В7,5–В25 на 10–36 %. Для некоторых составов бетона была установлена возможность снижения расхода цемента на 10–15 % без ухудшения прочностных показателей. Бетоны на заполнителях из горелых пород выдержали испытания на морозостойкость и водонепроницаемость в соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделиям.

Таблица 15

**Состав и свойства бетонов на щебне  
из горелых пород отвала шахты № 26**

Марка бетона	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				Предел прочности, МПа				Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>
	цемент	песок	щебень	вода	после пропаривания		через 28 суток		
					на сжатие	при изгибе	на сжатие	при изгибе	
М300	450	560	1210	194	23,3	3,07	34,0	4,60	2240
М300	390	600	1230	185	22,5	2,97	31,9	4,37	2230
М200	300	640	1280	165	16,6	2,32	23,1	3,30	2210
М150	260	650	1320	154	13,2	1,89	18,6	2,58	2220



Таблица 16

## Свойства тяжелого бетона на заполнителях из горелых пород

Бетон, марка; осадка конуса (ОК); изделие	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Отпускная прочность, %	Прочность при сжатии, МПа				Марка по водонепроницаемости
			после пропаривания	Естественное твердение через, сут.			
				28	60	180	
М300; ОК 1 см, затяжка	2260	70	27,0 (90)	32,0	36,8	37,5	W4
М300; ОК 1 см, элементы шахтной крепи	2230	70	22,5 (75)	31,2	35,5	36,7	W4
М200; ОК 1 см, лотки и плиты перекрытия лотков	2210	70	16,8 (79)	22,5	25,3	26,9	W4
М150; ОК 1–2 см, бетониты, блоки стен подвалов	2180	70	12,3 (82)	15,9	16,8	17,3	—

**Примечание:** в скобках приведен полученный процент прочности бетона.

Применение горелопородных пористых заполнителей с низким водопоглощением из-за особой их структуры позволяет сократить расход цемента, повысить прочность и улучшить другие свойства бетона (водопоглощение, деформативность, морозостойкость, долговечность). Пористые заполнители из горелых пород вследствие своей способности к влагообмену с цементным тестом в большей мере, чем обычные заполнители, влияют на процессы структурообразования. На первом этапе пористые заполнители, отсасывая влагу, способствуют получению более плотного и прочного контактного слоя цементного камня. На втором этапе, при уменьшении количества

**Физико-механические свойства мелкозернистых  
горелопородного бетона для тротуарных плит**

Прочность на сжатие (МПа) контрольных образцов	Прочность на сжатие (МПа) после попеременного замораживания и оттаивания, циклы					Потеря прочности, %	Марка по морозостойкости	Истираемость (г/см <sup>2</sup> ) в зависимости от абразива			Водопоглощение, %
	75	100	150	200	300			вольский песок	корунд	мраморная крошка	
31,0	30,4	30,0	30,2	30,6	31,2	нет	M300	0,317	0,742	0,703	3,9
35,9	36,7	39,5	40,4	38,8	39,0	нет	M300	0,445	1,132	0,990	3,0
40,2	39,8	40,0	39,7	41,7	42,4	нет	M300	0,307	0,767	0,682	2,3

воды в цементном камне вследствие гидратации цемента, пористые заполнители возвращают ранее поглощенную воду, создавая благоприятные условия для протекания гидратации цемента и уменьшая усадочные явления в цементном камне. Шероховатость поверхности зерен горелопородного заполнителя обеспечивает хорошее сцепление между цементным камнем и заполнителем, что способствует повышению прочностных свойств бетона. В результате в бетоне на заполнителях из горелых пород цементный камень может обладать достаточной плотностью и

однородностью, что существенно уменьшает его проницаемость, повышая тем самым долговечность бетонных и железобетонных конструкций и их стойкость в некоторых агрессивных средах.

Обобщение и анализ полученных экспериментальных данных показывают, что заполнители из горелых пород можно применять для производства бетонных и железобетонных изделий различного назначения. Применение заполнителей из горелых пород позволяет снизить расход цемента (без ухудшения свойств и качества бетона) в бетонах классов В7,5–В10 на 30 %, классов В15–В30 – на 10 %. Это достигается благодаря таким особенностям заполнителей из горелых пород, как отсутствие глинистых и илистых примесей, высокая прочность зерен щебня, шероховатая поверхность частиц, обеспечивающая хорошее сцепление щебня с цементным камнем, оптимальный зерновой состав. Положительное влияние на сцепление оказывает наличие пористости у заполнителей из горелых пород. Благодаря отсосу воды пористым заполнителем в бетонной смеси цементное тесто проникает в открытые поры, т. е. имеет место как бы срастание цементного камня с заполнителем. Кроме того, водопоглощение устраняет опасность образования у поверхности заполнителей водных пленок, мешающих сцеплению. Немаловажное значение имеет химический и минералогический состав заполнителя и его способность активно участвовать в формировании прочности конгломерата. У бетонов на заполнителях из горелых пород прочность на растяжение при изгибе на 15–35 %, а на растяжение при раскалывании на 12–47,5 % больше, чем у бетонов на традиционных заполнителях.

Повышенные показатели прочности бетонов на заполнителях из горелых пород на растяжение при изгибе и расколе, по-видимому, можно связать с наличием лещадных зерен. Лещадные зерна в

определенном смысле выполняют роль короткой арматуры, создавая эффект дисперсного армирования. «Армирующий» эффект наиболее значителен при взаимной «перевязке» зерен заполнителя, когда они пронизывают в бетоне каждое сечение. Опыты показали, что «армирующий» эффект может проявляться в повышении прочности бетона по сравнению с прочностью входящего в его состав раствора примерно на 25–32 %. Этот эффект максимально проявляется при воздействии растягивающих усилий и минимально – при воздействии сжимающих усилий.

Следует отметить, что бетоны на заполнителях из горелых пород отличаются большей жесткостью и водопотребностью, чем бетонные смеси на традиционных заполнителях. Повышенная жесткость и водопотребность бетонной смеси связана с некоторой пористостью и шероховатостью поверхности отдельных частей щебня и песка из горелых пород. Лещадные зерна песка из горелых пород ухудшают удобоукладываемость бетонной смеси, и тем сильнее, чем мельче песок. Устранить этот недостаток можно путем оптимизации гранулометрического состава заполнителей, введением тонкомолотых минеральных добавок (например, золы сухого отбора, молотой горелой породы) или эффективных пластифицирующих добавок (ЛСТ, суперпластификатора С–3 и др.).

#### **4.7. Ячеистый бетон**

Сложившийся в среднем по России удельный расход энергоресурсов при эксплуатации промышленных и гражданских зданий, и особенно жилья, в три–четыре раза выше, чем в странах Западной Европы. В связи с этим требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций зданий увеличено против ранее действовавших нормативов в 2–3,2 раза. Принятые новые нормативы теплозащиты жилых зданий должны обеспечить снижение на 40 % удельного энергопотребления при малоэтажном строительстве и при реконструкции зданий. Для выполнения этих требований толщину наружных стен, например, из керамзитобетона следует увеличить с ныне практикуемых 30–35 до 50–70 см, а из рядового кирпича – с 51–64 до 100–120 см и более, что является не только нерациональным, но практически невыполнимым требованием.

В сложившейся ситуации наиболее оптимальный путь решения проблемы в условиях строительства на огромной территории с семью климатическими поясами — это увеличение объема выпуска теплоизоляционных материалов, и прежде всего ячеистого бетона, расширение номенклатуры, повышение качества, создание современных технологий производства.

Ячеистый бетон занимает особое место среди материалов строительного назначения. Из строительных материалов, применяемых для возведения стен, ячеистый бетон характеризуется самой низкой теплопроводностью, уступая лишь древесине. Ячеистый бетон автоклавного и неавтоклавного твердения отвечает всем требованиям к теплоизоляционным материалам XXI века.

Основным преимуществом стеновых блоков из ячеистого бетона перед кирпичом является то, что толщина наружной стены из таких блоков по условиям теплозащиты более чем в 2 раза может быть меньше кирпичной, а  $1 \text{ м}^3$  стены из ячеистого бетона — в 5–6 раз легче, чем из плотного керамического или силикатного кирпича. Однослойная конструкция из ячеистого бетона средней плотностью 700 и 800  $\text{кг}/\text{м}^3$  должна иметь толщину соответственно 39 и 43 см, а двухслойная стена из 1/2 кирпича (или тяжелого бетона) и теплоизоляционного бетона плотностью 350  $\text{кг}/\text{м}^3$  — 37–38 см [68].

Общий объем производства изделий из ячеистого бетона за последние годы возрос в десятки раз. Такой бурный рост обусловлен, прежде всего, более жесткими требованиями к строительным конструкциям по сопротивлению теплопередаче. Кроме того — возможностью применения ячеистого бетона как в крупнопанельном, так и в мелкоштучном строительстве, низкой себестоимостью изготовления, малой энергоемкостью и материалоемкостью, высокими теплоизоляционными свойствами. При их использовании упрощается технология строительного производства, сокращаются материальные затраты. Так, себестоимость стены из ячеистого бетона на 20–30 % меньше, чем керамзитобетонной плотностью 900–1100  $\text{кг}/\text{м}^3$ , и на 35–45 % — по сравнению со стеной из кирпича [69].

Одним из путей повышения термического сопротивления стен из ячеистого бетона является снижение плотности бетона с 700 до 500  $\text{кг}/\text{м}^3$ , а в дальнейшем до 300  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Снижение плотности на

100 кг/м<sup>3</sup> при сохранении толщины панели позволяет увеличить термическое сопротивление стены в 1,25 раза, а при увеличении толщины панели с 25 до 30 см – в 1,5 раза.

Применение ячеистых бетонов с конструктивной точки зрения не вызывает сомнений. Однако при транспортно-монтажных операциях возрастает опасность повреждения конструкций, например, увеличения количества сколов ребер панелей и др. Это является сдерживающим фактором в расширении применения ячеистых бетонов в строительстве. Поэтому в настоящее время одной из задач является совершенствование технологии ячеистого бетона с целью получения изделий достаточной прочности при заданной плотности и теплопроводности. Для удовлетворения возрастающих потребностей современного строительства в качественных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалах необходимо:

- расширить сырьевую базу для производства ячеистых бетонов и, в первую очередь, за счет широкого использования вторичных продуктов топливной и энергетической промышленности (зол, шлаков, шахтных пород), жидких и твердых отходов химической промышленности и других отраслей народного хозяйства;

- разработать энергосберегающие технологии по производству изделий и конструкций из неавтоклавных ячеистых бетонов, показатели физико-механических свойств которых приближаются к аналогичным показателям свойств автоклавных ячеистых бетонов;

- разработать несложное надежное мало энергоемкое и мало металлоемкое оборудование для заводов небольшой мощности.

Имеется довольно обширный опыт по использованию зол ТЭС и других отходов промышленности в производстве ячеистого бетона. Так, в Белоруссии разработана новая вибровacuумная технология поризованных легких бетонов, позволяющая изготавливать эффективные и долговечные стеновые изделия из неавтоклавного пористого материала на основе цемента, немолотого природного песка, золы-уноса ТЭЦ и ГРЭС и мелких отсеков камнедробления, керамзитовой, цементной пыли и других отходов производства.

Несмотря на многие преимущества изделий из газозолобетона в настоящее время с использованием зол и золошлаковых смесей производится не более 25–30 % изделий из общего объема выпуска ячеистого бетона. Основным фактором, препятствующим широкому

применению зол и золошлаковых смесей, является неоднородность их свойств и состава.

Находят применение ударная и литьевая технологии изготовления ячеистых бетонов. Как было установлено, ударная технология эффективна и при использовании некондиционных сырьевых материалов и вторичных продуктов. К сожалению, в Ростовской области этот опыт широкого внедрения пока не получил.

В отличие от зол применение горелых пород в ячеистых бетонах мало известно. Сказывается как трудоемкость в подготовке горелых пород к использованию, так и отсутствие нормативной базы на материалы из техногенного сырья. Однако значительное содержание в горелых породах кремнезема, глинозема и высокая гидравлическая активность обуславливает возможность применения их при производстве ячеистых бетонов в качестве глинисто-кремнеземистого компонента. Эти отходы имеют некоторые особенности. В отличие от кварцевого песка они более реакционноспособны, в своем составе кроме кремнезема содержат оксиды других элементов и видоизмененные остатки несгоревшего топлива. Вследствие пористости частиц они имеют меньшую насыпную плотность. Эти свойства позволяют использовать золы и отсеvy горелых пород при безавтоклавном способе производства ячеистых бетонов более эффективно, чем песок.

Изделия из ячеистого бетона на основе техногенного сырья предназначены для кладки наружных, внутренних стен и перегородок зданий с относительной влажностью воздуха помещений не более 75 % и при неагрессивной среде.

### ***Материалы для ячеистого бетона***

*Керамзитовый песок и керамзитовая пыль (отсев керамзита)* – сыпучий материал как продукт термической обработки природного силикатного сырья, по химическому составу представлен в основном кремнеземом и глиноземом. Насыпная плотность – 500–900 кг/м<sup>3</sup>. Содержание в песке слабообожженных частиц должно быть не более 3 %, водорастворимых сернистых и серноокислых соединений в пересчете на SO<sub>3</sub> – не более 1,5 % по массе.

*Отсевы дробления щебня (Обуховский карьер)* представлен дробленой фракцией песчаника различного гранулометрического

состава и глинистой составляющей. Глинистая составляющая – порода вскрыши; суглинки, алевролиты, аргиллиты и смешанные породы рыхлого и цементированного сложения. В отсевах после первичного и вторичного дробления присутствуют все типы горных пород.

Породообразующими минералами песчаников являются кварц, полевые шпаты, слюды, обломки горных пород. Второстепенные минералы песчаных пород представлены магнетитом, ильменитом, цирконом и др. Цемент в песчаниках глинисто-карбонатный, железистый.

По химическому составу отсевы щебня характеризуются высоким содержанием кремнезема, в значительно меньшем количестве присутствует глинозем и оксиды железа. По содержанию свободного кремнезема (23–25 %) отсевы дробления относятся к нереакционноспособным заполнителям. При использовании отсевов для приготовления ячеистого бетона их необходимо предварительно измельчать.

При водоумягчении и водоочистке сточных вод теплоэлектростанций в результате физико-механических процессов, связанных с обменом ионов, диспергированием и адсорбцией, из воды выпадает рыхлый осадок, неустойчивый по структуре. После уплотнения и обезвоживания осадка образуется концентрированная суспензия – *шлам химводоочистки*.

В шламоотстойниках РТЭЦ–2 накопилось значительное количество карбонатного шлама химводоочистки. Увеличивающиеся объемы этих отходов требуют для размещения дополнительных площадей, и их накопление приводит к осложнению состояния окружающей среды в районе расположения РТЭЦ–2.

Твердая фаза шламов химводоочистки представляет собой тонкодисперсный порошок с удельной поверхностью 7500–7800 г/см<sup>2</sup>. Вещественный состав шлама представлен в основном карбонатом кальция, а также примесями соединений магния, кремния, железа и илистыми частицами. Основные составляющие шлама (%): CaCO<sub>3</sub> – 75–78; SiO<sub>2</sub> – 5,5–5,8; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2,4–2,9; MgO – 4,3–4,7. Шламы карбонатного состава не содержат свободный CaO, и вяжущие свойства у них практически отсутствуют. Они могут проявлять клеящую способность только при условии химической активации. Такие показатели как химическая инертность и высокая дис-



Таблица 18

## Химический состав кремнеземистых заполнителей, вес % по массе

Кремнеземистый компонент	Потери при прокаливании	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	Глинисто-железистый модуль
Зола-унос	8,86	52,74	21,49	7,28	2,97	2,05	0,93	0,52	2,44	0,54
Золшлаковая смесь из отвалов	7,89	51,52	23,45	6,63	5,10	1,97	0,04	0,54	2,61	0,59
Отсев (№ 1) Обуховского карьера	1,53	77,25	10,73	3,97	0,89	0,79	0,003	0,39	3,80	—
Отсев (№ 2) Обуховского карьера	1,56	79,44	9,91	4,26	0,72	0,65	0,003	0,35	3,25	—
Горелые породы отвала шахты Антрацит	6,80	54,78	21,80	6,30	1,06	1,15	1,02	2,35	4,77	0,50
Горелые породы отвала шахты Бургутинская	11,40	52,47	20,53	3,98	0,92	1,24	1,17	3,67	4,31	0,47

Кремнеземистый компонент	Потери при прокаливании	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	Глинисто-железистый модуль
Горелые породы отвала шахты Алмазная	4,65	51,54	20,26	6,87	5,14	1,52	1,06	3,42	4,16	0,52
Горелые породы отвала шахты Донецкая	5,83	48,81	24,48	6,20	1,93	2,34	1,17	3,83	4,01	0,63
Горелые породы отвала шахты Центральная	11,05	52,29	18,37	4,18	2,35	2,17	1,13	2,97	4,64	0,43
Горелые породы отвала шахты № 26	7,55	55,10	20,72	6,58	0,62	1,07	0,96	3,18	2,64	0,51

перность шламового порошка определяют одно из направлений использования шламов в качестве кремнеземистого компонента в ячеистых бетонах. Преимущество применения шлама по сравнению с песком состоит в том, что его можно применять без предварительного помола.

В табл. 18 приведены данные химического анализа некоторых исследуемых кремнеземистых компонентов (золшлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС, пород шахтных отвалов угольно-промышленных районов Ростовской области, шламов химводоочистки Ростовской ТЭЦ, отсевов дробления щебня).

### ***Технология ячеистого бетона***

Ячеистые бетоны получают из пластической массы, пористая структура которой образуется в результате вспенивания массы пенообразователем, смешивания ее с заранее изготовленной пеной и газообразования (вспучивания). Эта масса затем схватывается и отвердевает.

Ячеистую бетонную смесь на основе техногенных отходов можно приготовить по литьевой технологии, когда ячеистобетонные смеси обладают пониженной динамической вязкостью; вибрационной, а также ударной технологии, применяемые при повышенной вязкости смеси, перемешивании и вспучивании ее в форме.

*Технология приготовления пенобетонной смеси* и изделий из нее включает следующие основные операции: приготовление пенообразующего состава; подготовка исходных сырьевых компонентов; взбивание пены (пенообразование); приготовление цементного теста или раствора; приготовление пенобетонной массы смешиванием пены с цементным раствором, заполнение форм (формование изделий), выдерживание изделий до тепловлажностной обработки, твердение ячеистобетонной смеси – тепловлажностная обработка в автоклавах или пропарочных камерах, или набор прочности в условиях естественного твердения, распалубка, складирование готовых изделий.

*Технология приготовления неавтоклавной газобетонной смеси* и изделий из нее включает следующие основные операции: подготовка сырьевых компонентов, дозировка компонентов смеси, приготовление пластичной массы; заливка смеси в формы и тепло-

влажностная обработка, которую ведут в пропарочных камерах, или твердение в нормальных условиях при температуре  $- 20 \pm 5$  °С и влажности  $- 95 \pm 5$  % . Режим тепловлажностной обработки: пропаривание при температуре  $- 85$  °С в течение 14–16 часов, подъем и спуск температуры продолжается по три часа.

Технология ячеистого бетона на заполнителях из отходов добычи и сжигания углей, обеспечивающая получение из него строительного материала с высокими физико-механическими свойствами, определяется следующими основными параметрами:

- оптимальным соотношением между вяжущим и кремнеземистым компонентом;
- оптимальным водовяжущим отношением;
- оптимальной дисперсностью исходных твердых материалов;
- оптимальными условиями твердения.

Способ производства цемента выбирают в зависимости от технологических факторов, а также от вида и сорта топлива, предназначенного для обжига клинкера.

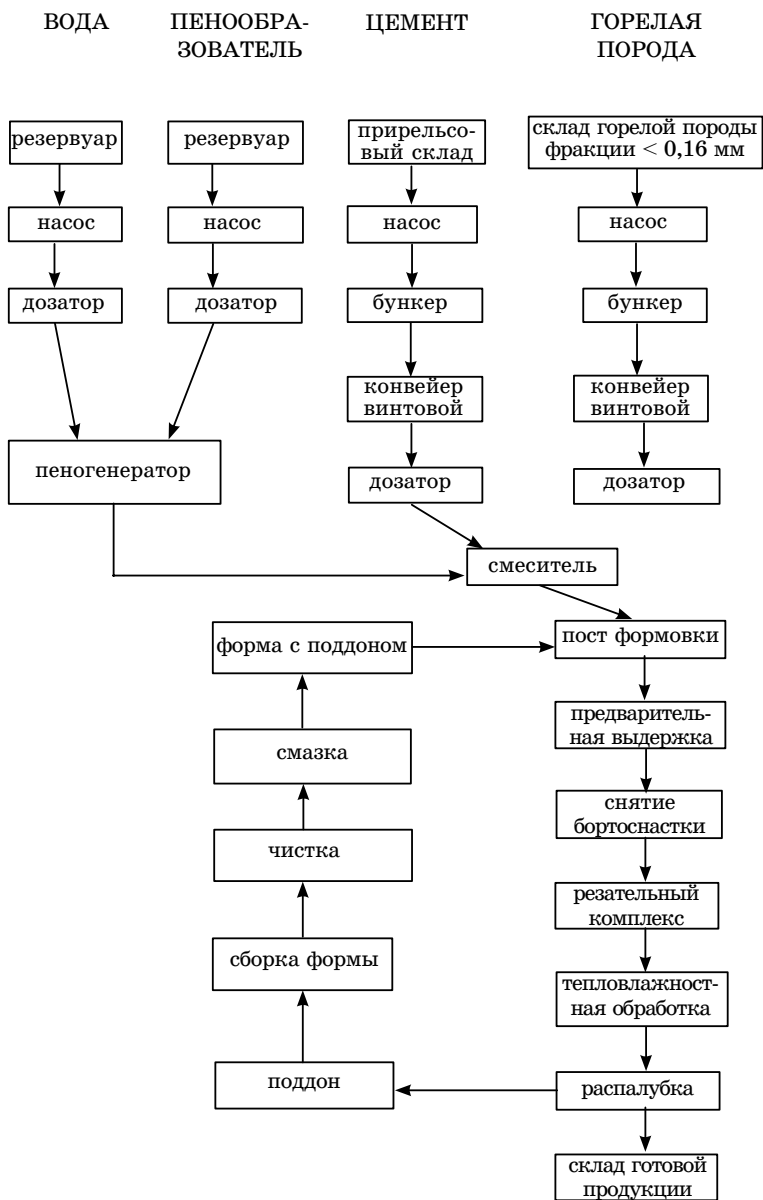
Технологическая схема производства изделий из пенобетона приведена на рис. 10.

### ***Подбор состава ячеистого бетона***

Состав бетона назначают, исходя из заданной средней плотности ячеистого бетона, вида применяемых вяжущих материалов и кремнеземистых компонентов, отношения массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего. При этом для данной средней плотности бетона следует получить максимальную прочность при возможно меньшем расходе вяжущего и порообразователей.

Исходными данными для подбора являются заданные средняя плотность образцов в сухом состоянии и кубиковая прочность их при сжатии, а также вид порообразователя и сырьевых материалов.

Для получения ячеистого бетона с заданными показателями свойств опытным путем устанавливают водотвердое отношение (В/Т), расход порообразователя и количественное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом ( $P_k : P_{\text{Вяз}} = C$ ).



**Рис. 10.** Технологическая схема производства изделий из ячеистого бетона

Для пробных замесов ячеистого бетона соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом принимают по табл. 19.

Таблица 19

**Исходные данные для подбора состава ячеистого бетона**

Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Марка цемента	Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Соотношение цемента и кремнеземистого заполнителя при помоле			Исходное водотвердое отношение растворов с разной тонкостью помола кремнеземистого компонента		
			тонкий	средний	грубый	тонкий	средний	грубый
600	М300	30	1 : 1,2	1 : 1,1	1 : 1,0	0,44	0,40	0,36
		40	1 : 1,0	1 : 0,9	1 : 0,8	0,45	0,41	0,37
600	М400	30	1 : 1,3	1 : 1,2	1 : 1,1	0,45	0,41	0,37
		40	1 : 1,1	1 : 1,0	1 : 0,9	0,46	0,42	0,38
600	М500	30	1 : 1,4	1 : 1,3	1 : 1,2	0,46	0,42	0,38
		40	1 : 1,2	1 : 1,1	1 : 1,0	0,47	0,43	0,39
700	М300	30	1 : 1,5	1 : 1,4	1 : 1,3	0,42	0,38	0,34
		40	1 : 1,3	1 : 1,2	1 : 1,1	0,43	0,39	0,35
700	М400	30	1 : 1,6	1 : 1,5	1 : 1,4	0,43	0,39	0,35
		40	1 : 1,4	1 : 1,3	1 : 1,2	0,44	0,40	0,36
700	М500	30	1 : 1,7	1 : 1,6	1 : 1,5	0,44	0,40	0,36
		40	1 : 1,5	1 : 1,4	1 : 1,3	0,45	0,41	0,37
800	М300	30	1 : 1,8	1 : 1,7	1 : 1,6	0,40	0,36	0,32
		40	1 : 1,6	1 : 1,5	1 : 1,4	0,41	0,37	0,33
800	М400	30	1 : 1,9	1 : 1,8	1 : 1,7	0,41	0,37	0,33
		40	1 : 1,7	1 : 1,6	1 : 1,5	0,42	0,38	0,34
800	М500	30	1 : 2,0	1 : 1,9	1 : 1,8	0,42	0,38	0,34
		40	1 : 1,8	1 : 1,7	1 : 1,6	0,43	0,39	0,35
900	М300	30	1 : 2,1	1 : 2,0	1 : 1,9	0,38	0,34	0,30
		40	1 : 1,9	1 : 1,8	1 : 1,7	0,39	0,35	0,31
900	М400	30	1 : 2,2	1 : 2,1	1 : 2,0	0,39	0,35	0,31
		40	1 : 2,0	1 : 1,9	1 : 1,8	0,40	0,36	0,32
900	М500	30	1 : 2,3	1 : 2,2	1 : 2,1	0,40	0,36	0,32
		40	1 : 2,1	1 : 2,0	1 : 1,9	0,41	0,37	0,33

Работа по подбору состава ячеистого бетона состоит из следующих этапов: 1) определение исходного водотвердого отношения (В/Т); 2) расчет расхода материалов на один замес массы исходного состава; 3) приготовление пробных замесов и формование образцов; 4) тепловлажностная обработка образцов по заданному режиму; 5) испытание образцов и расчет окончательного состава ячеистого бетона.

За исходные В/Т принимают такие величины, которые соответствуют значениям текучести раствора, приведенным в табл. 20.

Таблица 20

**Текучесть ячеисто-бетонной смеси**

Средняя плотность бетона в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Диаметр расплыва смеси, см	
	пенобетон на цементе, извести, смешанном вяжущем	газобетон на портландцементе
400	34	34
500	30	30
600	26	26
700	24	22
900	20	15

Для приготовления раствора требуется 0,4 кг сухой смеси (исходного состава) и 0,16–0,28 л воды. Воду затворения для газобетона предварительно нагревают до температуры 70–80 °С. Сухую смесь помещают в чашку и доливают к ней воду отдельными порциями до получения хорошо перемешанной сметанообразной массы. В/Т как отношение массы воды затворения к массе сухой смеси принимают за исходное, если полученная текучесть раствора отклоняется от данных табл. 20 не более чем на ± 1 см.

Расход минеральных составляющих ячеистобетонной смеси и воды на один замес определяют по следующим формулам:

вяжущего

$$P_{вяж} = \rho_{сух} / K_c (1 + C) \cdot V;$$

извести

$$P_u = P_{вяж} \cdot n;$$

цемента

$$P_c = P_{вяж} - P_u;$$

кремнеземистого компонента

$$P_k = P_{вяж} \cdot C;$$

гипса молотого двуводного

$$P_z = P_u \cdot 0,03;$$

воды

$$V = (P_{вяж} + P_k) V/T,$$

где  $\rho_{\text{сух}}$  – заданная средняя плотность ячеистого бетона в сухом состоянии, кг/л;

$K_c$  – коэффициент увеличения массы сухой смеси в результате твердения вяжущего;

$V$  – объем замеса, л, равный объему форм, заполняемых из одного замеса, умноженному на коэффициент избытка смеси, принимаемый равным 1,05 для пенобетона и 1,1–1,15 для газобетона (при изготовлении лабораторных образцов коэффициент избытка смеси в обоих случаях принимают не менее 1,5);

$C$  – число частей кремнеземистого компонента, приходящихся на 1 часть вяжущего;  $n$  – доля извести в вяжущем;

$W/T$  – водотвердое отношение.

При расчете расхода порообразователя (пенообразователя или газообразователя) предварительно находят величину пористости, которая должна создаваться порообразователем для получения ячеистого бетона заданной средней плотности

$$\Pi_r = (1 - \rho_{\text{сух}}) / K_c (W+B/T),$$

где  $W$  – удельный объем сухой смеси, л/кг.

Количество газообразователя или пены теоретически должно быть таким, чтобы выделенный объем газа или введенный объем пены соответствовал пористости, найденной по формуле.

В действительности порообразователь не полностью используется на создание пористости в растворе, поэтому расход его ( $P_n$ ) принимают больше, чем теоретически необходимый:

$$P_n = \Pi_r / K \cdot \alpha \cdot V,$$

где  $K$  – выход пор (количество газа или объем пены, получаемый из 1 кг порообразователя), л/кг;  $\alpha$  – коэффициент использования порообразователя.

Исходные величины  $K_c$ ,  $W$ ,  $K$  и  $\alpha$  принимают следующие:  $K_c = 1,1$ ;  $\alpha = 0,85$ ;  $K = 18–20$  л/кг при использовании пенообразователя и  $K = 1390$  л/кг при использовании алюминиевой пудры;  $W$  – по табл. 21 в зависимости от вида кремнеземистого компонента, вида вяжущего вещества и их соотношения.



Для формования пробных образцов готовят 5 замесов из исходного состава, отличающихся друг от друга В/Т на  $\pm 0,02$  и  $+0,04$ . Из каждого замеса формируют три образца. В этих и последующих замесах определяют плотность раствора ( $\rho_p$ , кг/л), контролируют его температуру (при изготовлении газобетона), а также определяют среднюю плотность ячеистой смеси ( $\rho_{я}$ , кг/л).

Таблица 21

**Значения удельного объема сухой смеси**

Вид кремнеземистого компонента	Вид вяжущего вещества							
	портланд-цемент		смешанное вяжущее (Ц : И = 1 : 1)		известь		известково-шлаковый цемент	
	С	W	С	W	С	W	С	W
Песок ( $\rho = 2,65$ )	1	0,33	1,5	0,34	3	0,36	1	0,31
Зола ( $\rho = 2,36$ )	1	0,40	1,5	0,42	3	0,44	1	0,34
Горелая порода ( $\rho = 2,67$ )	1	0,42	1,5	0,46	3	0,46	1	0,44

По полученным значениям  $\rho_p$  и  $\rho_{я}$  в каждом замесе вычисляют фактическую величину пористости, создаваемую порообразователем:

$$П_r = (\rho_p - P_n) / \rho_{я},$$

где  $P_n$  – расход порообразователя на 1 л ячеистого бетона (для газобетона этой величиной можно пренебречь), кг.

Водотвердое отношение состава, не имеющего осадки после его поризации и показавшего наибольшую величину  $П_r$ , принимают за оптимальное.

Для выявления оптимальной температуры раствора (при подборе состава газобетона) готовят еще пять замесов с оптимальным В/Т, изменяя температуру раствора в пределах  $\pm 3$  и  $\pm 7$  °С от исходной (40 °С).

Оптимальное соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим веществом находят изменением числа С, приготавливая пять замесов по данным табл. 19 с оптимальными значениями В/Т и температуры раствора.

Расход порообразователя для этих замесов уточняют путем умножения его расчетного расхода (по исходным величинам  $\alpha$  и  $K$ ) на поправочный коэффициент  $K'$ , вычисляемый из соотношения требуемой пористости ( $\Pi_r$ ) к пористости, фактически получившейся в замесе, по которой принято оптимальное В/Т и оптимальная температура.

Из каждого замеса формируют 3–6 образцов размером  $7 \times 7 \times 7$  или  $10 \times 10 \times 10$  см.

Степень заполнения форм газобетонной смесью устанавливают расчетом по массе или объему. В первом случае определяют массу газобетонной смеси ( $M_{см}$ ), укладываемой в форму:

$$M_{см} = 1,1 (1 - \Pi_r) \rho_p V_{ф},$$

где  $V_{ф}$  = объем формы, л.

Высоту заливки ( $h$ ) пенобетонной смеси определяют в долях или в процентах по высоте формы  $h = 1,1(1 - \Pi_r)$ .

Газобетонную смесь заливают в формы, подогретые до температуры 40–45 °С.

Твердение образцов. После формования образцы выдерживают при температуре 20–25 °С в течение 6–8 ч для пенобетона и 4–6 ч – для газобетона необходимо срезать горбушку, после чего производят их тепловлажностную обработку в лабораторном автоклаве или в пропарочной камере. После выдержки (окончания вспучивания) у газобетона ножом или металлической линейкой удаляют избыток вспученной массы (горбушку).

Общий цикл автоклавной обработки складывается из трех периодов: **I** – подъем температуры и давления; **II** – изотермическая выдержка при максимальных температуре и давлении; **III** – снижение давления до атмосферного.

Режимы автоклавной обработки образцов: 1) для теплоизоляционного ячеистого бетона средней плотности до 500 кг/м<sup>3</sup> – 3 + 8 + 3 ч при максимальном давлении пара 0,9 МПа и 3 + 6 + 3 ч при 1,3 МПа; 2) для теплоизоляционно-конструктивного бетона со средней плотностью более 500 кг/см<sup>3</sup> – 6 + 8 + 6 ч при давлении 9 МПа и 6 + 6 + 6 при давлении 13 МПа.

Режим пропаривания при атмосферном давлении следующий: подъем температуры от 30 до 90 °С – 3 ч; изотермическая выдержка при 90 °С – 14 ч и снижение температуры до 50 °С – 2 ч.

После термообработки образцы вынимают из форм, сушат при температуре 105–110 °С до постоянной массы и испытывают (определяют среднюю плотность и предел прочности при сжатии). Состав шихты, при котором образцы показали наибольшую прочность, но не менее заданной, принимают за оптимальный.

Для расчета окончательного расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> или на один замес для получения ячеистого бетона заданной средней плотности необходимо уточнить принятые при расчете исходные величины  $K$ ,  $W$ ,  $K_c$  и  $\alpha$ .

Выход пор ( $K$ ) для пенообразователя находят из отношения объема пены к ее массе, а выход пор газообразователя не уточняют.

Удельный объем сухой смеси ( $W$ ) находят по средней плотности раствора и водотвердому отношению:

$$W = (1 + B/T) / \rho_p - B/T.$$

Коэффициент увеличения массы сухой смеси за счет связанной воды ( $K_c$ ) уточняют по фактическим значениям  $\rho_{\text{сух}}$  и  $\rho_{\text{я}}$ :

$$K_c = \rho_{\text{сух}} / (\rho_{\text{я}} - m_n) \cdot (1 + B/T),$$

где  $m_n$  – расход порообразователя в кг на 1 л ячеистого бетона (для газобетона этой величиной пренебрегают).

Коэффициент использования порообразователя ( $\alpha$ ) находят по фактическим величинам  $\Pi_r$ ,  $K$  и  $V$  путем расчета:

$$\alpha = (\Pi_r / K P_p) \cdot V.$$

При разработке технологии производства ячеистого бетона проводились подборы его составов на кремнеземистых материалах из местного техногенного сырья и испытания физико-механических свойств полученных ячеистых бетонов в соответствии с требованиями **ГОСТ 25485** и **ТУ 5745-002-05017471-2000**.

Подбор составов бетона производился по **ГОСТ 27006-36** в соответствии с принятыми методиками.

При изготовлении ячеистобетонной смеси применялись следующие материалы:

- портландцемент марок 400 и 500 по **ГОСТ 10178-85**;
- песок кварцевый по **ГОСТ 8736-93**;
- зола уноса Нч ГРЭС по **ГОСТ 25818-91**;
- материал из отсевов дробления горелых пород шахтных отвалов по **ТУ 5711-002-02070105-2002**;

- материал из отсевов дробления керамзита по ГОСТ 9757-90;
- материал из отсевов дробления щебня по ГОСТ 8267-93;
- шлам химводоочистки;
- порообразователи:
  - алюминиевая пудра марок ПАП-1, ПАП-2;
  - пенообразователи ПО-1Д6; ПО-ЗНП; ПО-6НП,
- вода по ГОСТ 23732-79.

### **Подготовка сырьевых материалов**

Подготовка сырьевых компонентов заключается в основном в помоле песка, золы, горелых пород и других содержащих двуокись кремния компонентов без добавления к ним извести, гипса и ПАВ (поверхностно-активных веществ) или с их добавлением.

При помолу любого вещества энергия, затрачиваемая на его измельчение, расходуется на разрыв химических связей в кристалле и создание новых поверхностей, на изменение структуры твердого тела – его аморфизацию и образование в кристаллах дефектов. Энергия решетки ионных кристаллов, к которым относится кварц  $\text{SiO}_2$ , равна 1300 кДж/моль. Ее определяют как работу, которую необходимо затратить, чтобы удалить частицы кристаллических решеток одну от другой на расстояние, при котором сила взаимодействия между ними становится незначительной. По данным исследователей сила сцепления примерно равна  $10^3$ – $10^4$  МПа. Двуокись кремния имеет полимерную структуру типа  $(\text{SiO}_2)_n$  и связи Si–O–Si, на 50 % ковалентные и на 50 % ионные.

Некоторые составы экспериментальных испытываемых формовочных смесей приведены в табл. 22.

*Таблица 22*

#### **Экспериментальные составы ячеисто-бетонных смесей**

№ состава	Компоненты, вес. %					
	цемент	зола-унос (шлам химводо- очистки)	молотая горелая порода	зола- шлаковая смесь	отсев дроб- ления горелых пород	вода
1	25,5	6,5	–	65,0	–	3,0
2	30,0	–	–	68,0	–	2,0

Окончание табл. 22

№ состава	Компоненты, вес. %					
	цемент	зола-унос (шлак химводо- очистки)	молотая горелая порода	золо- шлаковая смесь	отсев дроб- ления горелых пород	вода
3	21,5	8,5	—	68,0	—	2,0
4	16,0	—	11,5	—	59,5	13,0
5	15,0	—	13,5	—	59,0	12,5
6	15,0	—	14,0	—	57,5	14,5

Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим приведены в табл. 23.

Таблица 23

**Соотношения между кремнеземистым компонентом и вяжущим**

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым компо- нентом и вяжущим (С), вес. части	Водотвердое отношение, (В/Т), вес. части
M400	0,45–0,75	0,55–0,62
M500	0,50–0,90	0,48–0,55
M600	0,60–1,00	0,42–0,48
M700	0,75–1,25	0,39–0,46
M800	0,80–1,40	0,35–0,43
M900	0,85–1,50	0,32–0,40
M1000	1,00–2,00	0,30–0,37
M1100	1,20–2,20	0,28–0,35
M1200	1,40–2,50	0,26–0,33

Приведенные соотношения компонентов позволяют получать ячеисто-бетонные изделия с маркой по плотности от 400 до 1200 кг/м<sup>3</sup>. Для изготовления изделий с маркой по плотности ниже 500 кг/м<sup>3</sup> необходимо использовать только тонкомолотые заполнители с удельной поверхностью не менее 3500 см<sup>2</sup>/г (т. е. не менее тонкости помола цемента).

Показатели физико-технических свойств экспериментального ячеистого бетона приведены в табл. 24–30.

Свойства экспериментального ячеистого бетона

Вид бетона	Марка бетона по средней плотности	ГАЗОБЕТОН				ПЕНОБЕТОН			
		R <sub>сжк</sub> , МПа	W, %	Усадка, мм/м	F, марка	R <sub>сжк</sub> , МПа	W, %	Усадка, мм/м	F, марка
Теплоизоляционный	M400	0,85	44,0	2,07	—	0,97	43,7	1,47	—
	M500	1,33	42,3	2,11	—	1,40	39,7	1,65	—
Конструкционно-теплоизоляционный	M600	1,36	40,5	2,75	15	1,49	39,5	1,98	15
	M700	3,74	39,9	2,25	25	3,45	35,2	1,28	25
	M800	4,38	38,3	2,03	25	4,96	29,9	1,30	25
	M900	6,78	37,2	1,96	25	6,63	27,3	1,13	25
Конструкционный	M1000	9,80	33,7	1,92	35	9,65	23,72	1,07	35
	M1100	12,9	31,9	1,87	35	13,7	0,9	0,92	35

**Примечание:** R<sub>сжк</sub> – прочность при сжатии;

W – водопоглощение бетона;

F – марка бетона по морозостойкости.

Таблица 25

**Физико-механические свойства пенозолобетона**

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым* компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, $(\lambda)$ , Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, $(\mu)$ , мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
<b>ПЕНОБЕТОН</b>							
M400	0,55	0,57	–	0,084	0,226	10,0	16,5
M500	0,65	0,50	–	0,091	0,203	10,6	16,9
M600	0,75	0,44	15	0,108	0,187	10,9	17,1
M700	0,95	0,41	15	0,132	0,165	11,2	17,4
M800	1,10	0,37	15	0,164	0,147	11,9	18,4
M900	1,25	0,34	15	0,188	0,130	12,4	19,6
M1000	1,65	0,32	35	0,207	0,121	13,0	20,1
M1100	1,80	0,30	35	0,229	0,113	13,6	20,8
M1200	1,95	0,28	35	0,266	0,108	13,9	21,2

\* Кремнеземистый компонент – зола уноса Новочеркасской ГРЭС.

Таблица 26

**Физико-механические свойства газозобетона**

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым* компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, $(\lambda)$ , Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, $(\mu)$ , мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
<b>ГАЗОБЕТОН</b>							
M400	0,60	0,57	–	0,085	0,212	9,5	15,8
M500	0,70	0,50	–	0,090	0,198	10,2	16,4

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым* компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, $\lambda$ , Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, $\mu$ , мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
M600	0,80	0,44	15	0,108	0,176	10,7	16,9
M700	1,00	0,41	15	0,137	0,160	11,2	17,2
M800	1,15	0,37	15	0,169	0,146	12,1	18,6
M900	1,30	0,34	15	0,184	0,125	12,9	19,5
M1000	1,70	0,32	35	0,203	0,119	13,4	20,2
M1100	1,85	0,30	35	0,236	0,112	13,9	20,7
M1200	2,00	0,28	35	0,256	0,101	14,4	21,4

\* Кремнеземистый компонент – зола уноса Новочеркасской ГРЭС.

Таблица 27

**Физико-механические свойства пенобетона  
на отсевах дробления горелых пород**

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым* компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, $\lambda$ , Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, $\mu$ , мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
<b>ПЕНОБЕТОН</b>							
M400	0,60	0,59	–	0,077	0,213	9,9	16,6
M500	0,70	0,52	–	0,096	0,195	10,3	17,0
M600	0,80	0,46	15	0,117	0,174	10,5	17,1
M700	1,00	0,41	15	0,138	0,152	11,0	17,2
M800	1,15	0,37	15	0,165	0,138	12,4	20,8
M900	1,30	0,34	15	0,187	0,124	12,9	21,3



Окончание табл. 27

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым* компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, $(\lambda)$ , Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, $(\mu)$ , мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
M1000	1,70	0,34	35	0,216	0,113	13,7	21,5
M1100	1,85	0,32	35	0,237	0,105	14,6	21,8
M1200	2,00	0,28	35	0,264	0,093	14,8	21,9

\* Кремнеземистый компонент – отсеvy дробления горелых пород.

Таблица 28

**Физико-механические свойства газобетона  
на отсевах дробления горелых пород**

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым* компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, $(\lambda)$ , Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, $(\mu)$ , мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
<b>ГАЗОБЕТОН</b>							
M400	0,55	0,55	–	0,087	0,207	9,3	16,0
M500	0,65	0,48	–	0,093	0,190	10,7	16,8
M600	0,75	0,42	15	0,115	0,172	10,8	17,0
M700	0,95	0,39	15	0,146	0,151	11,0	17,4
M800	1,10	0,35	15	0,173	0,147	12,6	20,3
M900	1,25	0,32	15	0,198	0,129	13,0	21,0
M1000	1,65	0,30	35	0,227	0,116	13,9	21,4
M1100	1,80	0,28	35	0,254	0,111	14,2	21,6
M1200	1,95	0,28	35	0,273	0,105	14,6	21,8

\* Кремнеземистый компонент – отсеvy дробления горелых пород.

Таблица 29

**Физико-механические свойства пенобетона,  
содержащего шламы химводоочистки**

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, $\lambda$ , Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, $\mu$ , мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
<b>ПЕНОБЕТОН</b>							
M400	0,65	0,60	—	0,094	0,242	6,4	9,3
M500	0,75	0,53	—	0,106	0,227	6,8	9,9
M600	0,85	0,45	15	0,128	0,195	7,0	10,1
M700	1,05	0,44	15	0,165	0,173	7,2	10,6
M800	1,20	0,40	15	0,192	0,158	7,4	10,9
M900	1,35	0,37	15	0,210	0,141	7,9	11,3
M1000	1,75	0,35	35	0,264	0,126	8,3	11,8
M1100	1,90	0,33	35	0,305	0,119	8,8	12,4
M1200	2,10	0,31	35	0,356	0,112	9,0	12,7

\* Кремнеземистый компонент — шлам химводоочистки.

Таблица 30

**Физико-механические свойства газобетона,  
содержащего шлам химводоочистки**

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, $\lambda$ , Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, $\mu$ , мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
<b>ГАЗОБЕТОН</b>							
M400	0,70	0,60	—	0,095	0,239	6,3	9,4

Марка бетона по средней плотности	Соотношение между кремнеземистым* компонентом и вяжущим (С)	Водотвердое отношение (В/Т)	Марка бетона по морозостойкости (F)	Коэффициент теплопроводности бетона, (λ), Вт/(м · °С)	Паропроницаемость бетона, (μ), мг/(м · ч · Па)	Сорбционная влажность бетона при относительной влажности воздуха, %	
						75	97
M500	0,80	0,53	—	0,112	0,216	6,9	9,6
M600	0,90	0,45	15	0,131	0,184	7,2	9,9
M700	1,10	0,44	15	0,153	0,166	7,5	10,4
M800	1,25	0,40	15	0,189	0,151	7,9	10,7
M900	1,40	0,37	15	0,204	0,137	8,2	11,0
M1000	1,80	0,35	35	0,265	0,126	8,5	11,5
M1100	2,00	0,33	35	0,286	0,118	9,0	12,0
M1200	2,20	0,31	35	0,323	0,110	9,4	12,6

\* Кремнеземистый компонент – шлам химводоочистки.

Выполненными научными исследованиями и опытно-промышленными испытаниями доказана возможность получения ячеистых бетонов на кремнеземистых заполнителях из местного сырья: отсевов дробления горелых шахтных пород, золошлаковых отходов, мелкого речного песка, керамзитовой пыли, шламов ТЭЦ. Поскольку шлам ТЭЦ представлен в основном карбонатными породами, то его применение в технологии ячеистых бетонов возможно только в качестве добавки. Содержание шлама в составе ячеистобетонной смеси может составлять от 20 до 30 % по массе.

При испытании различных кремнеземистых компонентов в составе ячеистого бетона было установлено, что наилучшими показателями свойств обладают ячеистые бетоны на заполнителях из горелых пород и золошлаковых отходов. Установлено, что при испытании ячеистых бетонов, содержащих золу или горелую породу, на морозостойкость наблюдается повышение прочности при увеличении числа циклов испытаний даже в случае высокого содержания частиц несгоревшего топлива. Это объясняется не только тем, что вода, заполняющая микропоры материала не

переходит в лед, но и продолжающимся в течение длительного времени после пропаривания бетона процессом взаимодействия продуктов гидратации вяжущего с активными компонентами золы и горелой породы. Кроме того, в ячеистобетонной смеси в присутствии частиц несгоревшего топлива происходит ускорение и углубление реакции между алюминиевой пудрой и гидроксидом кальция, интенсифицируются другие физико-химические процессы: сокращается время вспучивания, увеличивается конечное приращение объема смеси, ускоряется нарастание пластической прочности. Все эти факторы положительно сказываются на технологии ячеистых бетонов.

#### **4.8. Асфальтобетон**

Получить на основе техногенного сырья асфальтобетонные композиты с высокими показателями физико-механических свойств возможно лишь при создании оптимальной структуры и обеспечении прочного сцепления между органическим вяжущим и минеральными компонентами. Характер связей в органно-минеральном композите определяется физическими, физико-химическими и механическими взаимодействиями на границе раздела фаз.

Увеличить адгезионную способность органно-минеральной композиции можно либо повышением качества органического связующего, либо применением нерудных заполнителей и минерального порошка, способных проявлять пуццоланическую активность. В качестве таких материалов были использованы заполнители и микрозаполнители из горелых пород, получаемые при многостадийном дроблении пород шахтных отвалов, а также золошлаковые отходы тепловых электростанций. Химический состав этих материалов представлен в основном оксидами кремния, алюминия, кальция, железа. Эти заполнители могут иметь меньшую марку по прочности, чем заполнители из изверженных пород, но обладают рядом преимуществ по другим показателям: не содержат илистых и глинистых частиц, глины в комках, имеют улучшенный гранулометрический состав, устойчивы против всех видов распада. Кроме того, из-за микропористости частиц они

легче по насыпному весу. Открытых пор в частицах заполнителя нет, и поэтому их водопоглощение невысокое.

Наличие пористости у горелых пород и золошлаковых отходов, с одной стороны, повышает их сорбционную способность по отношению к битуму, с другой стороны, улучшает их теплоизоляционные свойства. Несущие слои основания с такими заполнителями будут сами обладать теплоизоляционными свойствами и смогут предотвращать промерзание пучинистых грунтов, подстилающих дорожную одежду.

Еще одна особенность таких заполнителей – наличие скрытой гидравлической активности. Благодаря присутствию активных компонентов, обладающих свободной энергией и способных проявлять вяжущие свойства, заполнители из горелых пород и золошлаковых отходов могут самостоятельно, без введения вяжущего, образовывать монолит.

Выполненные исследования по использованию нерудных материалов из горелых пород и золошлаковых отходов в составе асфальтобетона показывают хорошее сцепление его с битумом, что противоречит представлениям о взаимодействии битумов с кислыми породами. Адсорбционная активность минерального материала зависит не только от количества диоксида кремния. Немаловажную роль играет природа поверхности минеральных частиц, наличие активных поверхностных центров, отличающихся повышенным энергетическим потенциалом [66]. Появление таких центров на поверхности горелых шахтных пород и золошлаковых отходов обусловлено спецификой их происхождения и связано с наличием ряда структурных дефектов, возникающих при физико-химических процессах, происходящих при высокотемпературном обжиге углесодержащих шахтных пород и углей. Наличие этих активных центров на поверхности частиц положительно сказывается на взаимодействии минеральных компонентов с битумом, а следовательно, и на основных физико-механических свойствах органно-минерального комплекса (асфальтобетона): повышается прочность, морозостойкость, тепло- и водостойчивость, в том числе и длительная.

Выносимость асфальтобетона в значительной степени зависит от адгезии вяжущего к поверхности минеральных заполнителей. Сцепление вяжущего с поверхностью минеральных горелопород-

ных и золошлаковых частиц хорошая, и прочность в зоне контакта является серьезным препятствием на пути формирования микротрещин. Структура органно-минерального асфальтобетона на материалах из горелых пород шахтных отвалов и золошлаковых отходов характеризуется смешанным типом связи, т. е. является коагуляционно-конденсационной. Силы сцепления таких связей отличаются более высокой прочностью, чем коагуляционные, а композиционная система с такими связями имеет улучшенные физико-механические и деформационные свойства.

Для асфальтобетона на материалах из горелых пород и золошлаковых отходов характерны высокие значения по прочности, морозостойкости, водостойкости и низкие значения по водонасыщению. Это можно объяснить, прежде всего, хорошим сцеплением активных зерен заполнителя с органическим вяжущим. Пленка битума становится более плотной и в меньшей мере подвергается старению от внешних воздействий, чем пленка битума на поверхности традиционного заполнителя. Во-вторых, это связано с отсутствием глинистых и засоряющих примесей, оптимальным зерновым составом. В-третьих, наличие активных компонентов в составе горелых пород и золошлаковых отходов, а также их способность проявлять пуццоланическую активность оказывают влияние на дополнительное упрочнение структуры материала, проявляющееся с течением времени, после достижения проектной прочности.

В шахтных терриконах и золошлаковых отвалах накоплены миллионы тонн потенциального техногенного сырья, по качеству не уступающего аналогичному традиционному сырью. Хранение техногенного сырья в отвалах приводит к загрязнению воздушной среды, почвы и грунтовых вод, отходами заняты сотни гектаров пахотных земель. Именно поэтому утилизация и комплексное использование такого сырья имеет важное значение и экологически целесообразно.

С использованием горелых шахтных пород и золошлаковых отходов в дорожном строительстве представляется возможность повысить качество асфальтобетона, удлинить срок его службы за счет улучшения его физико-механических свойств, уменьшить расход природных ресурсов и снизить затраты на устройства слоев дорожных одежд, и решить некоторые вопросы защиты окружающей среды от загрязнения.

Технологическая схема приготовления асфальтобетонной смеси с использованием материалов из техногенного сырья приведена на рис. 11.

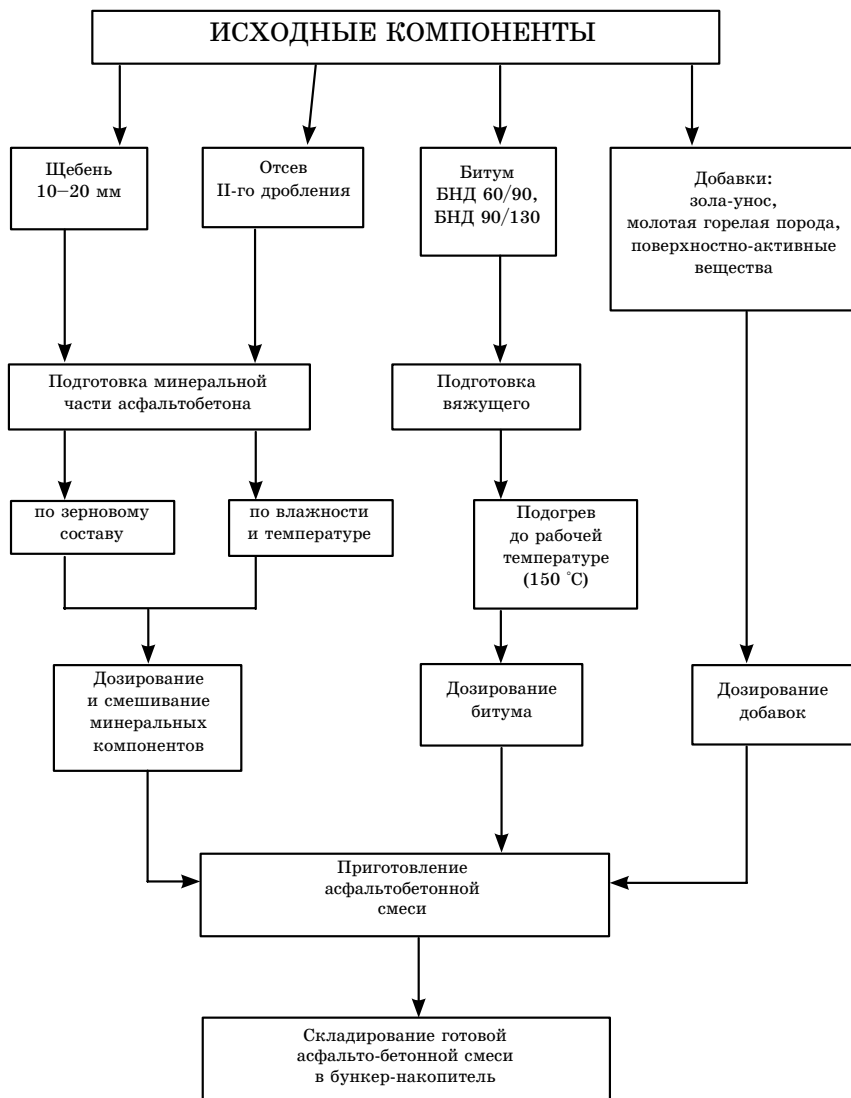


Рис. 11. Технологическая схема получения асфальтобетонной смеси

Для выбора оптимальных составов асфальтобетона была изготовлена серия образцов различных составов и проведены испытания физико-механических свойств асфальтобетона. Составы бетона и результаты их испытаний приведены в табл. 31.

Таблица 31

**Физико-механические свойства горячих  
асфальтобетонных смесей**

Номера составов асфальтобетона		Остаточная пористость, % по объему	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	R <sub>сж</sub> при температуре +20 °С, МПа	Коэффициент водостойкости	Коэффициент длительной водостойкости
<b>Крупнозернистый</b>							
I, А	1	6,8	6,3	0,8	4,30	0,80	0,78
	7	12,6	11,9	1,9	2,88	0,73	0,69
	13	17,9	17,4	2,1	2,42	0,72	0,70
II, А	2	6,6	5,9	1,0	4,25	0,82	0,80
	8	11,2	11,2	1,7	2,70	0,73	0,70
	14	16,1	16,0	1,9	2,27	0,72	0,68
III, А	3	5,9	5,0	1,1	4,16	0,84	0,81
	9	10,6	10,4	1,6	2,77	0,74	0,70
	15	15,7	15,2	1,8	2,16	0,74	0,70
IV, Б	4	6,1	6,0	1,1	4,07	0,80	0,78
	10	8,4	9,0	1,4	2,66	0,75	0,69
	6	14,6	13,9	1,6	2,03	0,75	0,67
V, Б	5	5,3	5,6	1,3	3,96	0,86	0,81
	11	7,6	8,7	1,3	2,73	0,78	0,64
	17	13,0	12,8	1,7	1,71	0,78	0,65
VI, Б	6	5,0	5,1	1,4	3,81	0,88	0,82
	12	7,1	8,4	1,3	2,69	0,77	0,67
	18	12,2	12,2	1,6	1,64	0,71	0,64
<b>Мелкозернистый</b>							
I, А	19	7,1	5,1	0,6	4,70	0,80	0,76
	28	11,9	11,5	1,7	3,04	0,72	0,67
	37	18,4	17,2	2,0	2,50	0,71	0,65



Окончание табл. 31

Номера составов асфальтобетона		Остаточная пористость, % по объему	Водонасыщение, % по объему	Набухание, % по объему	R <sub>сж</sub> при температуре +20 °С, МПа	Коэффициент водостойкости	Коэффициент длительной водостойкости
II, А	20	6,9	4,7	0,8	4,62	0,80	0,75
	29	11,2	10,6	1,6	2,96	0,71	0,65
	38	17,4	16,9	1,9	2,44	0,72	0,64
III, А	21	6,5	3,8	0,7	4,51	0,85	0,80
	30	10,5	9,4	1,6	2,90	0,73	0,67
	39	17,0	16,4	1,9	2,38	0,74	0,68
IV, Б	22	5,4	4,2	0,9	4,10	0,83	0,79
	31	9,3	8,9	1,4	2,84	0,75	0,65
	40	16,6	16,0	1,8	2,12	0,76	0,68
V, Б	23	5,7	3,7	1,0	4,38	0,87	0,83
	32	8,7	8,3	1,0	2,70	0,72	0,66
	41	16,0	15,3	1,6	2,40	0,75	0,65
VI, Б	24	5,4	3,4	0,9	4,08	0,88	0,84
	33	8,1	8,0	1,3	2,81	0,74	0,69
	42	15,2	14,8	1,7	2,00	0,74	0,68
VII, В	25	5,0	3,5	1,3	4,22	0,86	0,82
	34	7,4	7,2	1,2	2,78	0,78	0,70
	43	14,7	13,6	1,4	1,87	0,77	0,69
VIII, В	26	4,4	3,2	1,2	4,00	0,92	0,74
	35	7,0	6,9	1,1	2,68	0,74	0,59
	44	13,0	13,0	1,5	1,85	0,75	0,57
IX, В	27	3,2	2,7	X, 3	3,92	0,91	0,83
	36	6,8	6,6	1,1	2,65	0,78	0,69
	45	12,3	12,4	1,3	1,70	0,78	0,70
<b>Песчаный</b>							
X, Г	46	5,4	3,9	0,7	3,63	0,85	0,81
	47	4,6	3,2	1,2	3,32	0,86	0,80
	48	3,2	2,5	1,4	3,16	0,93	0,84
XI, Д	49	5,2	4,1	0,7	3,50	0,87	0,81
	50	4,5	3,5	1,1	3,42	0,89	0,80
	51	3,0	2,4	1,3	3,20	0,94	0,83
XII, Г, Д	52	14,3	15,1	1,5	1,62	0,72	0,65
	53	13,4	14,6	1,3	1,53	0,73	0,64
	54	12,7	13,8	1,0	1,44	0,77	0,67

На асфальтобетонном заводе Гуковского ПСУ № 1 были изготовлены опытные партии асфальтобетонной смеси. Экспериментальные асфальтобетонные смеси были уложены в покрытия на промплощадке шахты «Алмазная». Из опытных участков покрытий были отобраны пробы асфальтобетона для проведения испытаний его свойств в лабораторных условиях. Испытание физико-механических свойств асфальтобетона проводили на образцах-цилиндрах 50 x 50 мм в соответствии с требованиями и методикой, изложенными в **ГОСТ 12801**.

Для приготовления образцов доставленный в лабораторию асфальтобетон был разогрет до температуры 180 °С и затем на прессе отформованы образцы-цилиндры. Результаты испытаний приведены в табл. 32. Как следует из результатов испытаний, полученный мелкозернистый асфальтобетон по всем показателям отвечает требованиям, предъявляемым к асфальтобетонным смесям по **ГОСТ 9128**. Для экспериментального асфальтобетона характерны высокие значения по прочности, водостойкости и низкое водонасыщение.

Таблица 32

**Физико-механические свойства асфальтобетона  
на материалах из горелых пород**

№ п/п	Наименование показателей	Значения показателей
1	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	2,23
2	Средняя плотность минеральной части, г/см <sup>3</sup>	2,00
3	Истинная плотность минеральной части, г/см <sup>3</sup>	2,48
4	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,16
5	Остаточная пористость, %	19,0
6	Пористость, %	10,1
7	Набухание асфальтобетона, %	0,24
8	Прочность при сжатии сухих образцов при 20 °С, МПа	10,06
9	Прочность при сжатии водонасыщенных образцов, МПа	10,0

№ п/п	Наименование показателей	Значения показателей
10	Коэффициент водостойкости асфальтобетона	0,99
11	Водонасыщение асфальтобетона, %	1,03
12	Сцепление битума с поверхностью минеральной части асфальтобетона	отличное

В заводских условиях был увеличен расход битума по сравнению рекомендуемым на основании лабораторных подборов на 2–3 %. Значительный запас по прочности и водостойкости позволяет снизить расход битума и остановиться на рекомендуемом (не превышать 9 %).

### ***Особенности применения техногенного сырья в технологии асфальтобетона***

По физико-механическим свойствам асфальтобетон на материалах из горелых пород соответствует требованиям, которые предъявляются к асфальтобетонной смеси и асфальтобетону на традиционном сырье.

Для получения заключения о возможности использования материалов из горелых пород для приготовления асфальтобетонных смесей и устройства покрытий была проведена, прежде всего, оценка степени прилипания вяжущего к поверхности зерен щебня из горелых пород. Она оказывает решающее влияние на прочность и долговечность конструктивных слоев одежды, обработанных органическими вяжущими материалами. Сцепление (прилипание) щебня из горелых пород с битумом определялось по методу СоюздорНИИ [70]. При выполнении определения практически не наблюдалось обнажения щебенки. По принятой оценке сцепление (прилипание) щебня из горелых пород с битумом – отличное.

Испытание физико-механических свойств пробного экспериментального состава плотного асфальтобетона (тип Г, марка I) проводили на образцах-цилиндрах (диаметр и высота цилиндра 50 мм) в соответствии с требованиями и методикой ГОСТ 12801-84

**Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний.** Содержание битума составляло 9,0–11 %.

Получены следующие показатели свойств асфальтобетона:

- ◆ **прочность**, МПа  
при температуре 50 °С – 1,77;  
»» 20 °С – 2,86;  
»» 0 °С – 9,35;
- ◆ **водостойкость** – 0,98
- ◆ **водостойкость при длительном водонасыщении** – 0,88
- ◆ **средняя плотность**, г/см<sup>3</sup>  
асфальтобетона – 2,09;  
минеральной части – 1,98;
- ◆ **истинная плотность**, г/см<sup>3</sup>  
асфальтобетона – 2,39;  
минеральной части – 2,68;
- ◆ **остаточная пористость**, %  
асфальтобетона – 4,6;
- ◆ **пористость минеральной части** – 18,9;
- ◆ **водонасыщение по объему**, % – 2,2;
- ◆ **набухание асфальтобетона**, % – 0,24

Для экспериментального асфальтобетона характерны повышенные значения по прочности, водостойкости и низкие значения по водонасыщению. Это можно объяснить, во-первых, хорошим сцеплением зерен заполнителя с органическим вяжущим. Во-вторых, шероховатостью поверхности и игловатой формой частиц заполнителей из горелой породы, обуславливающим взаимодействие компонентов системы по максимальному количеству контактов, что способствует оптимальной упаковке зерен в асфальтобетонной смеси.

Следует обратить внимание на то, что при использовании отсевов дробления увеличивается расход связующего, на 2–3 % по сравнению с контрольным составом, асфальтобетона на песке.

Кроме того, асфальтобетон на материалах из горелых пород отличается несколько повышенной вязкостью и жесткостью смеси. Однако это не является препятствием для применения материалов из горелых пород в асфальтобетонных смесях. Необходимо лишь откорректировать технологические приемы приготовления асфальтобетонных смесей, например, подобрать пластифицирующие добавки, оптимальную температуру смеси и отрегулировать режим перемешивания компонентов, улучшить гранулометрический состав заполнителей.

По своим физико-механическим свойствам нерудные материалы из горелых пород изучаемого отвала пригодны к использованию в дорожном строительстве для сооружения земляного полотна, устройства подстилающих, дренажных и других слоев дорожных одежд с обработкой вяжущими и без нее.

Контроль свойств асфальтобетонных смесей и асфальтобетона на материалах из горелых пород проводится по **ТУ 5718-001-05017471-2000 Смесей асфальтобетонные на материалах из горелых шахтных пород и асфальтобетон.**

*Асфальтобетонные мелкозернистые и песчаные смеси* на материалах из горелых пород в лабораторных условиях были испытаны на образцах-цилиндрах диаметром соответственно 101, 71,4 и 50,5 мм. Приготовление и испытание свойств экспериментальных составов асфальтобетонных смесей на материалах из горелых пород проводилось в соответствии с **ГОСТ 12801-84 Смесей асфальтобетонные дорожные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний.**

В экспериментальных составах асфальтобетонных смесей применяли щебень из горелых пород фракции 5–20 мм и отсеvy 2-го дробления пород. Отсевы дробления по зерновому составу (0–10 мм) представляли собой смесь песчаной и щебеночной фракций. Содержание последней составляло от 25 до 30 %. Тонкая фракция отсева (0–0,071 мм) выполняла в составе асфальтобетона функцию минерального порошка. Песчаный асфальтобетон в качестве минеральных компонентов содержал отсеvy 2-го дробления пород.

Показатели физико-механических свойств асфальтобетонных композиций на материалах из горелых пород приведены в табл. 33.

**Физико-механические характеристики асфальтобетонов  
типов Б и Г**

Свойства асфальтобетона	Тип Б марка П		Тип Г марка П	
	Требования ГОСТа	Результаты испытаний	Требования ГОСТа	Результаты испытаний
<b>Средняя плотность</b> , г/см <sup>3</sup>	—	2,21–2,30	—	2,22–2,37
<b>Пористость минеральной части</b> , %	не более 19,0	15,8–17,3	не более 22,0	15,3–16,0
<b>Прочность при сжатии</b> , МПа: при температуре испытания + 50 °С + 20 °С 0 °С	не менее 0,8 не менее 2,0 не более 13,0	1,8–2,7 5,5–8,0 11,0–11,2	не менее 0,9 не менее 2,0 не более 13,0	1,7–7,8 8,3–8,7 11,4–11,6
<b>Водонасыщение</b> , в % по объему	от 1,5 до 4,0	1,7–1,9	от 1,5 до 4,0	1,6–1,7
<b>Водостойкость</b>	не менее 0,70	0,99–1,07	не менее 0,70	1,03–1,15
<b>Водостойкость при длительном водонасыщении</b>	не менее 0,60	1,10–1,18	не менее 0,60	1,13–1,23
<b>Сдвигоустойчивость</b> по: – коэффициенту внутреннего трения – сцеплению при сдвиге при температуре + 50 °С, МПа	0,79–0,83 0,29–0,38	0,81–0,83 0,35–0,37	0,76–0,82 0,32–0,38	0,80–0,82 0,36–0,38
<b>Трещиностойкость</b> по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0 °С и скорости деформирования 50 мм/мин.	не менее 2,0 не более 7,5	4,2–4,6	не менее 2,0 не более 7,5	4,0–4,2

**Примечание:** Количество битума в составах асфальтобетона составляло 6,5 % от массы минеральной части.

Полученные асфальтобетоны полностью отвечают требованиям, предъявляемым **ГОСТ 9128-97** и **ТУ 5718-001-05017471-2000**. Однако асфальтобетон, изготавливаемый на дробленых материалах из горелых пород, из-за особенностей этих материалов, отличается увеличенным расходом битума. Значительная часть зерен минерального материала имеет остроугольную форму, шероховатую поверхность, что придает жесткость смеси. Это требует дополнительных усилий для перемешивания и равномерного распределения во всем объеме компонентов асфальтобетонной смеси при ее приготовлении.

Из-за наличия пористости некоторых частиц повышается битумоемкость смеси. Обеспечить необходимую и достаточную уплотняемость такой смеси можно увеличением расхода связующего. Перерасход битума составляет 30–40 %. Есть и преимущества в использовании отсевов дробления горелых пород при изготовлении мелкозернистых асфальтобетонных смесей. Их применение упрощает весь технологический процесс, так как при этом нет необходимости отдельно дозировать щебень, песок и минеральный порошок.

Уменьшить жесткость асфальтобетонной смеси и снизить расход битума можно введением тонкомолотых добавок, например, золы ТЭС, молотых горелых пород. Хороший эффект достигается при введении в смесь до 30 % песка. Обладая гидравлической активностью и высокой дисперсностью, эти добавки в асфальтобетоне будут выполнять не только роль пластификатора, но и функцию микронаполнителя. Золы и молотые горелые породы могут заменить традиционно применяемый минеральный порошок, не снижая основных требований асфальтового бетона. Асфальтобетон на активном минеральном наполнителе из золы или молотой шахтной породы сохраняет высокую прочность при положительной и отрицательной температурах. Асфальтобетон с применением в качестве минерального порошка активной золы уноса и молотой породы после многократных попеременных циклов замораживания–оттаивания отличается высокой морозостойчивостью и находится на уровне эталонных. Золу уноса и молотую шахтную породу можно рекомендовать в качестве минерального порошка в асфальтовый бетон для дорожных покрытий не только в регионах с умеренным

климатом, но особенно в суровых климатических условиях и в районах повышенной влажности.

Прочность асфальтобетонных образцов после водонасыщения увеличивается, что указывает на хорошее сцепление битума с горелой породой, а также на гидратацию горелопородных компонентов, приводящую к возникновению устойчивых к воде кристаллизационных связей.

Одним из важных эксплуатационных показателей, характеризующих свойства асфальтобетонного покрытия, является износостойкость. По результатам испытания износостойкости асфальтобетонных образцов в лабораторных условиях можно сделать следующие выводы. На износостойкость асфальтобетона на горелых породах решающее влияние оказывает прочность щебня. С увеличением содержания в щебне пористых и пемзоподобных (с ноздреватой структурой) зерен износостойкость асфальтобетона понижается. Для мелкозернистого асфальтобетона можно рекомендовать материалы из горелых пород со следующим содержанием зерен щебня разной плотности: зерен со средней плотностью более  $2,3 \text{ г/см}^3$  не менее 75 %, пемзообразных зерен со средней плотностью менее  $1,8 \text{ г/см}^3$  не более 10 %.

Асфальтобетоны на материалах из горелых пород отличаются слегка повышенным водонасыщением, чем аналогичные составы на традиционных материалах. Это связано с наличием пористости зерен щебня из горелых пород. Однако повышенное водонасыщение не снижает морозостойкости асфальтобетонных образцов. В условиях попеременного замораживания–оттаивания происходят процессы гидратации материалов из горелых пород, которые и придают асфальтобетону достаточную водостойкость и морозостойкость.

Ко всему изложенному, касающемуся применения материалов из горелых пород в асфальтобетонных смесях, можно добавить следующее. В отечественной практике имеется опыт применения минеральных промышленных отходов, и в частности горелых пород, для изготовления асфальтобетонных смесей. Так ученые Томского университета изучали усталостные свойства асфальтобетона из минеральных промышленных отходов: горелых пород шахтных терриконов в качестве крупного минерального заполнителя, золошлаков ТЭС – в качестве песчаного заполнителя, активированных молотых золошлаков – в качестве минерального порошка. Лучши-



ми усталостными свойствами обладают плотные асфальтобетоны. С увеличением пористости увеличивается концентрация напряжений в пределах пор, что приводит к более быстрому образованию микротрещин и разрушению материала. Это указывает на необходимость качественного уплотнения асфальтобетонных покрытий в период их строительства в целях увеличения срока службы дорожных одежд. На выносливость асфальтобетона в значительной степени оказывает влияние степень адгезии вяжущего к поверхности минеральных заполнителей. Результаты наших испытаний также свидетельствуют о хорошей адгезии битума к горелым породам.

Показано, что мелкозернистые асфальтобетоны с заполнителями из горелых пород по выносливости циклически повторяющимся механическим нагрузкам не только не уступают эталонным, приготовленным из кондиционного щебня, песка и минерального порошка, но и превосходят их.

Для принятия решения об использовании минеральных материалов из горелых пород и золошлаковых смесей необходимо предварительно провести комплексную оценку этого техногенного сырья. Методика комплексной оценки пород шахтных и золошлаковых отходов, которую рекомендуется осуществлять в три этапа включает:

- на первом этапе необходимо выполнить инженерно-геологическое изыскание шахтных и золошлаковых отвалов для получения необходимой информации о характере залегания материалов, распределении влажности, плотности по глубине отвала, степени однородности, способе получения пород и золошлаков;

- на втором этапе осуществляют инженерно-геологическую оценку показателей физико-механических свойств пород, зол и материалов из них, определенных в лаборатории. По результатам устанавливают возможность и условия их использования в основаниях дорожных одежд и земляном полотне;

- на третьем этапе с учетом полученных лабораторных данных выполняют технико-экономическое обоснование целесообразности использования тех или иных материалов из пород и золошлаков в конкретных конструкциях автомобильной дороги. В случае положительного решения разрабатываются специальные рекомендации по конструкции земляного полотна и дорожных одежд из пород конкретного шахтного отвала и золоотвала данной ТЭЦ и особенностям технологии их сооружения.

# 5 БЕТОННЫЕ ТРОТУАРНЫЕ ПЛИТЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Одной из мер по улучшению экологического состояния среды обитания человека является замена асфальтобетонных покрытий тротуаров, площадок и пешеходных дорожек на мелкоштучные изделия из бетона на минеральных заполнителях и вяжущих. Изделия из мелкозернистого бетона должны иметь высокую прочность, морозостойкость, износостойкость, долговечность. Получить изделия с такими характеристиками из обычного цементно-песчаного бетона не всегда возможно. Природные пески зачастую имеют низкий модуль крупности (к примеру, в Ростовской области – 1,2–1,4). Согласно требованиям нормативных документов применение таких песков в бетонах не допускается, поскольку это неизбежно ведет к значительному перерасходу цемента. Поэтому для мелкозернистых бетонов следует рекомендовать другие заполнители, обеспечивающие достижение необходимых характеристик бетона в пределах установленных норм расхода цемента.

Исследованиями и практическим опытом доказано, что высокопрочные мелкозернистые бетоны для изготовления тротуарной плитки, бордюрного камня и мелкоштучных элементов мощения дорог могут быть получены на основе техногенного сырья: золошлаковых отходов и отсевов горелых шахтных пород [71]. Как известно, в золошлаковых смесях из гидротвалов содержатся

тонкодисперсная фракция в виде золы-уноса и топливный шлак. Зола-унос представляет собой дисперсный порошок, состоящий из мельчайших сферолитов размером от 0,001 до 0,14 мм. Топливный шлак состоит в основном из зерен крупностью от 0,14 до 10 мм. Следовательно, шлаковая фракция 0,14–2,5 мм при использовании в бетонах может выполнять роль мелкого заполнителя, а фракция 3–10 мм – крупного заполнителя. Таким образом, находящаяся в отвалах золошлаковая смесь представляет собой композицию, состоящую из трех компонентов: шлакового щебня, шлакового песка и пылевидной золы-уноса. Каждый из этих компонентов в бетоне выполняет свою функцию, поэтому их доля в золошлаковой смеси и соотношение между ними имеют большое значение. Свойства этих компонентов таковы, что позволяют использовать золошлаковое сырье для изготовления бетонов различного назначения.

Установлено, что гранулометрия золошлаковой смеси близка к оптимальной, если массовая доля зерен различного размера в ее составе находится в следующих пределах: 3–10 мм – 42–55 %; 0,14–2,5 мм – 22–40 %; а фракция мельче 0,14 мм (зола-унос) – 18–25 %. Как показывает опыт, золошлаковая смесь из гидротвалов не всегда имеет оптимальную гранулометрию. Это связано с тем, что вопросами подготовки золошлакового сырья и поставки его потребителю на золоотвалах практически никто не занимается. Потребитель сам добывает эту смесь на случайных, неподготовленных участках огромных отвалов.

Наилучшие показатели физико-механических свойств мелкозернистого бетона получены при использовании золошлаковой смеси с модулем крупности 2,2–2,8. Так, применение золошлака с модулем крупности 2,65 в составах бетона для тротуарной плитки позволило сэкономить от 100 до 250 кг/м<sup>3</sup> цемента и получить бетон по прочности на сжатие классов В12,5; В25; В30; по морозостойкости – марки 300 без потерь прочности при испытании на морозостойкость. Водопоглощение бетона – не более 2 %, потеря массы при испытании на истираемость – 0,7–0,8 г/см<sup>2</sup>. Состояние тротуарной плитки хорошее; трещин, деформаций, отколов, отслоений, шелушения и других признаков разрушения бетона не обнаружено. Долговечность плитки из золобетона – не менее 50 лет.

Золошлаковые смеси, как следует из приведенного примера, положительно влияют на свойства и качество изделий на их осно-

ве. Отсутствие стабильности в зерновом составе, а следовательно и в физико-механических свойствах золошлаковых смесей из гидротвалов, сдерживает их широкое применение в производстве бетонов. Для широкого внедрения этого вида сырья необходима организация производства по сортировке золошлаковых смесей на гидровалах. Затраты на организацию такого производства будут оправданы получением нового качественного мелкозернистого заполнителя для бетонов и продукции с высокими потребительскими свойствами на его основе.

Заслуживает особого внимания для изготовления тротуарной плитки и элементов мощения мелкозернистый бетон на основе горелых пород шахтных отвалов. Особенно это актуально для угольно-промышленных районов Ростовской области, где в отвалах хранятся огромные запасы шахтных пород.

Принципиально технология изготовления тротуарных плит и элементов мощения из этого бетона не отличается от технологии приготовления золобетона и включает следующие операции: подготовка заполнителей из горелых пород и гидравлической добавки тонкомолотой горелой породы, дозирование компонентов и приготовление бетонной смеси в бетономешалке принудительного действия, набор прочности при термообработке и в условиях естественного твердения, испытание физико-механических свойств и качества тротуарных плит и элементов мощения по контрольным кубикам и неразрушающими методами контроля готовых изделий.

Тротуарные плиты и элементы мощения изготавливаются из мелкозернистого бетона по прочности класса В15; В22,5; В30, по морозостойкости F100–F200, по истираемости 0,8–1,1 г/см<sup>2</sup>, по водопоглощению не более 5,0 %, по водонепроницаемости не менее W2.

В составе мелкозернистого бетона в качестве многофункционального компонента применяется:

- зола-унос Новочеркасской ГРЭС по **ГОСТ 25818-91**;
- тонкомолотая горелая порода, измельченная до тонкости помола цемента.

Зола-унос и тонкомолотая горелая порода в составе бетонной смеси выполняют роль минеральной добавки с пуццолановой активностью, мелкого наполнителя, заполнителя, пластификатора.

В качестве мелкозернистого заполнителя для приготовления бетона тротуарных плит следует применять:

– золошлаковую смесь из гидротовалов Новочеркасской ГРЭС по **ГОСТ 25592-91**;

– дробленые горелые породы песчаной фракции или отсева дробленых пород.

Модуль крупности золошлаковой смеси, отсева дробления горелых пород, применяемых для приготовления плит и элементов мощения из мелкозернистого бетона, должен быть не менее 2,2; влажность не более 15 %.

Для получения мелкозернистого заполнителя из горелых пород используют перегоревшие породы, отличающиеся высокой плотностью сложения и прочностью.

Получение заполнителя песчаной фракции из горелых пород возможно:

– на стадии дробления прочных горелых пород на щебень;

– на стадии прямого целевого дробления щебня из горелых пород на песок.

В первом случае песок получается из отсева при дроблении пород на щебень; во втором случае как продукт дробления исходного щебня на песок.

Заполнитель из горелых пород (песчаная фракция) имеет непрерывный гранулометрический состав с предельным размером зерен 5 мм.

При производстве тротуарных плит и элементов мощения допускается использование нефракционированного мелкозернистого заполнителя с непрерывной гранулометрией (фракция – 0–5 мм), модуль крупности используемого песка должен быть не менее 2,2.

### *Составы формовочных масс*

В составах бетонной смеси мелкозернистого бетона используют цемент, зола-унос, молотая горелая порода, золошлаковые смеси, отсева дробления горелых пород. Весовые количества исходных компонентов бетона приведены в табл. 34.

Цемент и зола-унос используются без специальной подготовки. Молотую горелую породу подготавливают путем измельчения

отсево первого дробления в шаровой мельнице или вибромельнице до тонкости помола цемента.

Золошлаковую смесь просеивают через сито с размером ячейки 10 мм для удаления частиц крупнее 10 мм.

Таблица 34

**Составы мелкозернистого бетона**

№ состава	Компоненты, вес. %					
	цемент	зола-унос	молотая горелая порода	золо-шлаковая смесь	отсев дробления горелых пород	вода
1	25,5	6,5	—	65,0	—	3,0
2	30,0	—	—	68,0	—	2,0
3	21,5	8,5	—	68,0	—	2,0
4	16,0	—	11,5	—	59,5	13,0
5	15,0	—	13,5	—	59,0	12,5
6	15,0	—	14,0	—	57,5	14,5

Технологическая схема производства тротуарных плит и элементов мощения приведена на рис. 12.

Коэффициент использования вяжущего в бетонах с добавками молотой горелой породы повышается при пропаривании.

Как показали выполненные исследования, на прочность мелкозернистых бетонов на золошлаках и отсевах горелых пород с тонкомолотыми добавками оказывает влияние режим тепло-влажностной обработки. В частности, температура изотермического прогрева должна составлять не менее 80–85 °С. Снижение температуры изотермического прогрева с 80 до 65 °С приводит к снижению прочности бетона, увеличение температуры до 95 °С сопровождается незначительным приростом прочности. Поэтому оптимальным можно считать следующий режим: выдержка свежееотформованных изделий – не менее 2-х часов, подъем температуры до начала изотермического прогрева – 3 часа, выдержка при температуре изотермического прогрева – 8 часов, охлаждение изделий – не менее 3-х часов.

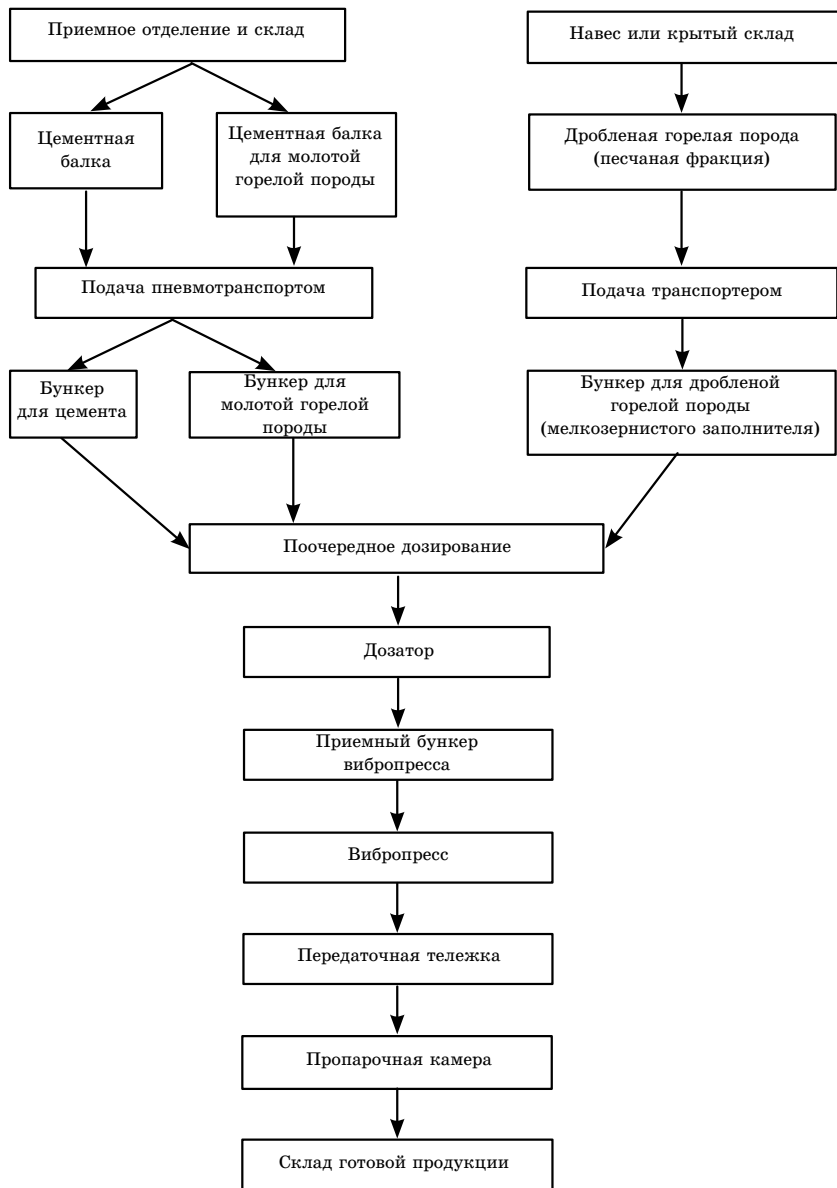


Рис. 12. Технологическая схема производства тротуарных плит

Некоторые авторы рекомендуют увеличить температуру изотермического прогрева на 10 °С и время выдержки на 2 часа, чтобы полнее использовать реакционную способность золы и горелой породы. Однако на практике в заводских условиях температура изотермического прогрева, как правило, составляет 60–80 °С, а в зимних условиях температура может быть еще ниже. Неиспользованный резерв реакционной способности золы и горелой породы реализуется при последующем наборе прочности в течение длительного времени.

Допускается использовать режимы тепловлажностной обработки, которые устанавливаются для пропаривания бетонных и железобетонных изделий, изготавливаемых из традиционных материалов. Набор прочности бетона, содержащего горелые породы, происходит как при тепловлажностной обработке, так и в естественных условиях

Формование тротуарных и фасадных плит из мелкозернистого бетона производится прессованием, вибропрессованием и виброштампованием.

Изделия извлекают из форм, а также снимают с поддонов или площадок после достижения бетоном прочности не менее 70 % проектной. В зимний период прочность изделий перед распалубкой должна составлять не менее 90 % проектной.

Сравнение технического уровня и качества продукции (основные показатели) приведено в табл. 35.

*Таблица 35*

**Сравнительные показатели качества продукции**

№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя	
			заменяемый отечественный образец	предлагаемый образец
1	Прочность при сжатии	МПа	30,0	40,0
2	Прочность при изгибе	МПа	4,05	6,20
3	Водопоглощение	%	4,0–8,0	3,0–3,5



№ п/п	Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя	
			заменяемый отечественный образец	предлагаемый образец
4	Морозостойкость	Количество циклов	100	200–300
5	Водонепроницаемость	МПа	2–4	6–8
6	Коэффициент коррозионной стойкости		0,80–0,85	0,95–1,20
7	Истираемость	г/см <sup>2</sup>	1,8–2,7	0,3–1,1

Для условий эксплуатации в районах Ростовской области и Северного Кавказа морозостойкость бетона для тротуарных плит и элементов мощения должна быть не ниже F200. Водопоглощение бетона плит не должно превышать 5–6 % для мелкозернистого бетона. Истираемость бетона плит в зависимости от условий работы покрытий должна удовлетворять требованиям ГОСТ I3015.0-83.

### ***Физико-механические свойства тротуарных плит***

Составы бетона для тротуарной плитки по прочности на сжатие соответствуют классу В22,5; В30 (марка бетона 300; 400).

Составы мелкозернистого бетона, приведенные в табл. 36, были испытаны в соответствии с требованиями, предъявляемыми к тротуарной плитке. В составах 4–6 модуль крупности дробленой горелой породы песчаной фракции имел значение 2,18.

В составах 7–11 модуль крупности дробленой горелой породы песчаной фракции имел значение 2,62.

Полученные мелкозернистые бетоны по прочности на сжатие соответствуют классу бетона В22,5; В25; В30. По прочности при изгибе превосходят бетоны аналогичных классов и видов на тради-

ционных материалах. Сравнительно высокую прочность при изгибе имеет мелкозернистый горелопородный бетон.

Таблица 36

**Составы экспериментального мелкозернистого бетона  
для тротуарных плит**

№ состава	Компоненты, вес. %					
	цемент	зола-унос	молотая горелая порода	золо- шлаковая смесь	отсев дробления горелых пород	вода
1	25,5	6,5	—	65,0	—	3,0
2	30,0	—	—	68,0	—	2,0
3	21,5	8,5	—	68,0	—	2,0
4	16,0	—	11,5	—	59,5	13,0
5	15,0	—	13,5	—	59,0	12,5
6	15,0	—	14,0	—	57,5	14,5
7	16,0	—	14,0	—	57,0	13,0
8	14,0	—	14,0	—	59,0	13,0
9	6,0	—	12,0	—	59,0	13,0
10	16,0	—	14,0	—	59,0	11,0
11	15,0	—	14,0	—	57,0	14,0

Составы бетона по морозостойкости для золобетона соответствуют марке F300 (без снижения потерь прочности), для бетона на заполнителях из горелых пород шахтных отвалов марке F250; F300. Результаты испытаний приведены в табл. 37–42.

Бетонные кубы при испытании на морозостойкость выдержали в водонасыщенном состоянии многократное попеременное замораживание и оттаивание (300 и 200 циклов без признаков разрушения и снижения прочности). В данном случае проявляется влияние пуццолановых свойств добавок золы уноса и молотых

горелых пород, заключающееся в продолжении набора прочности образцами во влажной среде. На прирост прочности влияет также реакционная способность заполнителя из горелых дробленых пород. Отсутствие признаков разрушения бетонных кубов и прирост их прочности свидетельствуют о том, что полученные значения по морозостойкости не являются предельными. Окончательная величина морозостойкости разработанного бетона не установлена из-за недостатка представленных для испытания образцов. В соответствии с требованиями **ГОСТ 17608-91** марка бетона по морозостойкости F200 необходима и достаточна для климатических условий Ростовской области.

Оценка водонепроницаемости и истираемости разработанного бетона на основе горелых пород проводилась с помощью прибора АГАМА-2Р в соответствии с методическими рекомендациями по ускоренному неразрушающему контролю истираемости бетона и контролю его проницаемости в конструкциях и изделиях.

Водонепроницаемость мелкозернистого бетона контролировали также по методу «мокрого пятна» – **ГОСТ 12730.5-84**. По водонепроницаемости испытываемые бетоны соответствуют классу не менее W6, потеря массы при испытании на истираемость составляет не более 1,1 г/см<sup>2</sup>.

**Испытания на морозостойкость** образцов из мелкозернистого бетона на материалах из золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС и пород шахтных отвалов, предназначенного для изготовления тротуарных плит и элементов мощения, проведены в соответствии с требованиями **ГОСТ 10060.0-95; ГОСТ 10060.1-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости.**

Результаты испытаний представлены в табл. 37, 38.

Экспериментальный мелкозернистый бетон на основе техногенного сырья имеет марку по морозостойкости не ниже F250.

**Испытания на истираемость** образцов из мелкозернистого бетона на материалах из золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС и пород шахтных отвалов, предназначенного для изготовления тротуарных плит и элементов мощения проведены в соответствии с требованиями **ГОСТ 13087-1 Бетоны. Методы определения истираемости.** Результаты испытаний представлены в табл. 39, 40.

Результаты испытаний на морозостойкость (составы 1–3)

№ состава	Проектная марка бетона по		Назначение	Предел прочности на сжатие, МПа; кол-во циклов								Потеря прочности, %	Морозостойкость, марка
	прочности	морозостойкости		0	75	100	150	200	250	300			
1	М400	М300	основ.	37,7	38,5	37,9	37,4	37,1	36,9	–	3,2	F250	
			контр.		37,4	37,4	37,6	37,9	38,1	–			
2	М400	М300	основ.	41,4	42,1	41,8	41,4	41,5	41,6	41,7	нет	F300	
			контр.		41,5	41,4	41,2	41,1	41,2	41,0			
3	М400	М300	основ.	46,3	47,6	47,3	47,0	47,1	47,4	47,3	нет	F300	
			контр.		47,2	46,6	46,2	46,5	46,8	47,0			

Результаты испытаний на морозостойкость (составы 6–8)

№ состава	Проектная марка бетона по		Назначение	Предел прочности на сжатие, МПа; кол-во циклов								Потеря прочности, %	Морозостойкость, марка
	прочности	морозостойкости		0	75	100	150	200	250	300			
6	М300	М250	основ.	29,4	31,1	30,6	29,4	29,9	30,0	6	3,9	F250	
			контр.		27,6	29,9	29,3	30,2	31,2				
7	М300	М250	основ.	35,9	36,7	39,5	40,4	37,7	39,0	–	нет	F250	
			контр.		36,6	36,8	39,7	37,2	34,8				
8	М300	М250	основ.	42,4	40,2	28,9	26,4	31,2	–	32,9	нет	F300	
			контр.		30,4	23,9	25,7	31,8	–	26,9			

Таблица 39

## Результаты испытаний на истираемость (составы 1–3)

№ состава	№ образца	Истираемость отдельного образца, г/см <sup>2</sup>		Истираемость серии образцов, г/см <sup>2</sup>	
		на вольском песке	с переводным коэф. К = 2,5	на вольском песке	с переводным коэф. К = 2,5
1	1	0,18	0,45	0,3	0,8
	2	0,43	1,075		
	3	0,34	0,85		
2	1	0,445	1,11	0,4	1,0
	2	0,375	0,94		
	3	0,416	1,04		
3	1	0,186	0,465	0,3	0,8
	2	0,382	0,955		
	3	0,353	0,883		

Таблица 40

## Результаты испытаний на истираемость (составы 6–8)

№ состава	№ образца	Истираемость отдельного образца, г/см <sup>2</sup>		Истираемость серии образцов, г/см <sup>2</sup>	
		на вольском песке	с переводным коэф. К = 2,5	на вольском песке	с переводным коэф. К = 2,5
6	1	0,32	0,8	0,4	0,89
	2	0,38	0,95		
	3	0,37	0,93		
7	1	0,423	1,06	0,4	1,06
	2	0,397	0,99		
	3	0,448	1,12		

№ состава	№ образца	Истираемость отдельного образца, г/см <sup>2</sup>		Истираемость серии образцов, г/см <sup>2</sup>	
		на вольском песке	с переводным коэф. К = 2,5	на вольском песке	с переводным коэф. К = 2,5
8	1	0,266	0,665	0,3	0,82
	2	0,352	0,880		
	3	0,361	0,903		

Потеря массы при испытании на истираемость экспериментального мелкозернистого бетона на основе техногенного сырья не превышает 1,1 г/см<sup>2</sup>.

**Испытание на водонепроницаемость образцов-цилиндров** (диаметром и высотой 150 мм), изготовленных из мелкозернистого золотона и горелопородного бетона, предназначенного для тротуарных плит и элементов мощения, проведено по **ГОСТ 12730.5-84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.**

Проектная марка бетона **300**, класс бетона – **B22,5**;

Проектная марка бетона по водонепроницаемости – **W 6**.

Результаты испытаний приведены в табл. 41, 42.

Таблица 41

### Результаты испытаний на водонепроницаемость (составы 1–3)

Номер образца	Максимальное давление воды, выдержанное образцом, МПа	Давление, при котором на образце появилась вода, МПа	Водонепроницаемость образца, МПа
1	0,8	1,0	0,8
2	0,6	0,8	0,6
3	0,6	0,8	0,6
4	0,8	1,0	0,8
5	0,8	1,0	0,8
6	0,6	0,8	0,6

**Результаты испытаний на водонепроницаемость (составы 6–8)**

Номер образца	Максимальное давление воды, выдержанное образцом, МПа	Давление, при котором на образце появилась вода, МПа	Водонепроницаемость образца, МПа
1	0,4	0,6	0,4
2	0,6	0,8	0,6
3	0,6	0,8	0,6
4	0,6	0,8	0,6
5	0,4	0,6	0,4
6	0,6	0,8	0,6

Экспериментальный мелкозернистый бетон на основе техногенного сырья имеет марку по водонепроницаемости не ниже **W6**.



# 6

## ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Производство цемента связано со значительными энергетическими и сырьевыми затратами. В условиях возрастающего топливного дефицита возможность снижения энергоемкости технологии цемента представляет несомненный практический интерес. Решить эту проблему можно, вовлекая в технологический процесс техногенное сырье, и в первую очередь шахтные породы и отходы углеобогащения как наиболее многотоннажные отходы, имеющиеся в Ростовской области. При использовании этих отходов в технологии цемента реализуется их энергетический потенциал и минеральная составляющая, представленная главным образом глиноземом и кремнеземом. Это техногенное сырье может применяться в технологии вяжущих веществ в качестве минеральных (гидравлических) добавок. Эти добавки (называемые пуццолановыми) не обладают способностью к самостоятельному твердению; будучи затворены водой, они не схватываются и не переходят в камнеподобное состояние. Однако смесь таких добавок с некоторыми вяжущими веществами, которые содержат в свободном виде известь или выделяют ее при взаимодействии с водой, приобретает способность к самостоятельному гидравлическому твердению.

Гидравлическими добавками являются неорганические вещества, способные в тонкоизмельченном состоянии придавать гид-

равлические свойства воздушной извести. Их состав представлен в основном кремнеземом и в небольшом количестве глиноземом (а также другими оксидами). Кремнезем в них находится в аморфном состоянии и весьма активен по отношению к извести. При взаимодействии гидравлической добавки с известью образуются гидросиликаты и гидроалюминаты кальция, которые в отличие от извести практически нерастворимы и обладают высокой стойкостью в водных условиях. В результате известь, являющаяся воздушным вяжущим веществом, приобретает способность твердеть в воде.

Таким образом, основное техническое назначение активных минеральных добавок заключается в том, чтобы связать известь в нерастворимые, способные к водному твердению вещества, придать воздушной извести гидравлические свойства и повысить водостойкость портландцемента в пресных водах.

Применение таких добавок дает большой экономический эффект, позволяя снизить стоимость портландцемента и расширить номенклатуру местных гидравлических вяжущих веществ, успешно заменяющих портландцемент при изготовлении растворов и бетонов низких марок. Снижение стоимости портландцемента при использовании гидравлических добавок происходит за счет частичной замены наиболее ценной и дорогой его составляющей – клинкера – дешевыми природными материалами или отходами различных производств.

В зависимости от происхождения гидравлические добавки разделяют на две группы: природные и искусственные. Природные гидравлические добавки могут быть осадочного и вулканического происхождения. К добавкам осадочного происхождения относятся диатомиты, трепелы, опоки и глиежи. Гидравлическими добавками вулканического происхождения являются пеплы, туфы, пемзы и трассы. Они представляют собой рыхлый вулканический материал, образующийся в результате сильных взрывов, когда расплавленная магма размельчается в кратере вулкана на множество отдельных частичек.

Искусственными гидравлическими добавками являются обожженные глины, горелые шахтные породы, доменные гранулированные шлаки и топливные золы и шлаки.

Все гидравлические добавки представляют собой пористые, малопрочные материалы, легко подвергающиеся измельчению.

Пористость добавок достигает 60–70 % и более. Это указывает на то, что поверхность их зерен сильно развита, что частично обуславливает высокую реакционную способность добавок.

Применение отходов добычи и сжигания углей в производстве вяжущих веществ возможно по двум направлениям:

- в качестве активной минеральной добавки к клинкеру, обладающей пуццоланическими свойствами, и не снижающей марку цемента и его физико-механические свойства и технические характеристики;
- в качестве глинозем- и кремнеземсодержащей добавки в сырьевую смесь для получения портландцементного клинкера.

При разработке технологии вяжущих веществ в качестве объектов исследования были выбраны отходы, имеющиеся в больших количествах в Ростовской области: золошлаковые отходы, горелые и перегоревшие породы шахтных терриконов угольно-промышленных районов, металлургические шлаки.

### ***Сырье для производства вяжущих веществ***

Основным сырьем для производства портландцементного клинкера служат легкоплавкие глины и карбонатные породы с большим содержанием углекислого кальция, а также природные смеси глины и углекислого кальция (мергели) и корректирующие добавки.

*Легкоплавкие глины* представляют собой тонкодисперсные вторичные осадочные горные породы. Минералогический состав глин представлен преимущественно водными алюмосиликатами и кварцем (главным образом в виде кварцевого песка). Химический состав легкоплавких глин характеризуется в основном наличием трех оксидов: кремния (60–80 %), алюминия (5–20 %) и железа (3–15 %). В небольшом количестве могут содержаться в глинах СаО и MgO преимущественно в виде углекислых солей, хотя в отдельных разновидностях глин содержание оксида кальция может достигать 25 %, а оксида магния – 3 %. Присутствие в глинах растворимых солей, используемых для производства клинкера, должно быть по возможности минимальным.

*Карбонатные кальциевые породы* – известняки, мел, известковый туф, известняк-ракушечник находят применение в производстве портландцемента. Вследствие осадочного происхождения

известняков и мела их, как и глины, отличают большое разнообразие химического состава и физических свойств.

Известняки, применяемые для производства портландцемента, наряду с  $\text{CaO}$  содержат кремнезем (до 8 %), глинозем (до 2 %), оксиды железа (до 1 %), оксид магния (до 2 %) и  $\text{SO}_3$  (до 1 %). Плотность и прочность карбонатных кальциевых пород колеблется в значительных пределах; встречаются и весьма плотные известняки – с кристаллической структурой и мягкие, рыхлые породы (мел).

Мергели являются осадочной горной породой, представляющей собой природную смесь глинистых веществ и мельчайших частиц углекислого кальция. В зависимости от содержания  $\text{CaCO}_3$  и глины мергели разделяются на мергелистый известняк (90–95 %  $\text{CaCO}_3$ ), известково-карбонатный мергель (70–90 %  $\text{CaCO}_3$ ) и мергель (50–70 %  $\text{CaCO}_3$ ). Наиболее ценным сырьем являются мергели, содержащие примерно 75 %  $\text{CaCO}_3$  и 25 % глины. По физическим свойствам мергели, подобно карбонатным кальциевым породам, могут резко отличаться. Одни имеют плотную структуру и прочны, другие, подобно мелу, мягкие, рыхлые.

В качестве *корректирующих добавок* применяют добавки, содержащие значительное количество одного из оксидов клинкера.

Увеличение содержания  $\text{SiO}_2$  достигается добавкой высококремнеземистых веществ (трепела, опоки, диатомита). Недостаточное количество в сырьевой смеси оксидов железа компенсируется добавкой колчеданных огарков, добавка же высокоглиноземистых глин позволяет повысить содержание в клинкере глинозема.

При изготовлении портландцемента клинкер измельчают совместно с гипсом и с активными минеральными (гидравлическими) или инертными добавками. Для этого используют двухводный гипс ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) – гипсовый камень, который служит сырьем при изготовлении строительного гипса.

**Топливо** для обжига сырьевых материалов применяется твердое, жидкое и газообразное. Лучшими его видами являются жидкое и газообразное, при сгорании которых не получается золы. При использовании же твердого топлива зола входит в состав клинкера и может изменить его химический состав. Поэтому при расчете сырьевой смеси учитывается зольность топлива и химический состав золы.

Большинство цементных заводов работает на твердом топливе. При обжиге клинкера применяют каменные угли, антрациты, бурые угли и горючие сланцы. Выбор вида твердого топлива обуславливается конструкцией теплового аппарата. Тонкость помола топлива должна характеризоваться остатком на сите № 009 в пределах 8–10 %.

В качестве *минеральных гидравлических добавок* применяют природные материалы осадочного или вулканического происхождения и техногенное сырье, проявляющее свойства пуццоланов.

### **Обоснование эффективности применения техногенного сырья в технологии вяжущих веществ**

В качестве техногенного сырья при разработке технологии вяжущих веществ использовались горелые шахтные породы (в тонкомолотом и дробленном виде), золошлаковые отходы, доменный шлак.

Золошлаковые отходы Новочеркасской ГРЭС представлены двумя видами: зола сухого отбора (зола-унос) и золошлаковая смесь совместного гидроудаления.

*Доменный шлак* – это побочный продукт доменного процесса, получаемый в результате сплавления пустой породы руды и золы топлива с нелетучей частью флюса.

Руды содержат пустую породу, в составе которой могут быть кварц, силикаты, карбонаты и алюмосиликаты, фосфаты, а также соединения серы. Чтобы отделить пустую породу и золу топлива в процессе плавки от чугуна, в шихту вводят флюсы, чаще всего карбонатные породы – известняки или доломиты. В доменной печи сначала карбонаты диссоциируются, а затем окись кальция и окись магния вступают во взаимодействие с пустой породой, образуя главным образом силикаты и алюминаты кальция и магния.

По агрегатному состоянию доменные шлаки могут быть как гранулированные, так и отвалы, которые в обычных условиях твердения не обладают активностью.

*Химический состав* доменных шлаков обычно представлен оксидами CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, MnO и FeO, а также сернистыми соединениями CaS, MnS и FeS (табл. 43).

Кроме того, в зависимости от состава руды в доменных шлаках могут содержаться и другие оксиды.

В обычных шлаках литейного и передельного чугунов оксиды CaO, SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляют 90–95 % по весу, и шлаки эти по химическому составу весьма близки к портландцементу, отличаясь от него в основном лишь соотношением этих оксидов (оксидов кальция содержится меньше, а кремнезема больше, чем в портландцементе).

Таблица 43

**Содержание оксидов в доменных шлаках, вес. %**

Завод (комбинат)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	FeO	MnO	S
Мариупольский (мартеповский шлак)	38,9	7,3	46,56	5,30	0,66	0,35	1,39
Мариупольский (литейный шлак)	39,22	6,44	48,31	4,67	0,51	0,31	1,04
Макеевский	36,3	10,5	47,3	2,4	0,4	1,0	2,1
Ново-Тульский	35,8	10,3	44,4	6,9	0,2	0,5	1,0

Основными составляющими доменных шлаков являются геленит 2CaOAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>SiO<sub>2</sub>, окерманит 2CaOMgOSiO<sub>2</sub>, γ- или β-двухкальциевый силикат, ранкинит 3CaO2SiO<sub>2</sub> и псевдоволластонит α-CaOSiO<sub>2</sub>.

Активность доменных шлаков при определении степени пригодности шлака для производства цементов определяют в соответствии с ГОСТ 3476-74. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов. Оценка гидравлических свойств доменного гранулированного шлака проводится при помощи коэффициента качества (*K*), который определяется на основании данных химического анализа по формулам:

при содержании оксида магния до 10 % –

$$K = [\% \text{CaO} + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{MgO}] / [\% \text{SiO}_2 + \% \text{TiO}_2];$$

при содержании оксида магния более 10 % –

$$K = [\% \text{CaO} + \% \text{Al}_2\text{O}_3 + 10] / [\% \text{SiO}_2 + \% \text{TiO}_2 + \% (\text{MgO} - 10)].$$

В зависимости от коэффициента качества и химического состава доменные гранулированные шлаки подразделяются на три сорта, указанные в табл. 44.

Наиболее активными являются шлаки с повышенным содержанием глинозема, оксида кальция и с пониженным содержанием кремнезема. Глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  является наиболее активной гидравлической составляющей, которая главным образом и придает шлаковым цементам относительно высокую начальную прочность. Оксид кальция  $\text{CaO}$  также обладает большой активностью. Оксид магния ( $\text{MgO}$ ) при содержании его в шлаке до 20 % благоприятно влияет на гидравлические свойства шлака. Оксид магния находится преимущественно в связанном устойчивом состоянии и не вызывает при твердении разрушительных объемных изменений.

Таблица 44

#### Показатели качества доменных шлаков по сортам

Наименование показателей	Нормы для сортов		
	1-го	2-го	3-го
Коэффициент качества, не менее	1,65	1,45	1,20
Содержание окиси алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), %, не менее	8,0	7,5	не нормируется
Содержание окиси магния ( $\text{MgO}$ ), %, не более	15,0	15,0	15,0
Содержание двуокиси титана ( $\text{TiO}_2$ ), %, не более	4,0	4,0	4,0
Содержание закиси марганца ( $\text{MnO}$ ), %, не более	2,0	3,0	4,0

Кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ) и закись марганца ( $\text{MnO}$ ) при повышенном их содержании снижает гидравлическую активность шлака. Сульфидной серы в шлаке должно содержаться не больше 3,6 % (что соответствует примерно 8 %  $\text{CaS}$ ).

Требования к гидравлическим добавкам для цементов  
Золошлаковые отходы и горелые породы шахтных отвалов, используемые в качестве минеральных добавок к цементу, должны отвечать следующим требованиям:

- конец схватывания – не позднее 7 сут. после затворения теста, состоящего из отхода, гидратной извести и гипсового камня;
- содержание  $\text{SiO}_2$  в кислых золошлаковых отходах и шахтных породах – не менее 40 %;
- содержание щелочных оксидов в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  – не более 5,0 %;
- содержание  $\text{SO}_3$  – не более 2,0 %;
- потери при прокаливании не должны превышать 5,0 %.

Методика определения активности добавок изложена в **ГОСТ 25094-94**.

Доменные гранулированные шлаки по своему химическому составу должны удовлетворять следующим требованиям: содержание двуокси кремния ( $\text{SiO}_2$ ) должно быть не менее 38 %; глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – не менее 7,5 %; суммы оксида кальция ( $\text{CaO}$ ) и оксида магния ( $\text{MgO}$ ) – не менее 43 %; двуокси титана ( $\text{TiO}_2$ ) – не более 4,0 %; закиси марганца ( $\text{MnO}$ ) – не более 4,0 %; пятиокси фосфора ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – не более 2,5 %.

Активность гидравлических добавок, кроме доменных шлаков, характеризующаяся количеством извести в миллиграммах, поглощенной из известкового раствора 1 г добавки в течение 30 сут. должна быть не менее 50 мг.

Минеральные добавки должны быть измельчены. Дисперсность добавок определяется технологией производства цемента.

### ***Технология вяжущих веществ***

Основными технологическими операциями при производстве портландцемента являются: добыча и доставка на завод сырьевых материалов (глины, известняка, добавок), приготовление сырьевой смеси (дробление, помол и усреднение ее состава), обжиг сырьевой смеси до спекания (получение клинкера), помол клинкера с гипсом и добавками (получение портландцемента).



В зависимости от вида подготовки сырьевой смеси к обжигу применяют три способа производства портландцементного клинкера – мокрый, сухой и комбинированный.

Технология производства вяжущих на основе техногенного сырья принципиально не отличается от классической. Дополнительные технологические переделы связаны с подготовкой техногенного сырья и спецификой подачи его в линию.

Подготовку пород шахтных отвалов, например, усреднение, дробление, удаление загрязняющих примесей и другие операции, целесообразнее производить на предприятии по разработке шахтных отвалов и переработке пород.

Зола сухого отбора, как правило, особых операций по подготовке не требует. Она используется непосредственно из электрофильтров. Ее поставляют на цементные заводы в автоцементовозах или вагонах-хопперах.

Доменные шлаки в технологии вяжущих веществ используют как гранулированные, так и негранулированные.

Техногенное сырье применяют при производстве следующих вяжущих веществ:

– *портландцементного клинкера с использованием золошлаковых отходов, или пород шахтных отвалов, или доменных шлаков в качестве глинистого компонента.* По этому варианту целесообразнее использовать горелые и перегоревшие шахтные породы. В таких породах свободного угля как такового нет. Несгоревшие частицы топлива, присутствующие в качестве примесей, в разной степени метаморфизованы, отличны от исходного состояния и находятся в виде кокса и полукокса и графитизированного углестого вещества. Эти модификации углестого вещества на свойства цемента отрицательного влияния не оказывают.

– *портландцементов с минеральными добавками из техногенных отходов (золошлаковых отходов, или пород шахтных отвалов, или доменных шлаков), вводимых при помоле клинкера (до 20 %) по массе вяжущего);*

– *портландцементов, относящихся к группе пуццолановых, в которых содержание золошлаковых отходов или пород шахтных отвалов допускается в количестве не менее 25 % и не более 40 % по массе вяжущего;*

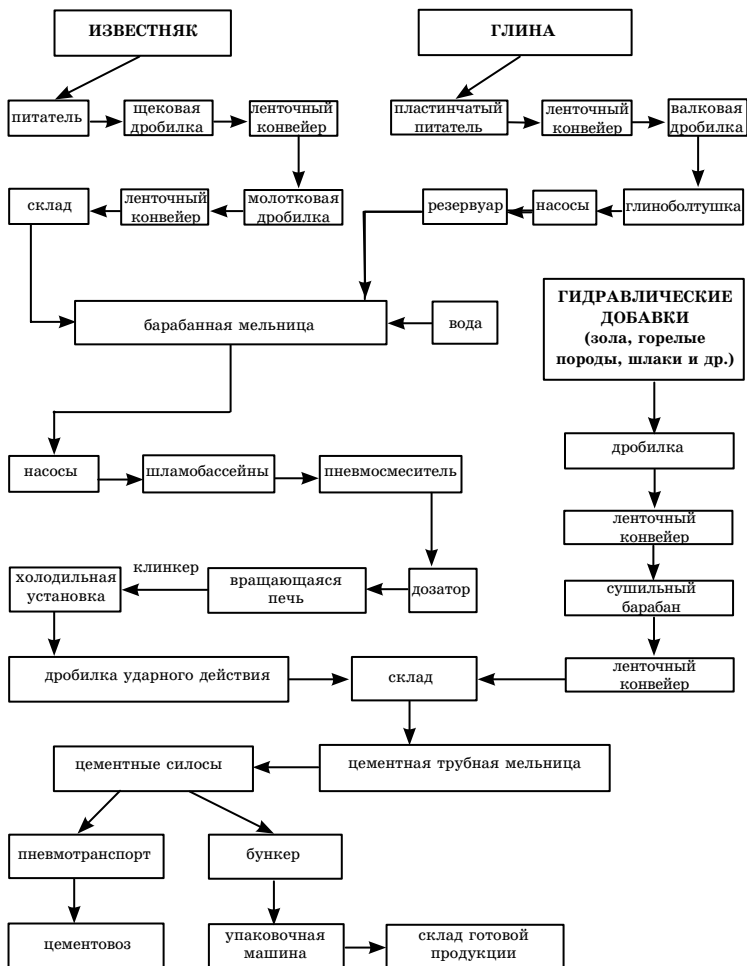
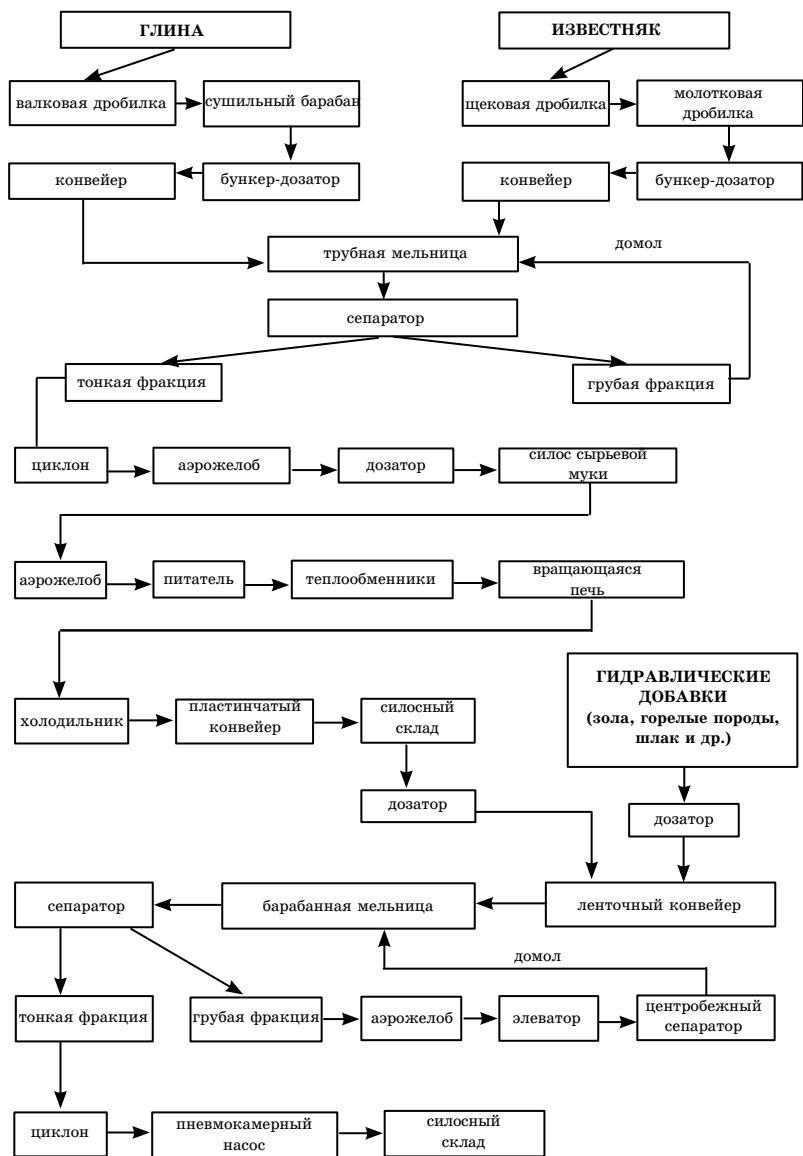


Рис. 13. Технологическая схема мокрого способа производства вяжущего



**Рис. 14.** Технологическая схема сухого способа производства вяжущего

– *цементов для строительных растворов*, содержащих не менее 40 % клинкера и не более 40 % золошлаковых материалов или горелых пород шахтных отвалов;

– *известково-зольных цементов*, состоящих из извести и активных минеральных добавок.

При *мокром способе* измельчение и перемешивание сырьевых компонентов осуществляется в присутствии определенного количества воды. Полученная таким образом сырьевая смесь в виде жидкотекучей массы (сырьевой шлам) содержит 32–45 % воды. При *сухом способе* сырьевые материалы измельчаются и перемешиваются в сухом виде. При *комбинированном* – сырьевую смесь готовят по мокрому способу, затем полученный сырьевой шлам обезвоживают (фильтруют) и полусухую массу («сухарь») подвергают грануляции и обжигу в печах.

Технологическая схема мокрого способа производства вяжущего приведена на рис. 13, сухого способа – на рис. 14.

Способ производства цемента выбирают в зависимости от технологических факторов, а также от вида и сорта топлива, предназначенного для обжига клинкера.

### ***Тонкомолотые вяжущие***

Технология приготовления вяжущих с минеральными добавками из техногенного сырья (золошлаковых отходов, горелых шахтных пород, доменных шлаков) заключается в смешивании взятых в определенных соотношениях исходного портландцементного клинкера с добавками и совместном их измельчении в мельнице с добавкой небольшого количества гипса. Возможно и смешение раздельно размолотых составляющих.

При совместном измельчении можно получить многокомпонентные цементы. Принципиально новым направлением использования суперпластификаторов является введение их в вяжущие низкой водопотребности (ВНВ) путем совместной механохимической обработки. Такие вяжущие получают путем интенсивной механохимической обработки портландцемента или его смеси

с минеральной добавкой в присутствии суперпластификатора. Последний вводят двумя способами: сухим при домоле цемента (вяжущее низкой водопотребности ВНВ) и жидким в процессе приготовления бетонной смеси (такое вяжущее условно названо тонкомолотым многокомпонентным вяжущим – ТМВ). Предпочтительность одного из этих направлений получения вяжущих зависит от свойств вводимой минеральной добавки. Дополнительные затраты электроэнергии на помол компенсируются существенным улучшением свойств строительных материалов при использовании тонкомолотых вяжущих. Полученные результаты показывают, что бетоны на основе ВНВ и ТМВ обладают повышенной прочностью, морозостойкостью, долговечностью и по технологичности отвечают современным требованиям.

Характерной чертой таких вяжущих является содержание минеральной гидравлической добавки до 50 %, дисперсность добавки (по величине удельной поверхности) – 4000–5000 см<sup>2</sup>/г. Значительное влияние на эффективность многокомпонентных цементов оказывают пластификаторы.

Вяжущее низкой водопотребности – это новое поколение гидравлических вяжущих, отличающихся от традиционного портландцемента и его разновидностей составом и технологией производства. Выделяют цементы низкой, средней и высокой водопотребности, характеризующиеся водоцементным отношением бетона стандартного конуса < 0,47; 0,47–0,52 и > 0,52.

При совместном помолу сухих компонентов происходит разрушение стекловидной оболочки вокруг зерен золы и горелой породы, разрыв структурных связей и обнажение активных центров на поверхности частиц золы и породы, способных к пуццолановой реакции, а также обеспечение более высокой степени гомогенизации всей смеси. Активность получаемого вяжущего может быть различной. Измельчение вяжущего доводилось до удельной поверхности 4500–6000 см<sup>2</sup>/г. На активность вяжущего может влиять не только тонкость помола, но и тип мельницы. При измельчении в мельницах различной конструкции достигается неодинаковая степень механохимической обработки.

Наибольшая активность достигается при использовании стержневых мельниц и дезинтеграторов.

## ***Эффективность применения техногенного сырья в технологии вяжущих веществ***

Основной предпосылкой к использованию горелых шахтных пород и золошлаковых отходов в качестве одного из компонентов в составе вяжущего, основано на их способности вступать во взаимодействие с гидроксидом кальция, образующемся при гидратации цемента.

Технология получения вяжущего с добавками горелых пород включает подготовку пород (получение заданной фракции) и последующее совместное измельчение (или раздельное с последующим смешением) с портландцементным клинкером до тонины помола цемента. Содержание горелых пород может составлять от 10 до 70 % в зависимости от проектируемой активности получаемого цемента. Экономия клинкера – от 10 до 50 %. Эта технология может быть реализована или на цементном заводе, куда будет доставлена порода, или на месте переработки породы при наличии портландцементного клинкера.

Золы сухого отбора можно использовать без дополнительно измельчения, если они имеют удельную поверхность не менее  $3500 \text{ см}^2/\text{г}$ . Дополнительное непродолжительное доизмельчение производится вместе с цементом для равномерного распределения золы в смеси и достижения ее однородности. Золошлаковые смеси предварительно следует измельчить до удельной поверхности не менее  $2000 \text{ см}^2/\text{г}$ , дальнейшее измельчение эффективнее и целесообразнее производить при совместном помоле с цементом или портландцементным клинкером.

Помол комплексного вяжущего необходимо производить до удельной поверхности  $500\text{--}700 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Дальнейшее повышение дисперсности вяжущего (свыше  $700 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) сопровождается снижением прочности образцов, что связано с ростом водопотребности теста на основе этих вяжущих.

В лабораторных условиях была доказана возможность получения вяжущих различной активности на базе горелых пород некоторых шахт (Несветаевская, им. Петровского, Октябрьская, Алмазная, № 26) угольно-промышленных районов Ростовской области. Оптимальное процентное соотношение между портландцементом и молотой горелой породой при разработке горелопо-

родных вяжущих определялось расчетно-экспериментальным путем. В табл. 45 приведены основные характеристики цементного теста из полученных вяжущих и физико-механические свойства нормального раствора состава 1 : 3 (вяжущее : песок). Испытания опытных составов тонкомолотых вяжущих проводились на образцах-балочках размером 16 × 4 × 4 см. Образцы набирали прочность в условиях нормального твердения. Физико-механические свойства вяжущих определяли по методикам ГОСТ 310.1-76, ГОСТ 310.2-76, ГОСТ 310.3-76, ГОСТ 310.4-81, ГОСТ 310.5-88, ГОСТ 310.6-85.

Таблица 45

**Физико-механические свойства тонкомолотых вяжущих из горелых пород**

Состав вяжущего, вес. % : Ц : МГП	Нормальная плотность цементного теста, %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности, МПа			
		начало	конец	на сжатие		при изгибе	
				3 сут.	28 сут.	3 сут.	28 сут.
70 : 30	29,7	3-50	5-50	20,7	41,4	4,17	5,86
60 : 40	31,2	4-00	6-10	18,6	38,9	4,08	5,37
50 : 50	33,4	4-40	6-30	16,3	35,6	3,78	4,80
100 : 0	26,3	1-35	3-50	21,8	43,7	3,97	5,92

Анализ полученных результатов показывает, что нормальная плотность цементного теста возрастает по мере увеличения в смеси горелой породы. Сроки схватывания вяжущих почти во всех случаях удлиняются. При твердении таких вяжущих первоначальный набор прочности замедляется. В возрасте 28 суток прочность смешанных вяжущих составляет 68–95 % прочности исходного цемента (контрольный состав). Экспериментальные составы вяжущих выдерживают испытания на равномерность изменения объема.

Цементный камень тонкомолотых горелопородных вяжущих отличается высокой плотностью и прочностью, по-видимому, за счет

максимального сближения частиц твердой фазы и увеличения адгезионной прочности новообразований.

Условия твердения тонкомолотых вяжущих играют важную роль в формировании структуры и, следовательно, прочности цементного камня. Длительное хранение образцов при естественной и повышенной влажности показывает, что тонкомолотые горелопородные цементы имеют наибольший прирост прочности в условиях повышенного увлажнения.

В условиях тепловлажностной обработки процессы гидратации протекают активнее и количество новообразований выше, чем при твердении тонкомолотых вяжущих в естественных условиях. На образцах, изготовленных двумя способами, экспериментально определялась активность полученных вяжущих. Первый способ – тепловлажностная обработка по режиму твердения 3 + 8 + 3 при температуре 90–95 °С, второй – 28 сут. твердения в естественных условиях. Удельная поверхность исследуемого вяжущего составляла 450 м<sup>2</sup>/кг, полученные смеси затворяли в водотвердом отношении В : Т = 0,3. Результаты эксперимента приведены в табл. 46. Активность золоцементных вяжущих приведена в табл. 47, 48. В табл. 49 приведена активность вяжущих, содержащих доменные шлаки.

Как видно из данных табл. 45 тепловлажностная обработка образцов композиций горелой породы с портландцементом повышает их прочность. Максимум прочности достигается для составов, содержащих 40–45 % породы и 60–55 % портландцемента. Наибольшая прочность при сжатии после тепловлажностной обработки – 40,4 МПа, коэффициент водостойкости – 1,17. Прочность при сжатии после 28 сут. – 38,8–39,0 МПа,  $R_{изг}$  – 5,58 МПа. Это объясняется тем, что при таком соотношении породы и портландцемента создаются более сочетаемые структурно-размерные параметры новообразований, получаемых при взаимодействии гидратированных активных минералов портландцемента и модифицированных механоактивацией менее активных компонентов в горелой породе. Прочность пропаренных образцов вяжущего превышает прочность образцов аналогичного состава, твердеющих 28 суток в естественных условиях, на 3–5 %.



Таблица 46

## Свойства тонкомолотых горелопородных вяжущих

Индекс вяжущего	Количество добавки, вес., %	Предел прочности, МПа						Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
		после пропаривания		через 28 сут. твердения на воздухе				
		R <sub>сж</sub>	% к контр. образцу	R <sub>сж</sub>	% к контр. образцу	R <sub>изг</sub>	% к контр. образцу	
V10	10	38,1	94,3	34,8	79,1	5,00	87,7	2189
V15	15	38,3	94,8	30,6	76,1	5,08	89,1	2193
V20	20	39,6	98,0	31,2	77,6	5,20	91,2	2197
V25	25	40,7	100,7	31,6	78,6	5,34	93,7	2200
V30	30	42,5	105,2	32,5	80,8	5,58	97,9	2205
V35	35	43,8	108,4	37,6	93,5	5,82	102,1	2207

Таблица 47

## Активность вяжущих с золой Новочеркасской ГРЭС

№ состава	Расход материалов, %		Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	
	цемент	зола-унос Новочеркасской ГРЭС	после пропаривания	через 28 суток
1	20	80	42,51	55,36
2	25	75	43,24	51,60
3	35	65	194,14	74,80
4	40	60	201,43	114,8
5	45	55	203,62	101,2
6	55	45	296,19	134,7
7	60	40	367,43	152,3
8	65	35	327,24	187,6

№ состава	Расход материалов, %		Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	
	цемент	зола-унос Новочеркасской ГРЭС	после пропаривания	через 28 суток
9	75	25	317,14	193,8
10	80	20	483,93	214,2

Тонкомолотые горелые породы проявляют наибольшую активность в условиях тепловлажностной обработки. Это можно объяснить проявлением физико-химической активности наряду с химической из-за чрезвычайно развитой поверхности измельченных горелых пород. Известно, что с увеличением поверхности вещества возрастают его сорбционная и химическая активность, что особенно четко проявляется у неорганических вяжущих веществ, увеличение дисперсности которых ускоряет и качественно изменяет процессы их гидратации и твердения.

Таблица 48

#### Активность вяжущих с золой Омской ТЭЦ

№ состава	Расход материалов, %		Прочность при сжатии, г/см <sup>2</sup> после пропаривания	Прочность при изгибе, кг/см <sup>2</sup> после пропаривания
	цемент	зола-унос Омской ТЭЦ-4		
1	20	80	154,97	55,42
2	25	75	234,74	73,19
3	35	65	314,86	75,76
4	40	60	290,74	100,52
5	45	55	406,86	104,38
6	55	45	532,38	102,52
7	60	40	511,43	99,33
8	65	35	442,97	79,33

№ состава	Расход материалов, %		Прочность при сжатии, г/см <sup>2</sup> после пропаривания	Прочность при изгибе, кг/см <sup>2</sup> после пропаривания
	цемент	зола-унос Омской ТЭЦ-4		
9	75	25	468,8	91,86
10	80	20	489,14	98,29

Для смешанных тонкомолотых вяжущих выявлена еще одна особенность: способность продолжать в течение длительного времени набирать прочность после достижения проектной прочности. Это можно объяснить медленным корродированием поверхности частиц горелой породы, и проникновением гидратационных процессов вглубь, и появлением дополнительных упрочняющих новообразований.

Вяжущие на основе горелых пород имеют высокую коррозионную стойкость. После длительного хранения образцов в различных температурно-влажностных условиях стальная арматура в образцах из тонкомолотых вяжущих с содержанием горелой породы в составе вяжущего до 40–50 % находится в устойчиво пассивном состоянии. Вяжущие целесообразно использовать в гидротехническом строительстве, в условиях обводненности и агрессивности среды, для подавления водопритоков. Свойства и технические характеристики активированных вяжущих отвечают требованиям ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

Таблица 49

## Активность вяжущих с доменными шлаками

№ состава	Расход материалов, %		Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup> после пропаривания	Прочность при изгибе, кг/см <sup>2</sup> после пропаривания
	цемент	молотый доменный шлак (Красный Сулин)		
1	20	80	265,4	43,35

№ состава	Расход материалов, %		Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup> после пропаривания	Прочность при изгибе, кг/см <sup>2</sup> после пропаривания
	цемент	молотый до- менный шлак (Красный Сулин)		
2	25	75	308,57	70,19
3	35	65	388,76	63,90
4	40	60	402,57	63,04
5	45	55	402,87	85,67
6	55	45	502,63	107,05
7	60	40	393,7	80,3
8	65	35	354,48	120,57
9	75	25	420,57	114,85
10	80	20	408,0	104,1

### ***Испытание тонкомолотых вяжущих в бетонах***

При испытании вяжущих с минеральной добавкой из горелых пород в бетонах было установлено, что все виды экспериментальных бетонов по прочности и другим физико-механическим свойствам не уступают бетону контрольного состава или превосходят его. Кроме того, присутствие горелых пород в составе вяжущих придает им дополнительные свойства: жаростойкость, щелоче- и кислотостойкость, пониженное тепловыделение при гидратации.

Выполненные исследования по оценке активности минеральных добавок из горелых пород и полученные положительные результаты по испытанию активированных вяжущих являются основанием для заключения о пригодности горелых пород изучаемого отвала к использованию в технологии производства тонкомолотых вяжущих веществ. Введение суперпластификаторов при приготовлении тонкомолотых вяжущих существенно улучшает

их свойства, и использование таких вяжущих позволит получать экономичные бетоны с повышенными строительно-техническими свойствами.

В соответствии с программой работ были проведены исследования тонкомолотых малоклинкерных вяжущих веществ с добавками из горелых пород изучаемого отвала с использованием различных заполнителей. В табл. 50 приведены характеристики бетонов на малоклинкерном вяжущем, содержащем добавку портландцемента в количестве 40 %. Тонкость помола вяжущего по остатку на сите № 008 составляла 7,8 %, активность – 40,2 МПа.

Таблица 50

**Составы бетонов на вяжущем с минеральной добавкой  
из горелых пород**

№ состава	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				В/Ц	Под- виж- ность ОК, см	Плот- ность, кг/м <sup>3</sup>
	вяжу- щее	песок	щебень	вода			
<b>На песке и щебне из горелых пород</b>							
К <sub>1</sub>	450	570	1210	247	0,55	12	2230
1	450	570	1210	288	0,64	12	2230
<b>На песке и щебне из природного камня</b>							
К <sub>2</sub>	450	570	1210	203	0,45	12	2230
2	450	570	1210	234	0,52	12	2230

В табл. 50 в составах № К<sub>1</sub> и № 1 в качестве заполнителей (щебня и песка) использованы щебень и отсеv, полученные из горелых пород шахтного отвала после двух стадий дробления. В составах К<sub>2</sub> и № 2 – песок Миллеровского, щебень Жирновского карьера. В составах К<sub>1</sub> и К<sub>2</sub> – в качестве вяжущего использован портландцемент марки 400. Составы К<sub>1</sub> и К<sub>2</sub> являются контрольными. В табл. 51 приводятся свойства бетонов, составы которых даны в табл. 50.

**Свойства бетонов на вяжущем  
с минеральной добавкой  
из горелых пород**

№ состава	Прочность бетона на сжатие, МПа		Марка бетона	Водопогло- щение, %	Морозо- стойкость (марка)
	после ТВО	в возрасте 28 сут.			
<b>На песке и щебне из горелых пород</b>					
К <sub>1</sub>	29,7	31,2	М300	5,7	F100
1	31,2	34,8	М300	3,5	F100
<b>На песке и щебне из природного камня</b>					
К <sub>2</sub>	28,8	30,8	М300	5,2	F100
2	30,3	33,6	М300	3,7	F100

Анализ полученных результатов показывает, что бетоны на вяжущих с минеральной добавкой из горелой породы по прочности не уступают бетону контрольного состава и даже превосходят его.

Это связано с тем, что в случае использования тонкомолотых вяжущих существенно увеличиваются количество и площади контактов между зернами вяжущего и заполнителя. В результате повышается плотность бетона, улучшаются его прочностные свойства и другие характеристики. Положительную роль в формировании структуры бетона оказывает также наличие в составе заполнителей из горелых пород активных компонентов, способных участвовать в реакциях с известью цемента и давать цементирующие вещества.

В процессе гидратационного твердения горелопородных вяжущих формируется тонкодисперсная и тонкопористая структура, обеспечивающая получение материалов с прочностью, превосходящей прочность бетонов на портландцементе.

Вяжущие с минеральной добавкой из горелых пород отличаются высокой коррозионной стойкостью и обладают способностью

в условиях повышенной влажности в течение длительного времени продолжать набирать прочность после достижения проектной. Их целесообразно применять в гидротехническом, шахтном строительстве, в условиях обводненности и агрессивности среды, для подавления водопритокков (тампонажные работы).

### ***Горелые породы – компонент шихты для цементного клинкера***

Горелые породы, отходы углеобогащения и золошлаковые смеси, содержащие 20–30 % глинозема, вводятся в качестве добавки в сырьевую смесь для получения клинкера. Отходы вводятся в состав сырьевой шихты для регулирования минерального состава клинкера. Исследуемые отходы вносят в состав клинкера необходимые компоненты: кремнезем, глинозем, оксиды железа и титана. Количество отходов в составе шихты зависит от состава используемых основных компонентов и свойств отходов и может достигать 30–40 %. Из рекомендуемых углеотходов наименьших затрат на подготовку требуют шламы углеобогащения, затраты на их измельчение меньше в 1,5–2,0 раза, состав их более стабилен, и содержание топливной составляющей выше, чем у отходов угледобычи.

В одной из серий экспериментов горелые породы вводили в состав сырьевой смеси вместо природного песка. Содержание горелых пород в составе смеси изменялось в пределах 9,0–12,0 %. Горелые породы по химическому составу близки к глинистому сырью. Поэтому в другой серии эксперимента горелые породы исследуемого отвала вводили в состав сырьевой смеси для цементного клинкера в качестве глинисто-кремнеземно-железистого компонента, заменяя глину и природный песок. Известняк и предварительно подготовленные горелые породы совместно измельчали, затем смешивали с измельченными огарками. Из смеси формовали гранулы, которые потом обжигали в муфельной печи. Температура обжига – 1250–1300 °С.

Составы контрольной смеси и экспериментальной, содержащей горелые породы, приведены в табл. 52.

Таблица 52

## Составы сырьевых смесей для цементного клинкера

№ смеси	Состав, %				
	известняк	глина	природный песок	горелая порода	огарки
1	76,75	6,97	12,90	—	3,37
2	76,95	7,65	—	11,50	3,90
3	76,60	—	—	20,18	3,22

Результаты расчета химического состава опытных смесей и клинкера приведены в табл. 53.

Таблица 53

## Химический состав сырьевой смеси и клинкера

Наименование	Содержание, %							
	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>	п.п.п.	Σ
<b>Состав № 2:</b> сырьевая смесь клинкер	13,93	3,85	2,87	44,68	0,69	0,47	33,51	100,00
	20,95	5,79	4,32	67,20	1,04	0,71	—	100,00
<b>Состав № 3:</b> сырьевая смесь клинкер	13,43	4,25	2,81	43,35	0,71	0,33	35,12	100,00
	20,70	6,55	4,33	66,80	1,10	0,52	—	100,00

По данным лабораторных исследований при замене природного песка и глины кремнеземистыми горелыми шахтными породами реакционная способность смесей с одинаковой дисперсностью практически не изменяется, а при равном времени измельчения в результате более тонкого помола смеси с кремнеземистыми горелыми породами температура обжига снижается на 50 °С, клинкер лучше размалывается, его активность возрастает на 3–4 МПа. Повышение активности клинкера объясняется более равномерной мелкокристаллической микроструктурой, формирование которой



обусловлено наличием в сырьевой смеси тонкодисперсного кремнеземистого компонента.

Полученные вяжущие были испытаны по методикам ГОСТ 310.1-6. Активность цементов из клинкера, полученного с использованием горелых пород, увеличилась в среднем с 51,3 до 53,6 МПа. Она повышается при сохранении нормальных сроков схватывания и густоты цементного теста. Полученные вяжущие способны набирать прочность как в условиях нормального твердения, так и при тепловлажностной обработке. Сравнительные свойства цементов приведены в табл. 54.

Оптимальная величина добавки в сырьевую смесь для изготовления цемента определяется экспериментально в зависимости от состава и активности добавки и других компонентов смеси.

Таблица 54

#### Прочностные характеристики цементов

Вяжущее	Предел прочности, МПа							
	при изгибе		при сжатии		при изгибе		при сжатии	
	Нормальное твердение				Пропаривание			
	3 сут.	28 сут.	3 сут.	28 сут.	3 сут.	28 сут.	3 сут.	28 сут.
<b>Цемент:</b>								
обычный	4,72	6,65	28,77	51,30	5,20	5,78	31,43	45,81
опытный № 2	4,90	6,70	30,85	53,60	5,60	6,25	35,55	47,05
опытный № 3	5,02	6,83	31,15	54,75	6,00	7,48	37,15	50,37

Введение в цемент горелых пород повышает его водоудерживающую способность, не снижает механических показателей в процессе длительного твердения в нормальных условиях и после тепловлажностной обработки, снижает усадочные деформации и расход электроэнергии на помол клинкера. Установлено, что введение в состав смеси добавки горелой породы повышает количество волокнистых гидросиликатов кальция и уменьшает содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Положительную роль при обжиге играет присутствие в горелых породах углистых модификаций. Применение в составе сырьевой смеси углесодержащих добавок способствует термохимической активации процесса минералообразования при обжиге клинкера. Большая часть элементов, которые присутствуют в отходах угледобычи, может быть использована при обжиге портландцементного клинкера в качестве катализаторов и модификаторов структуры основных его минералов. При использовании отходов угледобычи в технологии портландцемента необходимо учитывать тип породы (песчаные, глинистые, карбонатные), составляющие основную массу материала.

Следует отметить, что минералы, образующиеся при обжиге смеси, содержащей отходы угледобычи, легче измельчаются. Свойства цементов, содержащих горелые породы, золошлаковые смеси сопоставимы со свойствами традиционного портландцемента. Эти цементы при правильном хранении дольше, чем обычные, сохраняют активность.

# 7 КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

Керамические изделия относятся к самым древним строительным материалам. Однако и в наши дни из кирпича и строительных камней возводятся более 50 % всех гражданских и производственных зданий. Несмотря на увеличение выпуска изделий из сборного железобетона, изделий из пластмасс, керамические материалы и изделия будут применяться наравне со стеновыми, отделочными, кровельными материалами, а также материалами специального назначения.

Благодаря огнестойкости и большой долговечности кирпича стены зданий и сооружений из него имеют преимущества перед стенами из дерева, бетона, шлакоблоков и других материалов. Использование долговечных и выразительных отделочных материалов из керамики способствует улучшению архитектурного облика зданий и позволяет снизить затраты по их эксплуатации.

В последнее время заметно возросли темпы строительства, как гражданского, так и промышленного, и возросла потребность в строительном кирпиче. На рынке строительных материалов представлен широкий ассортимент подобной продукции. Одержатъ победу в конкурентной борьбе может продукция с высокими потребительскими свойствами при сравнительно невысокой стоимости.

Решить эти две задачи – *улучшить качество и снизить затраты на производство строительного кирпича (сократить стоимость)* – можно за счет использования отходов добычи и сжигания углей – шахтных пород и золошлаковых отходов.

Экономическая и экологическая целесообразность массового использования отходов угледобычи и углеобогащения, золы ТЭС, золошлаковых смесей при производстве керамических стеновых материалов в качестве основного сырья и корректирующих добавок обуславливает исключительную актуальность и народнохозяйственную значимость этой проблемы.

Большинство отходов золошлаковых и шахтных отвалов по количеству содержащегося в них минерального сырья, по составу и свойствам складированных пород представляют собой техногенные месторождения, а техногенные массы (золошлаки и породы), накопившиеся в отвалах, по свойствам близки к природному минеральному сырью, используемому в промышленности строительных материалов.

Специфические особенности золошлаковых отходов и шахтных пород – близость вещественного состава к глинистому сырью, дисперсность, наличие остаточного углерода, который может быть использован в процессе обжига – создают предпосылки для широкого использования этих отходов при изготовлении керамических стеновых материалов. Использование углеотходов в качестве технологической добавки позволяет улучшить технологические свойства шихты на основе местного глинистого сырья и корректировать физико-механические свойства керамических стеновых материалов.

Имеющийся научно-производственный опыт по использованию углеотходов в производстве строительных материалов дает основание для предпосылки о технической возможности и экономической целесообразности применения золошлаковых отходов и шахтных пород в технологии керамического кирпича.

Широкомасштабное использование углеотходов сдерживается в основном из-за низкой организации поставок потребителям данного сырья, отвечающего требованиям по грансоставу, влажности, отсутствия технических условий на их применение с учетом химического состава, неоднородности.

Использование золошлаковых отходов и шахтных пород в качестве отощающей и топливосодержащей добавки в производстве кирпича позволит заменить часть глинистого сырья, расширить сырьевую базу керамической промышленности, решить некоторые экологические аспекты охраны окружающей среды.

При разработке технологии изготовления керамического кирпича на основе техногенных отходов в качестве глинистого сырья использовались глины Октябрьского II месторождения Шахтинского промышленного района Ростовской области.

Характеристика глинистого сырья

*Макроскопическое описание глины* дано на основании внешнего осмотра пробы в воздушно-сухом состоянии. Глинистое сырье Октябрьского II месторождения – желтовато-бурые суглинки, характеризующиеся однородностью, – имеет карбонатные включения в тонкозернистом состоянии, а также редкие кварцевые гальки, единичные гипсовые включения, растительные остатки. Наличие карбонатных включений подтверждается вскипанием глинистого сырья от воздействия 10 % раствора соляной кислоты.

*Химический состав глины* представлен в основном оксидами кремния, алюминия, железа и кальция. Результаты определения химического состава глинистого сырья приведены в табл. 55. По содержанию  $Al_2O_3$  в пересчете на прокаленное вещество исследуемая глина относится к кислому глинистому сырью, по содержанию красящих оксидов к сырью с высоким содержанием красящих оксидов ( $Fe_2O_3 + TiO_2$ ).

В составе глины присутствует свободный кварц. Минеральная часть глинистой породы представлена монтмориллонито-гидро-слюдистой составляющей с незначительной примесью каолинита и хлорита.

Исследуемая глина характеризуется высоким содержанием *водорастворимых солей*. Результаты определения состава водорастворимых солей приведены в табл. 56.

Результаты определения засоренности крупными включениями приведены в табл. 57. Содержание карбонатных включений более 1 мм составляет 0,0087 %.

**Химический состав (вес. %) глинистого сырья  
Октябрьского II месторождения**

Влага гигрос- копчес- кая, %	Потери при про- калива- нии, %	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub> общ.	Сумма
3,07	8,71	58,85	11,42	4,65	7,92	2,89	0,76	0,35	2,29	1,36	0,25	99,45

**Содержание водорастворимых солей в глинистом сырье  
Октябрьского II месторождения**

pH	Содержание анионов и катионов в 100 г воздушно-сухого вещества, мг-экв.							Содержание водораствори- мых солей на 100 г глины, мг-экв.	Классифика- ция	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>--</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>			Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>
7,6	н/о	н/о	0,55	0,15	7,62	3,7	2,10	2,52	16,64	С ВЫСОКИМ содержани- ем водораств- воримых солей

Таблица 57

## Содержание крупнозернистых включений

Засоренность крупными включениями						Описание включений	Вид преобладающих включений	Классификация
остатки на ситах, %								
размеры сит, мм								
5	3	2	1	0,5	сумма	Друзы гипса, карбонаты, песок, органика, растительные остатки	Карбонатные включения, песок	С низким содержанием, со средними включениями
0,016	0,023	0,007	0,006	0,001	0,053			

По степени пластичности испытываемая глина относится к группе среднепластичного глинистого сырья. Результаты определения его пластичности приведены в табл. 58.

Таблица 58

## Пластичность глины

Пределы пластичности, %		Число пластичности, %	Наименование группы
верхний (граница текучести)	нижний (граница раскатывания)		
33,2	18,2	15,0	умеренно-пластичная

По степени дисперсности исследуемые глины относятся к низкодисперсному глинистому сырью. Результаты определения гранулометрического состава глины приведены в табл. 59.

## Гранулометрический состав глины

Содержание частиц ( %) размером, мм						Классификация
1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,001–0,005	< 0,001	
0,17	3,87	44,14	8,120	18,15	25,20	низко-дисперсная

*Чувствительность глинистого сырья к сушке* определяется по формуле:

$$k_{\text{ч}} = w_{\text{н}} - w_{\text{к}}/w_{\text{к}},$$

где  $w_{\text{н}}$  – начальная влажность в абсолютном значении, %;

$w_{\text{к}}$  – критическая влажность в абсолютном значении, %.

Значение критической влажности определяли графическим способом (рис. 15) на основании данных определения объемной усадки и абсолютной влажности образцов.

$k_{\text{ч}} = 4,38$ . По степени чувствительности к сушке данная глина относится к высокочувствительной.

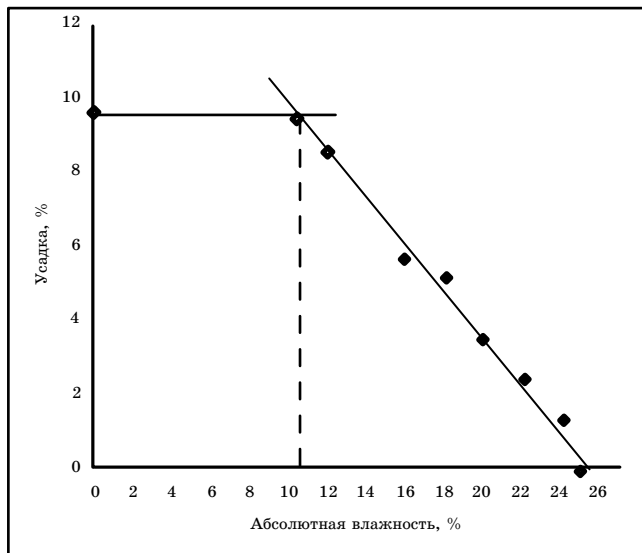
*По огнеупорности исследуемая глина* относится к легкоплавкому глинистому сырью. При температуре выше 1100 °С образцы-конусы из глинистого сырья начинают размягчаться, деформироваться и оплавляться.

Результаты определения *спекаемости глинистого сырья* приведены в табл. 60.

Спекание, характеризующееся плотной структурой черепка с пористостью менее 5,0 % и отсутствием деформации образцов-плиточек, для данного глинистого сырья не достигается. Исследуемая глина относится к группе неспекающегося глинистого сырья.

*Формовочная влажность* – количество воды, необходимое для придания глине нормальной рабочей консистенции, при которой





**Рис. 15.** Графический способ определения критической влажности глин по методу А. Ф. Чижского

Таблица 60

**Спекаемость глинистого сырья**

Температура обжига, °С	Водопоглощение, %	Общая линейная усадка, %	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	Классификация
900	13,55	9,62	1810	неспекающееся глинистое сырье
950	13,33	9,78	1840	
1000	13,76	9,92	1880	
1050	14,45	10,0	1830	
1100	14,87	9,96	1850	
1150	образцы оплавившись			

глиняное тесто, проявляя пластические и формовочные свойства, сохраняет без деформации приданную форму и при раскатывании не прилипает к рукам и металлу. Формовочная влажность исследуемой глины – в пределах 17,5–18,5 %. Формовочная способность удовлетворительная.

*Связность глинистого сырья* оценивали по пределам прочности при сжатии и изгибе образцов, отформованных пластическим способом из теста формовочной влажности и высушенных при температуре 105–110 °С .

Прочность при сжатии кубиков 50 × 50 × 50 мм – 15,85 МПа % (158,5 кг/см<sup>2</sup>). Прочность при изгибе балочек 160 × 40 × 40 мм – 6,76 МПа (67,6 кг/см<sup>2</sup>).

По величине механической прочности испытываемое глинистое сырье относится группе со средней механической прочностью.

Обобщенная характеристика глинистого сырья приведена в табл. 61.

Таблица 61

### Показатели свойств глинистого сырья

Наименование показателя	Значение показателя
<b>Классификация по:</b>	
хим. составу (основные оксиды), %	
содержанию Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> в прокаленном состоянии;	Кислое;
содержанию красящих оксидов, %;	С высоким содержанием
содержанию водорастворимых солей;	» »
минеральному составу;	Монтмориллонито-гидро- слистое
содержанию тонкодисперсных фракций	Низкодисперсное

Наименование показателя	Значение показателя
содержанию крупнозернистых включений	Со средним содержанием крупнозернистых включений
пластичности (число пластичности)	Умереннопластичная (15,0 %)
механической прочности, МПа;	Со средней механической прочностью по прочности на изгиб: $R_{изг} = 6,76$ МПа; $R_{сж} = 15,75$ МПа
отношению к сушке (степень чувствительности к сушке);	Высокочувствительная (чувст. глин к сушке по методу Чижевского = 60–67 с); Кoeffициент чувствительности – $K_q = 4,4$
формовочной способности	Формовочная влажность – 17,5–18,5 % (формовочная способность удовлетворительная)
огнеупорности	Легкоплавкое (менее 1150 °С)
спекаемости	Неспекающееся (водопоглощение – 13,3–14,9 %); общая линейная усадка – 9,6–10,0 %
Прочность образцов-кубов при температуре обжига 1000–1050 °С (пластическое прессование)	Прочность при сжатии – 25,2–35,8 МПа; при изгибе – 16,4–20,7 МПа
Общая усадка при температуре обжига 1000–1050 °С (пластическое прессование)	10,0–10,18 %
Водопоглощение при температуре обжига 1000–1050 °С (пластическое прессование)	12,3–12,5 %

## Непластичные материалы

В качестве добавочных непластичных материалов были использованы золы Артемовской ГРЭС, золошлаковые отходы Новочеркасской ГРЭС, горелые и негорелые породы шахтных отвалов.

### *Показатели свойств отсевов дробления негорелых пород (отвал шахты «Мирная»)*

*Основные показатели качества отсевов дробления:*

Модуль крупности	2,99–3,02
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1320–1350
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,87–2,88
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	2,10–2,78
Содержание глины в комках, %	нет
Содержание глинистых частиц (метод набухания), %	1,27–1,33
Марка по морозостойкости щебеночной фракции, не менее	F50
Коэффициент фильтрации, м/сут.	0,33–1,69
Содержание сульфатных и сульфидных примесей в пересчете на SO <sub>3</sub> , %	1,41–1,95
Потери при прокаливании, %	4,85–5,35
Содержание щебеночной фракции 5–10 мм, %	3,27–3,87
Марка по прочности щебеночной фракции	600, 800, 1000
Класс материалов по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов	I

### *Показатели свойств отсевов дробления горелых пород (отвал шахты «Глубокая»)*

*Основные показатели качества отсевов дробления:*

Модуль крупности	2,5–3,2
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1110–1115
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,60–2,68
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	1,58–1,65

Содержание глины в комках, %	нет
Содержание глинистых частиц (метод набухания), %	1,25–1,30
Марка по морозостойкости щебеночной фракции, не менее	F25
Коэффициент фильтрации, м/сут.	6,8–7,32
Содержание сульфатных и сульфидных примесей в пересчете на SO <sub>3</sub> , %	3,00
Потери при прокаливании, %	4,5–5,1
Содержание щебеночной фракции 5–10 мм, %	25–30
Марка по прочности щебеночной фракции	800
Класс материалов по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов	I

***Показатели свойств золошлаковых отходов  
(золоотвал Артемовской ГРЭС)***

*Основные показатели качества:*

Модуль крупности	1,2–1,5
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	900–1300
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,64–2,70
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,02–0,05
Содержание глины в комках, %	нет
Марка по морозостойкости щебеночной фракции, не менее	F25
Коэффициент фильтрации, м/сут.	5,25–5,70
Содержание сульфатных и сульфидных примесей в пересчете на SO <sub>3</sub> , %	2,33
Потери при прокаливании, %	5,25–8,95
Содержание щебеночной фракции 5–10 мм, %	15–22
Марка по прочности щебеночной фракции	400
Класс материалов по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов	I

**Показатели свойств золошлаковых отходов  
(отвал Новочеркасской ГРЭС)**

*Основные показатели качества:*

Модуль крупности	2,0–3,0
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1100–1600
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,75–2,74
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	0,02–0,05
Содержание глины в комках, %	нет
Марка по морозостойкости щебеночной фракции, не менее	F50
Коэффициент фильтрации, м/сут.	7,76–8,55
Содержание сульфатных и сульфидных примесей в пересчете на SO <sub>3</sub> , %	2,56
Потери при прокаливании, %	4,00–11,10
Содержание щебеночной фракции 5–10 мм, %	25–30
Марка по прочности щебеночной фракции	800
Класс материалов по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов	I

***Требования к техногенному сырью, применяемому  
в производстве изделий строительной керамики***

Единых нормативов по качеству техногенного сырья не создано. Так, например, качество используемых золошлаковых отходов регламентировано государственными стандартами и техническими условиями только для отдельных направлений использования (например, для бетонов). Оценка производится на основе нестандартизированных требований или путем испытания опытных образцов.

Золошлаковую смесь по крупности разделяют на две группы:

– среднезернистые – выход частиц крупнее 0,25 мм – более 75 %;

– мелкозернистые (пылеватые) – выход частиц крупнее 0,25 мм менее 75 % по массе.

Отсевы дробления пород разделяют на первичный и отсеvy после I, II и других (если стадий дробления больше двух) дробления. С каждой последующей стадией дробления крупность отсеvов по зерновому составу возрастает.

По плавкости золошлаковые отходы и шахтные породы разделяют на три группы:

– легкоплавкие с температурой размягчения до 1200 °С;

– средней плавкости с температурой размягчения 1200–1400 °С;

– тугоплавкие с температурой размягчения выше 1400 °С.

При производстве керамических изделий в первую очередь рекомендуется использовать легкоплавкое техногенное сырье.

По содержанию топлива золошлаки и шахтные породы разделяют на две группы: с содержанием горючей части до 10 % по массе и от 10 % и более.

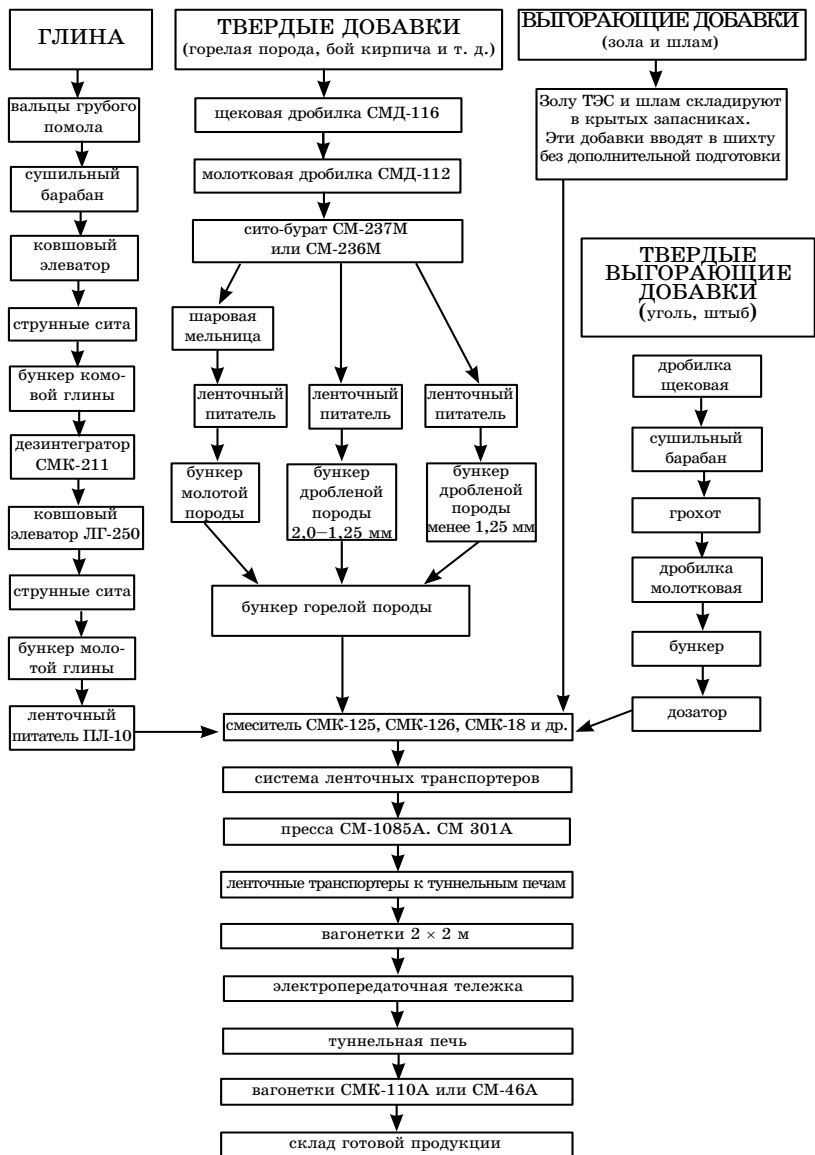
Отходы, содержащие до 10 % топлива, целесообразно использовать в основном как отощающую добавку, а содержащие 10 % и более – в качестве топливосодержащей добавки.

При использовании золошлаковых отходов и пород, содержащих до 10 % горючих частиц, рекомендуется применять их с температурой размягчения не выше огнеупорности исходного глинистого сырья.

При содержании в золошлаковых отходах и породах более 10 % горючих частиц в шихту для производства керамических изделий можно не вводить технологическое топливо.

Количество серы в пересчете на SO<sub>3</sub> в отходах не должно превышать 3,0 %.

Влажность отгружаемой золошлаковой смеси и отсеvов дробления шахтных пород должна быть не более 15 %. Допускается по согласованию поставщика с потребителем поставка отходов с большей влажностью.



**Рис. 16.** Технологическая схема производства керамического кирпича пластического формования



## ***Технология керамического кирпича***

В данном разделе приведены сведения по результатам разработки технологии керамического кирпича в лабораторных условиях и испытаний подобранных составов и технологических приемов в условиях производства.

Технология керамического кирпича и камня включает следующие операции: подготовка исходных компонентов шихты, приготовление шихты, формование изделий, сушка кирпича-сырца и камня, обжиг и разбраковка изделий, складирование и отгрузка потребителю. Технологическая схема производства керамического кирпича приведена на рис. 16.

### ***Подготовка сырьевых компонентов керамической массы***

#### **Обработка глины**

Подготовка глинистого сырья в лабораторных условиях проводилась сухим способом, включающим дробление, помол подсушенной глины и просеивание через сито с размером отверстий 1 мм. Выход фракции менее 1 мм составляет 85 %.

Влажность исходной глины не превышала 3 %.

Подготовка золошлаковых отходов и шахтных пород

Наиболее простым и достаточно эффективным способом усреднения гидроотвальных золошлаковых смесей является многократная перевалка. Усреднение происходит в процессе заготовки золошлаковой смеси на гидроотвалах в конусы, где она подсыхает до влажности 20–25 %, а затем грузится в вагоны или автосамосвалы и после доставки к месту потребления разгружается на складе под навесом. В результате выполненных операций повышается однородность зернового состава золошлаковых отходов, уменьшается пыление при транспортировке и смерзание в зимний период.

Окончательная подготовка заключалась в подсушивании и просеивании через сито с размером отверстий 1 мм. Удельная поверхность золошлаковой смеси 2000–2500 см<sup>2</sup>/г.

Влажность золошлаковой смеси – 1–2 %.

В золошлаковой смеси содержание частиц составляет (%):

- размером 0,25–0,05 мм – 17,6;
- размером 0,05–0,01мм – 62,8;
- размером 0,01–0,005 мм – 11,8;
- размером 0,005–0,001 мм – 8,1.

Показатели неоднородности состава шахтных пород выше неоднородности природного полиминерального сырья. Следовательно, применению шахтных пород в стройиндустрии должна предшествовать предварительная подготовка, направленная преимущественно на усреднение и гомогенизацию до уровня минерального сырья. Одна из задач подготовки пород – достижение их усреднения по составу и свойствам. Это осуществляется при перемешивании, грохочении, дроблении, сортировке. Практически на всех стадиях происходит разрушение и отделение малообожженных, углистых, слабых по прочности пород и других засоряющих примесей. Поэтому, чем большему количеству технологических переделов подвергается исходная порода, тем качественнее продукция получается на выходе (на заключительной стадии).

На некоторых шахтных отвалах (отвал б/ш «Майская»; отвал № 2 и № 7 б/ш «Глубокая»; отвал б/ш им. Воровского) работают дробильно-сортировочные комплексы по переработке пород шахтных отвалов на заполнители. Переработка пород включает: предварительное грохочение – отбор мелочи пред первичным дроблением; дробление пород (несколько стадий) с поверочным и окончательным грохочением. В результате такой переработки получается кондиционная продукция: фракционированные заполнители – щебень, песок из отсевов дробления и щебеночно-песчаные смеси.

В составах керамических масс целесообразно использовать отсевы дробления пород (после первой или второй стадии дробления), а также прямой отсев, получаемый после предварительного грохочения.

Подготовка отсевов дробления горелой породы включала подбор заданного гранулометрического состава.

Зерновой состав дробленой породы для технологии пластического прессования:

- частиц размером 2–0,5 мм – 50, 0 %;
- частиц размером менее 0, 5 мм – 45,0 %;
- частиц свыше 2 мм – 5,0 %.

### Составы опытных керамических масс

Содержание золошлаковой смеси и горелых пород в опытных составах керамических масс изменялась в пределах 10–30 %.

Золошлаковые смеси в составе керамических масс использовались в основном как топливосодержащая добавка и добавка, улучшающая гранулометрический состав шихты и оказывающая пластифицирующий эффект.

Горелые шахтные породы использовались в основном как отощающая добавка, влияющая на сушильные свойства керамической массы.

В зависимости от свойств глинистого сырья, количество вводимых добавок может составлять свыше 30 и до 40 %.

Составы опытных керамических масс приведены в табл. 62.

Таблица 62

#### Составы экспериментальных керамических масс

Номер состава	Содержание компонентов шихты, вес. %		
	Глина Октябрьского II месторождения	Золошлаковая смесь	Отсев горелой породы
<i>Пластическое прессование</i>			
1	62	20	18
2	65	18	17
3	67	15	17
4	69	17	14
<i>Полусухое прессование</i>			
5	55	20	25

В лабораторных условиях были испытаны также составы керамических масс для образцов на основе глины Родионово-Несветаевского месторождения.

Глины Родионово-Несветаевского месторождения сложены делювиальными желто-бурыми глинами четвертичного возраста. Они относятся к дисперсному (содержание частиц менее 0,001 мм – 31,4–39,2 %), среднепластичному (число пластичности – 15,0–21,1 %) сырью с низким содержанием включений 0,5 мм (0,04–0,85 %).

Химический состав глин, вес. %:

$\text{SiO}_2$  – 55,37–57,71;  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  – 12,16–14,86;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$  – 4,72–5,40;  $\text{CaO}$  – 7,91–9,69;  $\text{MgO}$  – 1,96–2,45;  $\text{SO}_3$  – 0,17–3,50; потери при прокаливании – 8,35–10,83.

По химическому составу глины классифицируются как кислые, легкоплавкие с высоким содержанием красящих окислов.

Технологические параметры сушки и обжига образцов такие же, как и при испытании составов с глиной Октябрьского II месторождения. Давление прессования для образцов полусухого прессования составляло 300 кг/см<sup>2</sup>, максимальная температура обжига – 980 °С.

Составы опытных керамических масс приведены в табл. 63.

Таблица 63

**Составы опытных керамических масс**

Номер состава	Содержание компонентов шихты, вес. %		
	Глина (Родионово-Несветаевское месторождение)	Золошлаковая смесь	Отсев горелой породы
<i>Пластическое прессование</i>			
6	70	15	15
7	65	15	20
8	60	22	18
<i>Полусухое прессование</i>			
9	60	22	18
10	65	20	15

### *Формование опытных образцов*

Измельченную глину и подготовленные соответствующим образом добавки (золошлаковую смесь и отсев горелой породы) смешивали в заданных соотношениях, затворяли водой до формовочной влажности по технологии пластического прессования, обрабатывали на лабораторных вальцах, после суточного вылеживания глиномассы формовали образцы. Из подготовленных керамических масс формовали:

– кубики размером  $50 \times 50 \times 50$  мм – для определения предела прочности при сжатии после обжига, объемной массы, плотности и морозостойкости;

– балочки размером  $160 \times 40 \times 40$  мм – для определения прочности при изгибе;

– плиточки размером  $5 \times 2,5 \times 1$  мм – для определения водопоглощения, воздушной и общей усадок;

– образцы-цилиндры размером  $50 \times 50$  мм – для определения предела прочности при сжатии после обжига, объемной массы, плотности и морозостойкости составов керамических масс полусухого прессования.

Чувствительность глиномасс к сушке определяли по методу А. Ф. Чижского.

### *Сушка опытных образцов*

Сушку отформованных образцов проводили в естественных условиях на деревянных стеллажах при температуре окружающей среды  $22-25$  °С. В начальный период сушки образцы покрывали влажной тканью.

Досушивали образцы в сушильном шкафу при температуре  $40$  °С. Остаточная влажность после сушки –  $4-5$  вес. %.

Фиксировали все изменения, происходящие при сушке, измеряли воздушную линейную усадку образцов.

Результаты физико-механических свойств опытных керамических масс приведены в табл. 64.

**Физико-механические свойства опытных  
керамических масс после сушки**

Номер состава	Формовочная влажность, %	Коэффициент чувствитель- ности к сушке	Воздушная ли- нейная усадка, %	Дефекты после сушки	
				кубики	балочки
1	17,9	1,25	5,6	видимых дефектов нет	видимых дефектов нет
2	18,3	1,42	5,8	» »	» »
3	18,7	1,53	6,3	» »	» »
4	18,7	1,80	7,0	единичные волосяные поперечные трещины	» »
5	6,7	1,17	2,2	видимых дефектов нет	видимых дефектов нет
6	18,1	2,07	4,3	» »	» »
7	17,9	1,93	4,0	» »	» »
8	17,8	1,77	4,0	» »	» »
9	7,1	1,48	2,2	единичные волосяные поперечные трещины	единичные волосяные поперечные трещины
10	8,3	1,67	2,3	» »	» »

*Обжиг опытных образцов*

Обжиг опытных образцов проводили в камерной муфельной печи типа СНОЛ с выдержкой при максимальной температуре 970–980 °С в течение 2-х часов.

Температуру контролировали платино-платинородиевой термопарой.

Режим обжига был следующим:

- подъем температуры от 20 до 850 °С со скоростью 3 °С в минуту;
- от 850 °С до максимальной температуры – 1 °С в минуту;
- охлаждение от максимальной температуры до 50 °С – 16 часов.

В обжиг были направлены бездефектные лабораторные образцы.

### 6.3. Физико-механические испытания опытных образцов

После обжига лабораторные опытные образцы подвергали внешнему осмотру, определяли общую линейную усадку, водопоглощение, механическую прочность, объемную массу, морозостойкость. Испытания на морозостойкость проводили для образцов состава № 1–4, прошедших обжиг при температуре 970 °С, для составов № 5–10 – после обжига при температуре 980 °С.

Результаты физико-механических испытаний опытных образцов приведены в табл. 65 и 66.

*Таблица 65*

#### Физико-механические свойства опытных составов керамических масс после обжига

Номер состава	Температура обжига, °С	Усадка общая, %	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, вес., %	Предел прочности, МПа		Морозостойкость, количество циклов	Примечание
					при сжатии	при изгибе		
<b>Пластическое прессование</b>								
глина	950	9,8	1840	13,8	25,9	9,6	н/опр.	Образцы кирпично-красного цвета
	970	10,0	1855	13,3	27,0	10,2		

Номер состава	Температура обжига, °С	Усадка общая, %	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, вес., %	Предел прочности, МПа		Морозостойкость, количество циклов	Примечание
					при сжатии	при изгибе		
1	950	7,7	1710	13,4	32,7	7,2		Образцы насыщенного терракотового цвета
	970	7,9	1730	13,7	33,0	7,6	25	
2	950	8,1	1700	14,8	29,4	6,8		Образцы насыщенного терракотового цвета
	970	8,3	1725	13,9	29,8	7,0	25	
3	950	8,3	1770	14,6	33,5	7,6		Образцы терракотового цвета
	970	8,5	1790	13,8	34,4	7,9	25	
4	950	8,4	1815	13,5	28,0	6,3		Образцы светло-терракотового цвета
	970	8,8	1835	12,7	29,6	6,7	25	
<b>Полусухое прессование</b>								
5	980	4,8	1680	15,8	22,4	3,7	25	Образцы кирпично-красного цвета

**Примечание:**

1. В составах № 1–5 использовалась глина Октябрьского II месторождения.
2. Испытания на морозостойкость выполнены для образцов состава № 1, 2, 3, 4, прошедших обжиг при  $t = 970$  °С.

Образцы-плиточки в изломе имеют равномерно распределенный цвет.

В образцах-кубах в изломе сердцевина светло-серого цвета.

Визуально обнаруживаемых дефектов в опытных образцах нет.



**Физико-механические свойства опытных  
составов керамических масс после обжига**

Номер состава	Температура обжига, °С	Усадка общая, %	Объемная масса, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, вес., %	Предел прочности, МПа		Морозостойкость, количество циклов	Примечание
					при сжатии	при изгибе		
<b>Пластическое прессование</b>								
6	980	5,6	1840	14,2	21,3	2,5	25	Образцы кирпично-красного цвета. Есть на образцах отдельные пятна с белым налетом
7		4,8	1825	13,9	19,7	2,4		
8		4,3	1830	13,9	18,1	2,2		
<b>Полусухое прессование</b>								
9	980	2,8	1650	16,0	23,7	2,7	25	Образцы светло-терракотового цвета. На некоторых образцах – поперечные волосяные трещины
10		3,0	1660	16,2	27,5	3,0		

**Примечание:**

1. В составах № 6–10 использовалась глина Родионово-Несветаевского месторождения.
2. Максимальная температура обжига для всех образцов – 980 °С.  
Образцы-плиточки в изломе имеют равномерно распределенный цвет.  
В образцах-кубах в изломе сердцевина светло-серого цвета.  
Визуально обнаруживаемых дефектов в опытных образцах нет.

По внешнему виду после обжига опытные образцы видимых дефектов не имеют, цвет равномерный, на некоторых образцах с незначительным налетом. Образцы-плиточки в изломе имеют равномерно распределенный цвет. В образцах-кубах в изломе сердцевина светло-серого цвета. Появление такого цвета связано с присутствием закисных форм железа.

Из полученных результатов следует, что добавки золошлаковых отходов и отсевов дробления горелых пород оказывают положительное влияние на технологические параметры и свойства керамических масс:

– улучшаются формовочные и сушильные свойства: *снижается формовочная влажность и коэффициент чувствительности к сушке, уменьшается общая усадка;*

– улучшаются физико-механические свойства образцов: *повышается прочность при сжатии и изгибе; образцы выдерживают 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания.*

Испытания образцов-кубиков на капиллярный подсос в дистиллированной воде не выявили склонности обожженных керамических масс к образованию высолов.

Золошлаковые отходы и горелые шахтные породы можно использовать в составе керамических масс в технологии полусухого прессования. В этом случае содержание этих добавок может составлять до 45 %, общий зерновой состав должен быть следующим: зерен 3–1 мм – 45 %; 0,5–1 мм 20–25 %; менее 0,5 мм – 20–25 %. Для полусухого прессования допускается содержание зерен свыше 3 мм до 5 %.

Из состава № 5–10 были отформованы образцы способом полусухого прессования. Давление прессования – 300 кг/см<sup>2</sup>, формовочная влажность – 6,7–8,3 %. Сушка и обжиг этих кирпичей производились по тем же режимам, что и образцов пластического прессования, за исключением максимальной температуры обжига (980 °С).

По внешнему виду образцы видимых дефектов не имеют, цвет – от светло-терракотового до кирпично-красного. При простукивании – образцы звенят, на некоторых образцах есть следы белого налета.

Значения прочностных показателей и других физико-механических свойств опытных образцов позволяют сделать заключение о потенциальной возможности из исследуемых материалов получить

керамический кирпич как пластического, так и полусухого прессования не ниже марки «125».

При производстве черепицы используется, как правило, то же глинистое сырье, что и при производстве кирпича. Более сложная форма черепицы, легко подверженная деформационным изменениям при сушке и обжиге, и повышенные требования к черепку по плотности вызывают необходимость вести тщательную переработку сырья и подготовку масс, соблюдать заданный гранулометрический состав и улучшать глинистое сырье корректирующими добавками – золошлаковой смесью, горелыми породами. Разработанные и испытанные составы керамических масс могут быть использованы при изготовлении керамической черепицы. Изготовление черепицы производится способом полусухого прессования. В зерновом составе отощающих добавок (золошлака и шахтных пород) должна преобладать мелкая фракция: содержание частиц менее 0,1 мм – 60–70 %; 1–0,25 мм – 20–45 %; 2–1 мм – 3–5 %. Для создания прочного каркаса черепицы, работающего на изгиб и сжатие, должны присутствовать частицы размером менее 2 мм.

Содержание золошлаковой смеси и породы – до 35 %. Формовочная влажность – 11–12 %. Максимальная температура обжига – 980 °С. Прочность на сжатие образцов – 30–35 МПа, марка по морозостойкости – F35.

К основным преимуществам использования золошлаковых отходов и горелых пород в технологии кирпича и черепицы относятся эффект отощения керамической массы, уменьшение чувствительности сырья к сушке, расширение интервала его спекания, исключение образования напряжений в структуре материала, повышение марочной прочности, морозостойкости готовых изделий, снижение усадки, уменьшение брака.

## **Выводы по лабораторно-технологическим испытаниям**

1. Золошлаковые отходы и горелые породы являются не только отощающей, снижающей чувствительность керамической массы к сушке, но и легкоплавкой добавкой. Содержание оксидов железа, наличие углистой составляющей, щелочных оксидов интенсифицируют процесс спекания черепка и способствуют образованию легкоплавких соединений и кристаллизации

новообразований на ранней стадии обжига. В результате снижается температура обжига, повышается механическая прочность и плотность изделий.

2. Из опробованных в лабораторных условиях опытных составов для практической реализации можно рекомендовать составы для пластического прессования № 1 и 3. Показатели физико-механических свойств этих составов близки. Однако в составе № 2 расход глины меньше, сушильные свойства лучше, и вероятность появления дефектов при изготовлении кирпича у этого состава меньше.

3. Из исследуемой глины с добавками золошлаковой смеси и горелых пород можно получить полнотелый высокомарочный керамический кирпич пластического прессования. Для этого необходимо обеспечить правильную подготовку и дозировку исходных компонентов, тщательную переработку глиномассы (керамической массы), ее гомогенность, предусмотреть обязательное вылеживание. Вылеживание глиномассы способствует снятию напряжений, повышению связности, плотности формируемой смеси, за счет чего повышается марочность изделий. Для практической реализации можно рекомендовать составы № 5, 9, 10.

### ***Полупроизводственные испытания***

По результатам лабораторных исследований проводились полупроизводственные испытания с целью установления степени пригодности золошлаковых отходов для производства керамического кирпича пластического прессования. Полузаводские испытания проводились на ООО «Шахтинский кирпичный завод».

Технологический процесс изготовления опытной партии керамического кирпича состоял из следующих операций: подготовка исходных компонентов; приготовление керамической массы; формование, сушка и обжиг кирпича; контроль качества полученного кирпича.

Для испытаний был принят состав № 1:

- глина – **62,0 %**;
- золошлаковая смесь – **20,0 %**;
- отсев дробленой горелой породы – **18,0 %**.

### *Подготовка компонентов керамической массы*

*Глина* с глинозапасника подавалась автосамосвалом в приемный бункер 4-х вального глинорыхлителя, дозировалась ящичным питателем, обрабатывалась на вальцах грубого и тонкого помола. Подготовленная таким образом глина поступала в глиносмеситель.

*Золошлаковая смесь* из отвалов усредняется путем многократной перевалки бульдозером на открытом складе напольного типа. Золошлаковая смесь подавалась бульдозером в приемный бункер ящичного питателя, на вальцы грубого и тонкого помола и в глиносмеситель.

*Отсев горелой породы*, предназначенный для использования в производстве кирпича, поступает с дробильно-сортировочного комплекса и складировается под навесом, откуда подается в технологическую линию. Отдозированный ящичным питателем отсев подавался на вальцы грубого и тонкого помола, а затем в глиномешалку.

### **Прессование кирпича**

Отдозированные компоненты керамической массы: глина, золошлаковая смесь, отсев горелой породы соединялись на ленте № 3, усреднялись на вальцах грубого и тонкого помола, поступали в глиномешалку. С глиномешалки масса поступала на ленточный вакуум-пресс СМК-325, предназначенный для пластического прессования кирпича. Формование осуществлялось методом экструзии при влажности бруса 18,5 %. Резка бруса полнотелого кирпича, выходящего из мундштука, осуществляется резательным автоматом СП-5М.

После формования кирпич-сырец автоматом-укладчиком помещается на рамы и подавался в туннельные сушилки.

### **Сушка изделий**

Отформованные изделия сушились в туннельной прямоточно-противоточной сушилке с верхним подводом и отводом теплоносителя в течение 68 часов.

Единовременная емкость туннеля – 7600 шт. условного кирпича.

Относительная влажность в камере – 95–100 %. Влажность сырца после сушки – 6–9 %. Показатели влагоотдачи, удовлетворительно высушенных образцов, представлены в табл. 65. Результаты разбраковки сырца, высушенного в туннельной сушилке при продолжительности 68 часов, приведены в табл. 66.

### **Обжиг изделий**

Кирпич обжигали в туннельной печи в течение 38 часов по следующему режиму:

– зона подготовки и выжигания топлива – 22 час. (50–900 °С);

– зона обжига – 6 час. (950–980 °С);

– зона охлаждения – 10 час. (50–60 °С).

Максимальная температура обжига 980 °С.

Время выдержки при максимальной температуре 3 часа.

Результаты разбраковки обожженного кирпича приведены в табл. 67, физико-механических испытаний кирпича в табл. 68.

*Таблица 67*

### **Показатели влагоотдачи опытных образцов в процессе сушки**

Вид изделий	Первоначальный вес образца, г	Влажность рабочей массы, %	Общее количество воды в образцах, %	Время от начала сушки, час				Остаточная влажность, %	Воздушная линейная усадка, %
				8	32	56	72		
кирпич полнотелый	4510	18,5	834					4,3	5,0
<b>Влагоотдача, г</b>				15	145	510	670		
<b>Остаточная влажность, %</b>				18,4	15,8	8,1	4,3		

**Физико-механические свойства обожженного кирпича**

Общая усадка, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность, МПа				Водопоглощение, %	Цвет кирпича	Морозостойкость (количество циклов попеременного замораживания и оттаивания)
		при сжатии		при изгибе				
		средняя	минимальная	средняя	минимальная			
6,0	1780	15,83	14,46	2,57	1,83	14,8	насыщенный терракотовый	25

**Выводы по полупроизводственным испытаниям**

1. Керамическая масса, содержащая 20,0 % золошлаковой смеси и 18,0 % горелой шахтной породы, при влажности 18,5 % обладает удовлетворительной формовочной способностью при формировании полнотелого кирпича пластического прессования.

2. Кирпич-сырец после сушки в течение 68 часов при «мягком» режиме имеет мелкие посечки, количество брака составляет 1,0 %.

3. После обжига при температуре 980 °С кирпич имеет ровный насыщенный терракотовый цвет с небольшим белым налетом на некоторых образцах. Количество брака после обжига составило 4,0 %, в основном за счет раскрытия технологических трещин прессования и внешнего вида.

4. По показателям механической прочности при сжатии кирпич соответствует марке «150», при изгибе марке «200».

5. Средняя плотность кирпича (объемная масса) составляет 1780 кг/м<sup>3</sup>.

6. Общая усадка образцов – 6,0 %, водопоглощение – 14,8 %.

7. После испытаний на капиллярный подсос на поверхности кирпича появился незначительный белый налет.

8. Опытный кирпич – морозостойкий: выдержал 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

9. Согласно полученным данным экспериментальный керамический кирпич полнотелый пластического прессования соответствует требованиям **ГОСТ 530-2007**.

С использованием исследуемого техногенного сырья можно получать высокомарочные керамические изделия, соответствующие требованиям **ГОСТ 530-2007. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия.**



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные научные исследования и опытно-промышленные испытания показали, что имеющиеся на территории Ростовской области шахтные породы и золошлаковые отходы по объемам запасов и свойствам являются наиболее перспективным техногенным сырьем и их можно рассматривать как альтернативный источник сырья для стройиндустрии. Систематический контроль экологической безопасности рассматриваемых отходов подтверждает, что это техногенное сырье экологически чисто. Утилизация отходов добычи и сжигания углей позволит улучшить состояние окружающей среды и расширить минеральную сырьевую базу стройиндустрии региона.

Разработанные технологии позволяют получать на основе шахтных пород материалы, отличающиеся повышенной прочностью, морозостойкостью, износостойкостью, устойчивостью к атмосферным воздействиям и действию агрессивных сред. По физико-механическим свойствам и техническим характеристикам получаемые на основе шахтных пород материалы отвечают всем требованиям нормативных документов, предъявляемым к конкретным видам продукции. Особенность предлагаемых технических решений состоит в том, что в технологический процесс вовлекается в минимальных количествах природное сырье и в наибольших – техногенное.

Следует отметить, что выполненные лабораторно-аналитические исследования и опытно-промышленные испытания позволили обозначить возможные наиболее целесообразные направления использования горелых пород. По мере накопления производственного опыта и результатов научных исследований области применения горелых пород могут расширяться. На развитие других направлений утилизации шахтных пород может оказывать влияние потребность рынка в новой продукции.

Предприятия по переработке шахтных пород и золошлаковых отходов, организованные непосредственно при отвалах и включающие цеха по производству различных строительных материалов, будут малозатратными в сравнении с предприятиями по переработке

природного сырья. У предприятий будут отсутствовать затраты на добычу сырья, рекультивацию земель, минимизируются затраты на транспортные перевозки, на плату за выбросы и размещение отходов на земной поверхности.

Одним из положительных результатов использования техногенного сырья является получение предприятием дополнительной продукции. Не менее важным является и снижение нагрузки на окружающую среду при размещении твердых отходов.

Как показывает имеющийся опыт утилизации пород, на переработку одного шахтного отвала необходимо 15–20 лет. При организации достаточного количества предприятий по переработке отвалов у нас есть реальная возможность создать для следующего поколения условия жизни в экологически чистой среде. Конечно, это задача непростая, так как имеется серьезный сдерживающий фактор – стойкое предубеждение производителей к отходам как к сырью. Тем не менее, в последние годы и в этом отношении наметился существенный сдвиг: техногенное сырье все больше завоевывает позиции в индустрии строительных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Соломатов В. И.* Новый подход к проблеме утилизации отходов в стройиндустрии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2000. – № 1. – С. 28–29.
2. *Кокубу М., Ямада Д.* Цементы с добавкой золы-уноса: сб. трудов VI Международ. конгресса по химии цементов. – М., 1974. – Т. 4. – С. 73–78.
3. *Прошин А. П., Демьянова В. С., Калашников Д. В.* Особо тяжелый высокопрочный бетон на основе вторичного сырья // Экология и промышленность России. 2003. – № 8. – С. 8–9.
4. *Балюра М. В., Полищук А. И., Фурсов В. В.* Некоторые результаты исследований строительных свойств золошаков // Расширенное использование природных ресурсов и охрана геологической среды. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1990. – С. 85–91.
5. *Бикбау М. Я.* Экология и строительство // ГиТеК. 2000. – № 4. – С. 9–11.
6. *Радомский С. М., Миронюк А. Ф., Радомская В. И. и др.* Экологические проблемы золошлакоотвала Благовещенской ТЭЦ // Экология и промышленность России. 2004. – № 3. – С. 7–9.
7. *Вишневский А. А., Левченко В. Н.* Производство ячеистого бетона на основе золы-уноса // Ячеистые бетоны в современном строительстве: сб. докл. II Междунар. науч.-практ. конф. 13–15 сент. 2005. – СПб., 2005.
8. *Ананьев В. М., Левченко В. Н., Вишневский А. А.* Использование золы-уноса в качестве добавки при производстве тяжелого бетона // Строительные материалы. 2006. – № 11. – С. 32–33.
9. *Ращупкина М. А., Косач А. Ф., Попов В. А.* Применение золы гидроудаления Омских ТЭЦ в технологии бетона // Строительные материалы. 2005. – № 10. – С. 17–20.
10. *Гужелев Э. П., Усманский Ю. Т.* Рациональное применение золы ТЭЦ; Результаты научно-практических исследований. – Омск: Омский гос. ун-т, 1998. – 238 с.
11. *Белякова Ж. С., Величко Е. Г., Комар А. Г.* Экологические, материаловедческие и технологические аспекты применения зол ТЭС в бетоне // Строительные материалы. 2001. – № 3. – С. 46–48.

12. *Величко Е. Г., Белякова Ж. С.* Некоторые аспекты физикохимии и механики композитов многокомпонентных цементных систем // *Строительные материалы*. 1997. – № 2. – С. 21–25.
13. *Величко Е. Г., Белякова Ж. С., Мелихов В. И.* Технология и свойства огнезащитных и термостойких изделий из особо легкого ячеистого бетона: Тезисы докладов 6-й конференции межрегиональной ассоциации «Железобетон». – М., 1999. – С. 52–54.
14. *Ухова Т. А.* Ресурсосберегающие технологии производства изделий из неавтоклавных ячеистых бетонах // *Бетон и железобетон*. 1993. – № 12. – С. 5–7.
15. *Костин В. В.* Применение зол и шлаков ТЭС в производстве бетонов. – Новосибирск, 2001. – 174 с.
16. *Костин В. В.* Легкий бетон неавтоклавного твердения // Пат. РФ № 2077920.
17. *Костин В. В.* Эффективные строительные материалы на основе зол ТЭС // *Известия вузов. Строительство*. 2006. – № 5. – С. 37–41.
18. *Петров В. П., Коренькова С. Ф., Максимов Б. А.* Пористые заполнители из шлаков тепловых электростанций для однослойных стеновых панелей // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2002. – № 9. – С. 14–15.
19. *Иванова С. М., Чулкова И. Л.* Композиционный цементный пеностеклобетон // *Строительные материалы*. 2005. – № 10. – С. 22–24.
20. *Делицын Л. М., Власов А. С.* Комплексное использование углей ТЭС // *Экология и промышленность России*. 2002. – № 8. – С. 37–39.
21. *Борисенко Л. Ф., Делицын Л. М., Власов А. С.* Перспективы использования золы угольных тепловых электростанций. М., 2001.
22. *Лемешев В. Г., Петров С. В.* Утилизация золы-уноса ТЭС в производстве строительных материалов // *Известия вузов. Строительство*. 2002. – № 5. – С. 46–49.
23. *Шильцина А. Д., Верещагин В. И.* Влияние шлака ТЭС на спекание, фазовый состав и свойства керамики // *Известия вузов. Строительство*. 1999. – № 10. – С. 38–40.
24. *Шильцина А. Д., Верещагин В. И.* Спекание и свойства керамики из масс с отвальной золошлаковой смесью // *Строительные материалы*. 2000. – № 11. – С. 31.
25. *Яценко Н. Д., Ратькова В. П., Вильбицкая Н. А. и др.* Керамические материалы с использованием отходов ТЭС и АЭС // *Современные*

- проблемы строительного материаловедения: Докл. седьмых академических чтений РААСН. – Ч. 1. – Белгород, 2001. – С. 655–658.
26. Кулибаев А. А., Шевандо В. В., Калиева Ж. Е. и др. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге золошлакокерамических материалов // Строительные материалы. 2003. – № 2. – С. 54–56.
  27. Верещагин В. И., Погребенков В. М., Вакалова Т. В. и др. Керамические теплоизоляционные материалы из природного и техногенного сырья Сибири // Строительные материалы. 2000. – № 4. – С. 34–35.
  28. Абдрахимов Д. В. Абдрахимова Е. С., Комохов П. А. и др. Влагодность керамической шихты из техногенного сырья // Строительные материалы. 2003. – № 2. – С. 56–58.
  29. Кройчук Л. А. Использование нетрадиционного сырья для производства кирпича и черепицы в Китае // Строительные материалы. 2003. – № 7. – С. 8–9.
  30. Кизельштейн Л. Я., Дубов И. В., Шпицглиз А. Л., Парада С. Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС. – М., 1995. – 93 с.
  31. Кизельштейн Л. Я., Перетяцько А. Г., Чистилина Г. А. и др. Испытания углей для выбора направлений комплексного использования продуктов сжигания и экологических прогнозов по материалам геолого-разведочных работ // Химия твердого топлива. 1994. – № 2. – С. 18–26.
  32. Шпирт М. Я. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. – М., 1991. – 221 с.
  33. Шпирт М. Я., Рубан В. А., Иткин Ю. В. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей. – М., 1990. – 224 с.
  34. Кизельштейн Л. Я., Шпицглиз А. Л., Перетяцько А. Г. Микросферы в золошлаковых отходах сжигания горючих сланцев Прибалтийского бассейна // Химия твердого топлива. 1991. – № 5. – С. 120–126.
  35. Карнеев В. А. Производство высококачественных строительных песков и утилизация золошлаковых отходов // Строительные материалы. 1998. – № 10. – С. 22–23.
  36. Шорин В. А., Серков С. Ю., Рогов Ю. Б. Опыт применения промышленных отходов в дорожном строительстве Вологодской области // Вторичные ресурсы. 2002. – № 1. – С. 9–12.
  37. Миронов А. А., Базуев В. П. Усталостные свойства асфальтобетонов из промышленных отходов // Проектирование и строительство автомо-

- бильных дорог и мостов Сибири». Томск: Томский инж.-строит. ин-т. 1992. – С. 80–86.
38. *Сватовская Л. Б., Пешнева М. В., Сычева А. М. и др.* Использование твердых отходов в железнодорожном строительстве // Экология и промышленность России. 2006. – № 12. – С. 30–31.
  39. Устройство морозозащитных оснований дорожных одежд из укрепленных грунтов и промышленных отходов. Центральный институт нормативных исследований и научно-технической информации «Оргтрансстрой» Министерства транспортного строительства: рекламный проспект. – М., 1987.
  40. *Самодуров С. И., Расстегаева Г. А.* Асфальтовый бетон с активным минеральным наполнителем // Проектирование и строительство автомобильных дорог и мостов в Сибири: сб. ст. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1992. – С. 106–111.
  41. *Брунарски Л., Кравчик М.* Естественная радиоактивность строительных материалов // Строительные материалы и конструкции. 1990. – № 5. – С. 44–46.
  42. *Сердюк В. П., Ноговицына Л. Г.* Оценка радиоактивности золошлаковых отходов и композиционных материалов на их основе // Строительные материалы. 1991. – № 1. – С. 21–22.
  43. *Баженов Ю. М., Алимов Л. А., Воронин В. В.* Прогнозирование свойств бетонных смесей и бетонов с техногенными отходами // Известия вузов. Строительство. 1997. – № 4. – С. 68–72.
  44. *Кейльман В. А., Недодаев А. С.* Использование отходов промышленности в дорожных одеждах юга РСФСР // Утилизация отходов промышленности при строительстве и ремонте дорожных одежд на юге РСФСР: сб. трудов. – Ростов н/Д, 1988. – С. 4–8.
  45. *Буравчук Н. И., Кузин Б. Н., Явич Б. И. и др.* Шихта для изготовления огнеупоров. Авт. св. № 990736 // Бюлл. изобр. 1983. – № 3.
  46. *Зинченко В. Н., Покутнев Ю. А.* Проблемы и опыт эффективного использования промышленных отходов в сельском дорожном строительстве // Утилизация отходов промышленности при строительстве и ремонте дорожных одежд на юге РСФСР: сб. трудов. – Ростов н/Д, 1988. – С. 90–94.
  47. *Буравчук Н. И., Гурьянова О. В., Окоороков Е. П., Павлова Л. Н.* Физико-механические свойства органо-минеральных композитов на основе промышленных отходов // Труды IX Междунар. конф., посвященной

- 85-летию со дня рождения академика РАН И. И. Воровича. – Ростов н/Д, 2006. – С. 106–111.
48. *Буравчук Н. И., Гурьянова О. В., Огороков Е. П., Павлова Л. Н.* Перспективные направления утилизации отходов добычи и сжигания углей // Матер. V Междунар. конф. «Сотрудничество для решения проблемы отходов». – Харьков, 2008. – С. 86–88.
  49. *Сердюк В. П., Ноговицына Л. Г.* Оценка радиоактивности золошлаковых отходов и композиционных материалов на их основе // Строительные материалы. 1991. – № 1. – С. 21–22.
  50. *Баженов Ю. М.* Технология XXI века // Новые научные направления в строительном материаловедении: сб. трудов Академических чтений РААСН, посвященных 75-летию со дня рождения Ю. М. Баженова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2005. – Ч. 1. – С. 9–10.
  51. *Королев Е. В., Баженов Ю. М., Береговой В. А.* Модифицирование строительных материалов наноуглеродными трубками и фуллеренами // Строительные материалы. 2006. – № 8. Приложение к журналу «Строительные материалы» 2006. – № 9. Наука. – С. 2–4.
  52. *Буравчук Н. И., Мышев М. П., Гурьянова О. В., Огороков Е. П., Явич Б. И.* Основные направления рационального использования горелых шахтных пород // Новые методы комплексного изучения и использования углей, горючих сланцев и сопутствующих им полезных ископаемых при геологоразведочных работах. сб. науч. трудов: ВИМС. – М., 1991. – С. 28–33.
  53. *Буравчук Н. И., Рутьков К. И.* Переработка и использование отходов добычи и сжигания углей. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 1997. – 224 с.
  54. *Буравчук Н. И., Гурьянова О. В., Айрапетьян М. А.* Использование пород шахтных отвалов для устройства земляного полотна // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2007. – № 4. – С. 100–104.
  55. *Лотов В. А.* Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий // Строительные материалы. 2006. – № 8. Приложение к журналу «Строительные материалы». 2006. – № 9. Наука. – С. 5–7.
  56. *Лесовик В. С., Высоцкая М. А., Ядыкина В. В.* Нанотехнологии в дорожном строительстве // Строительные материалы. 2007. – № 7. – С. 52–53.

57. *Лесовик В. С., Строкова В. В.* О развитии научного направления «Наносистемы в строительном материаловедении» // Строительные материалы. 2006. – № 8. Приложение к журналу «Строительные материалы». 2006. – № 9. Наука. – С. 18–20.
58. *Кобаяси Н.* Введение в нанотехнологию. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2005. – 345 с.
59. *Соломатов В. И.* Новое в строительном материаловедении // Новое в строительном материаловедении. Юбилейный сборник трудов кафедры «Строительные материалы и технологии» Московского гос. ун-та путей сообщения. 1997. – Вып. 902. – С. 19–21.
60. *Баженов Ю. М.* Основные подходы к компьютерному материаловедению строительных композитов // Строительные материалы. 2006. – № 7. – С. 2–4.
61. *Баженов Ю. М., Воробьев В. А., Илюхин А. В.* Задачи компьютерного материаловедения строительных композитов // Известия вузов. Строительство. 2000. – № 12. – С. 25–30.
62. *Чермашенцев В. М.* Теоретические аспекты компьютерного моделирования эффективных композиционных материалов // Известия вузов. Строительство. 2002. – № 3. – С. 33–40.
63. *Буравчук Н. И., Гурьянова О. В., Окорочков Е. П., Павлова Л. Н.* Получение строительных материалов и бетонов улучшенного качества с использованием отходов добычи и сжигания твердого топлива: сб. трудов 5-й науч.-практ. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». – СПб, 2008. – С. 333–334.
64. *Корнилов А. В., Лыгина Т. З.* Комплексная технологическая оценка минерально-строительного сырья // Строительные материалы. 2005. – № 12. – С. 78–79.
65. *Трунов Б. Д.* Методические рекомендации по изучению и использованию в народном хозяйстве породных отвалов угольных шахт Ростовской области. – Ростов н/Д, 1987. – 94 с.
66. *Гипич Л. В.* Особенности вещественного состава отвальных пород шахтных отвалов Восточного Донбасса и новые направления их использования: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Ростов н/Д, 1998. – 25 с.
67. *Будницкий В. М., Бражников В. Ф., Буравчук Н. И. и др.* Минеральные добавки из горелых шахтных пород и зол для вяжущих и бетонов //



Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 1998. – № 4. – С. 70–74.

68. *Воробьев Х. С., Филиппов Е. В., Тальнов Ю. Н.* Технология и оборудование для приготовления ячеистого бетона автоклавного твердения // Строительные материалы. 1996. – № 1. – С. 10–15.
69. *Поплавский Я. М., Эвинг П. В., Селезский А. И. и др.* Предпосылки дальнейшего развития производства и применения ячеистого бетона в современных условиях // Строительные материалы. 1996. – № 3. – С. 2–6.
70. *Лысихина А. И.* Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей. – М.: Стройиздат, 1962. – С. 89.
71. *Буравчук Н. И., Гурьянова О. В., Окороков Е. П., Павлова Л. Н.* Мелкозернистый бетон на основе отходов добычи и сжигания углей // Экологический вестник России. 2009. – № 11. – С. 27–31.

## ПРИЛОЖЕНИЯ



**Фото 1 (схема Майская).**  
Дробильно-сортировочный комплекс  
по переработке пород на шахте «Майская»  
пос. Майский



**Фото 2 (Комплекс 26 ш.).**  
Переработка пород на шахте № 26 в г. Гуково



**Фото 3 (Заполнитель. 26).**  
Щебень из горелых шахтных пород



**Фото 4 (Образцы. Выставка).**  
Образцы изделий из горелых шахтных пород

# Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>1. ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ – СЫРЬЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....</b>	<b>4</b>
Использования золошлаковых отходов и пород шахтных отвалов.....	6
Перспективные научные направления в материаловедении .....	19
<b>2. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ.....</b>	<b>23</b>
2.1. Комплексная оценка техногенных отходов как минерального сырья .....	23
2.2. Золошлаковые отходы .....	31
2.3. Горелые шахтные породы .....	38
2.4. Активность гидравлических добавок .....	48
<b>3. ЗАПОЛНИТЕЛИ ИЗ ГОРЕЛЫХ ПОРОД ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ.....</b>	<b>56</b>
Технология производства заполнителей .....	62
Коэффициент разрыхления породы .....	64
<b>4. БЕТОНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ.....</b>	<b>70</b>
4.1. Бетон – материал будущего.....	70
4.2. Бетон с добавкой золы уноса .....	73
4.3. Бетон на заполнителях из золошлаковой смеси .....	77
4.4. Горелопородный бетон .....	87
Технические требования, предъявляемые к горелопородным заполнителям .....	87

4.5. Бетон с добавкой молотой горелой шахтной породы.....	88
4.6. Бетоны на заполнителях из горелых шахтных пород .....	91
Особенности введения материалов из горелых пород в технологию .....	92
4.7. Ячеистый бетон.....	100
Материалы для ячеистого бетона .....	103
Технология ячеистого бетона .....	107
Подбор состава ячеистого бетона .....	108
Подготовка сырьевых материалов .....	116
4.8. Асфальтобетон .....	124
Особенности применения техногенного сырья в технологии асфальтобетона .....	131
<b>5. БЕТОННЫЕ ТРОТУАРНЫЕ ПЛИТЫ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ .....</b>	<b>138</b>
Составы формовочных масс .....	141
Физико-механические свойства тротуарных плит.....	145
<b>6. ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ .....</b>	<b>153</b>
Сырье для производства вяжущих веществ.....	155
Обоснование эффективности применения техногенного сырья в технологии вяжущих веществ.....	157
Технология вяжущих веществ .....	160
Тонкомолотые вяжущие .....	164
Эффективность применения техногенного сырья в технологии вяжущих веществ .....	166
Испытание тонкомолотых вяжущих в бетонах .....	172
Горелые породы – компонент шихты для цементного клинкера.....	175
<b>7. КЕРАМИЧЕСКИЙ КИРПИЧ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ.....</b>	<b>179</b>
Требования к техногенному сырью, применяемому в производстве изделий строительной керамики .....	190
Технология керамического кирпича .....	193

Подготовка сырьевых компонентов керамической массы .....	193
6.3. Физико-механические испытания опытных образцов .....	199
<b>Выводы по лабораторно-технологическим испытаниям .....</b>	<b>203</b>
Полупроизводственные испытания .....	204
Прессование кирпича .....	205
Сушка изделий .....	205
Обжиг изделий .....	206
<b>Выводы по полупроизводственным испытаниям .....</b>	<b>207</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>209</b>
<b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>	<b>211</b>
<b>Приложения .....</b>	<b>218</b>

# **Издательство Южного федерального университета**



## **ПРИГЛАШАЕМ К СОТРУДНИЧЕСТВУ АВТОРОВ**

- научной
- учебно-методической
- справочной
- научно-популярной литературы

## **РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТЯХ**

- социальных и естественных наук
- юриспруденции
- медицины
- программирования и вычислительной техники

*Издательство оказывает полный комплекс услуг.  
Опыт и профессионализм сотрудников,  
высокое качество, доступные цены.*

## **МЫ РАБОТАЕМ ДЛЯ ВАС. МЫ ЖДЕМ ВАС**

**344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 160, к. 12, 14.  
тел.: (863) 264 00 19.**

*Учебное издание*

**БУРАВЧУК НИНА ИВАНОВНА**

**РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ  
В ТЕХНОЛОГИИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Редактор *Е. В. Зацепилова*

Корректор *Е. В. Зацепилова*

Технический редактор *Д. В. Свамицкая*

Компьютерная верстка *А. В. Страдомская*

Оформление обложки *О. В. Чурбанова*

Лицензия ЛР № 65-41 от 01.09.1999.

Подписано в печать 10.11.2009.

Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура School.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,02. Уч.-изд. л. 15,0.

Тираж 110 экз. Заказ № 767.

Издательство Южного федерального университета.  
344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская, 160  
Тел. (863) 264-00-19

Отпечатано в типографии ЮФУ.

344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1.