МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Газиев Учқун Абдуллаевич

ОТХОДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

УЧЕБНИК

5А340501-Производство строительных материалов, изделий и конструкций

Ташкент - 2015

Автор: Газиев Учқун Абдуллаевич

Отходы промышленности в производстве строительных материалов и изделий**. Учебник. (Газиев У.А., 308 стр., ТАСИ, 2015).**

В учебнике рассмотрены основные направления ресурсо-и энергосбережения в производстве строительных материалов и изделий за счет использования отходов различных отраслей промышленности. Приведены объемы и условия образования отходов, дана их классификация, технологии переработки и получения строительных материалов, их свойства, области применения в строительстве, а также технико-экономические показатели эффективности.

Ценным является то, что приведены результаты научно-исследовательских работ проведенных автором и другими учёными по применению отходов промышленности и местного сырья Республики Узбекистан для производства различных строительных материалов и изделий.

Учебник расширяет содержание учебной программы, способствует написанию научных рефератов и статей, проведению научно-исследовательских работ, а также подготовке дипломных работ бакалавров и магистрских диссертаций.

Рецензенты:

1. Зав.кафедрой «Строительство зданий и промышленных сооружений», ТашИИТ, проф., д.т.н. Щипачёва Е.В.
2. Зав. кафедрой «Технология строительных материалов, изделий и конструкций», ТАСИ, проф., д.т.н. Акрамов Х.А.

Рекомендовано Министерством высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан в качестве учебника для студентов строительных специальностей высших учебных заведений

А Н Н О Т А Ц И Я

В учебнике приведены объемы и условия образования отходов различных отраслей промышленности, дана их классификация, технологии переработки и получения строительных материалов и изделий, физико-механические свойства их, области применения в строительстве, а также технико-экономические показатели эффективности.

Приведены результаты исследований по применению отходов промышленности и местных сырьевых ресурсов Республики Узбекистан.

Annotation

Volume and conditions of forming wastes of different branches of industry. The classification, technology of treatment and setting building materials and products, their physic-mechanical feature, region of use in the construction and technic-economical factors of effectiveness are given in this article.

Results of research works of using industrial wastes and local raw materials resources of the Republic of Uzbekistan are shown.

А Н Н О Т А Ц И Я

Ушбу дарсликда турли саноат тармоқларида саноат чиқиндиларининг юзага келиш шароити ва ҳажми, чиқиндилар классификацияси, чиқиндиларни қайта ишлаш технологияси, улардан қурилиш материаллари ва буюмлари ишлаб чиқариш, қурилишда ишлатиш сохаси, шу билан бирга техник-иқтисодий кўрсаткичлари келтирилган.

Ўзбекистон Республикаси қурилиш тармоқларида чиқиндилардан амалий фойдаланиш натижалари дарсликда келтирилган.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема ресурсосбережения особенно актуальна в строительстве, так как эта отрасль народного хозяйства потребляет около трети всей массы продукции материального производства. Материальные ресурсы составляют более половины всех затрат на производство строительно-монтажных работ.

Решение этой проблемы в строительстве возможно при комплексном использовании технических, организационных, экономических факторов и ускорении научно-технического прогресса.

Важнейшее направление ресурсосбережения в строительстве-это широкое использование вторичных материальных ресурсов. Ими и являются отходы производства и потребления, используемые в народном хозяйстве на определенном этапе развития науки и техники.

Объем отходов продуктов промышленности увеличивается более высокими темпами, чем общественное производство, так как имеет тенденцию к опережающему росту. Только на удаление их и складирование расходуется в среднем 8…10% стоимости основной производимой продукции.

Использование побочных продуктов промышленности чрезвычайно важно, так как обеспечивает производство богатым источником дешевого и часто уже подготовленного сырья; приводит к экономии капитальных вложений, предназначенных для строительства предприятий, добывающих и перерабатывающих сырье, и повышению уровня их рентабельности; высвобождению значительных площадей земельных угодий и снижению степени загрязнения окружающей среды. Последовательное повышение уровня использования побочных промышленных продуктов является важнейшей задачей государственного значения.

Одно из наиболее перспективных направлений утилизации промышленных отходов –использование их в производстве строительных материалов, что позволяет до 40% удовлетворить потребности в сырье.

Применение отходов промышленности позволяет на 10…30% снизить затраты на изготовление строительных материалов, по сравнению с производством их из природного сырья, экономия капитальных вложений при этом составляет 35…50%.

Масштабы применения промышленных отходов в производстве строительных материалов в СНГ так же, как и в других развитых странах мира, неуклонно увеличиваются. Так, общее использование доменных шлаков составляет около 90%. Народнохозяйственная эффективность переработки каждого миллиона тонн доменных шлаков составляет 2,5…3 млн. руб. Передовые металлургические предприятия перешли на безотвальную работу.

Однако общий уровень утилизации промышленных отходов остается еще недостаточным. Значительно меньше, чем доменные, используется пока сталеплавильные шлаки. Объем их использования составляет около 65%, а шлаков цветной металлургии, примерно 10% ежегодного их выхода. В СНГ утилизируется лишь около 15% объема золошлаковых отходов энергической промышленности, которые наряду с металлургическими шлаками можно отнести к наиболее значительным сырьевым ресурсам для промышленности строительных материалов. В некоторых странах мира уровень использования золошлакового сырья значительно выше, например, в ФРГ он составляет около 80%, Франции – 65, Великобритании – 53, Бельгии – 44, Польше – 34%. Неудовлетворителен пока уровень использования отходов деревообрабатывающей, химической, нерудной и ряда других отраслей промышленности.

Развитие и совершенствование производства строительных материалов, повышение их экономической эффективности на современном этапе в значительной степени будут определяться рациональностью использования сырьевых ресурсов, полнотой вовлечения в производство отходов различных отраслей промышленности.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОТХОДАХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Общие сведения

Особенностью научно-технического прогресса является увеличение объема общественного производства. В результате развития производства в хозяйственный оборот вовлекается все большее количество природных ресурсов. Однако степень их рационального применения в целом низкая. Ежегодно используется около 10 млрд.т. минеральных и почти столько же органических сырьевых продуктов. Разработка и утилизация большинства важнейших полезных ископаемых в мире происходят быстрее, чем разведка их запасов. Около 70% затрат в промышленности приходится на сырье, материалы, топливо и энергию. И в то же время от 10 до 90% исходного сырья превращается в отходы, сбрасываемые в атмосферу и водоемы, загрязняющие землю.

Транспортирование и складирование отходов отвлекает значительные средства от основного производства. Ежегодные расходы на удаление в отвалы отходов лишь угольной и энергетической промышленности составляют около 300 млн. руб. На организацию и эксплуатацию отвалов эти отрасли расходуют средства, составляющие 8… 10% стоимости добываемого угля, производимой энергии и пара.

Источниками загрязнения атмосферы разнообразной пылью являются также предприятия по производству строительных материалов, горно-обогатительные комбинаты и другие предприятия, технологические процессы которых основаны на дроблении, измельчении и обжиге больших количеств минерального сырья. При работе вращающихся печей для обжига цементного клинкера пылевынос составляет 8… 20% сухого сырья. Даже после очистки газовоздушные выбросы технологических агрегатов цементных заводов содержат 100… 150 мг/м^3 пыли.

Промышленные отходы, сосредоточенные в отвалах, шлаконакопителях, хвостохранилищах, загрязняют поверхностный сток воды в районах размещения промышленных предприятий. Сброс промышленных отходов приводит в конечном счете к загрязнению вод Мирового океана, которое вызывает резкое снижение его биологической продуктивности и отрицательно влияет на климат планеты.

Рациональное решение проблемы промышленных отходов зависит от ряда факторов: вещественного состава отходов, их агрегатного состояния, количества, технологических особенностей и т. д. Снижение ущерба, обусловленного образованием промышленных отходов достигается совершенствованием производства и соблюдением технологической дисциплины, повышением эффективности шламохвостохранилищ, а также обезвреживанием и рациональным захоронением отходов.

При комплексном использовании сырьевых материалов промышленные отходы или побочные продукты одних производств являются исходными материалами других. Подобное использование сырья логически обусловлено потребностями развития народного хозяйства на современном этапе.

Важность комплексного использования сырьевых материалов можно рассматривать в нескольких аспектах. В о – п е р в ы х, утилизация отходов позволяет решать задачи по охране окружающей среды, освобождать ценные земельные угодья, отчуждаемые под отвалы и шламохранилища, устранять вредные выбросы в окружающую среду. В о – в т о р ы х, побочные продукты промышленности в значительной степени покрывают потребность ряда перерабатывающих отраслей в сырье, причем во многих случаях высококачественном, подвергнутом в процессе производства первичной технологической обработке (измельчению, обжигу и т. д.). В – т р е т ь и х, при комплексном использовании сырья снижаются удельные капитальные затраты на единицу продукции и уменьшается срок их окупаемости;

непроизводительные расходы основного производства, связанные со складированием отходов, строительством и эксплуатацией хранилищ для них; уменьшаются затраты, расход теплоты и электроэнергии на новую продукцию за счет технологической подготовленности отходов; увеличивается производительность оборудования.

Из отраслей-потребителей промышленных отходов, являющихся побочными продуктами различных производств, наиболее потребляющей является производство строительных материалов. Учитывая, что затраты на материальные ресурсы в сметной стоимости строительства составляют более 55%, то, очевидно, можно утверждать, что применение побочных промышленных продуктов – это один из путей повышения эффективности производства строительных материалов.

1.1. Классификация отходов промышленностей

В настоящее время отсутствует всесторонняя классификация побочных промышленных продуктов, что обусловлено их различным химическим составом, свойствами, технологическими особенностями получения и условиями образования.

Все побочные продукты промышленности можно разделить на две группы: м и н е р а л ь н ы е (неорганические) и о р г а н и ч е с к и е. Наибольшее значение для производства строительных материалов имеют минеральные продукты, которые составляют большую часть всех отходов, производимых добывающими и перерабатывающими отраслями промышленности. Эти побочные продукты в большей мере изучены, чем органические.

П.И. Боженов предложил классифицировать побочные промышленные продукты в момент выделения их из основного технологического процесса на три следующих класса: А – продукты, не утратившие природных свойств; Б – искусственные продукты, полученные в результате глубоких физико-

химических процессов; В – продукты, образовавшиеся при длительном хранении в отвалах.

Продукты класса А (карьерные остатки и остатки после обогащения на полезное ископаемое) имеют химико-минералогический состав и свойства соответствующих горных пород. Область их применения обусловлена агрегатным состоянием, фракционным и химическим составом, физико-механическими свойствами. Преимущественно минеральные продукты класса А применяются как заполнители бетонов, а также как исходное глинистое, карбонатное или силикатное сырье для получения разнообразных искусственных строительных материалов (керамики, извести, автоклавных материалов и др.).

Продукты класса Б получают в результате физико-химических процессов, протекающих при обычных или чаще высоких температурах. Диапазон их возможного применения шире, продуктов класса А. Особенно эффективно использование этих отходов там, где продуктивно реализуются затраты топливно-энергетических ресурсов и рабочей силы на их получение. Применение подобных продуктов рационально прежде всего при производстве цементов, материалов автоклавного твердения, где повышенная реакционная способность исходного сырья дает высокой экономической эффект. Так, при использовании доменного шлака для изготовления шлакопортландцемента почти в два раза снижаются топливно-энергетические затраты на единицу продукции, а себестоимость уменьшается на 25…30%.

Продукты класса В образуются в результате физико-химических процессов, протекающих в отвалах (самовозгорание, распад шлаков и образование порошка и др.). Типичными представителями сырьевых материалов этого класса являются горелые породы.

Однако приведенная выше классификация требует обязательного учета химических характерист и к побочных продуктов. В зависимости от преобладающих в их составе химических соединений минеральные продукты

можно разделить на следующие группы: *силикатные, карбонатные, известковые, гипсовые, железистые.* В пределах каждой группы возможно более подробная классификация. Например, силикатные побочные продукты можно разделить на основные и кислые в зависимости от процентного содержания основных и кислых оксидов, карбонатные- на кальциевые и магниевые. В некоторых случаях при химической характеристике ведущее место отводится соединениям, содержащимся в сравнительно небольшом количестве, но имеющим решающее значение при выборе способа утилизации (например, щелоче-, цинко-, алюминий содержащим и др.).

Большая часть природных и искусственных минеральных побочных продуктов промышленности состоит преимущественно из кремнезема, силикатов и алюмосиликатов кальция и магния. Это объясняется тем, что они являются отходами добычи и переработки природных силикатных материалов, на долю которых приходится 86,5% массы земной коры.

Для систематического рассмотрения побочных продуктов удобна их классификация в зависимости от отрасли промышленности, где они в основном образуются. По этому принципу можно выделить следующие группы.

1. *Побочные продукты металлургии*: доменные, ферросплавные и сталеплавильные шлаки; шлаки, образующиеся при плавке руд цветных металлов; продукты обогащения руд; нефелиновые и другие шламы.
2. *Побочные продукты тепловой энергетики и топливной промышленности*: зола, топливные шлаки, шахтные породы, отходы углеобогащения, нефтегазовый пек, кислый гудрон.
3. *Побочные продукты химической промышленности:* железистые и гипсосодержащие отходы; соле- и гидроксидсодержащие шламы и содопродукты; фосфорные шлаки, вторичные полимерные продукты.
4. *Побочные продукты горнодобывающей промышленности:* вскрышные и попутно добываемые породы.

5. *Побочные продукты переработки древесины и другого растительного сырья:* кора, обрезки, стружки, опилки, лигнин, гуза-пая, отходы кенафа и др.
6. *Побочные продукты производства строительных материалов:* отходы цементного, асбестоцементного, стекольного, керамического, полимерного производств, нерудной промышленности, бетона и железобетона.
7. *Отходы городского хозяйства:* изношенные автопокрышки, тряпье, бумажная макулатура, твердые остатки сточных вод, использованные полимерные материалы.

1.2. Выбор направления утилизации промышленных отходов

Одним из основных критериев при выборе направления использования побочных промышленных продуктов является достигаемый экономический эффект. В производстве строительных материалов экономический эффект утилизации 1 т твердых отходов $Э_{уд}$ определяют как разность суммарных удельных приведенных затрат на изготовление аналогичных материалов из традиционного сырья, эксплуатацию отвалов и затрат на производство аналогичных материалов из побочных продуктов:

$$\mathbf{Э_{уд} = (n_1/a)(C_1 + n_2C_2 - C_3) + E_н\,(K_1 + n_2K_2 - K_3),}$$

где C_1 и C_3 – себестоимости строительных материалов соответственно из традиционного и утилизируемого сырья; C_2 –ежегодные затраты на содержание отвалов и транспортировку побочных продуктов; n_2 – коэффициент, учитывающий частичную или полную ликвидацию отвалов, $n_2 = 0{,}3\ldots1$; K_1 и K_3 – удельные капитальные вложения на производство соответственно строительных материалов из традиционного и утилизируемого сырья; K_2 –

капитальные вложения на сооружения отвалов; $E_н$ – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений, $E_н$ =0,15; а – удельный расход утилизируемого сырья на единицу продукции; n_1 – коэффициент, учитывающий долю затрат на данный вид материала в общих затратах на сырье и материалы в себестоимости смонтированной конструкции.

В качестве примера (табл.1.) приведены данные по удельному экономическому эффекту использования золошлаковых отходов ТЭС в зависимости от области их применения.

Полный расчет экономического эффекта утилизации побочных продуктов возможен при учете дополнительного эффекта от снижения ущерба, причиненного ими в биосфере, ΔУ, так как отпадает необходимость в площадях для складирования отходов $\Delta У_в$, а также сокращаются выбросы в воздушный и водный бассейны $\Delta У_б$.

$$\mathbf{\Delta У = \Delta У_в + \Delta У_б.}$$

Площадь складирования отходов, га, определяется по формуле

$$\mathbf{\Delta У_в = Ц S_в / T_в,}$$

где Ц – цена 1 га земли, руб; $S_в$ – территория, высвобождаемая из-под отходов, га;

$T_в$ – время, в течение которого разрабатываются отвалы, лет.

Второе слагаемое $\Delta У_б$ определяет снижение ущерба сельскому, лесному, водному и другим хозяйствам.

Таблица-1

Область применения	**Материал**	**Удельный экономический эффект, руб./т**	**Степень утилизации золы и шлаков ТЭС,%**
Стеновые материалы и изделия	Пористые заполнители (зольный гравий, аглопорит гравиеподобной формы), теплоизоляционные материалы, зольный песок, кирпич (блоки) из золы (или с зольной добавкой)	7…15	35…40
Неорганические вяжущие	Известково-сланцевый цемент, золопортландцемент, известково-шлакозольный цемент	0,7…3,2	15
Дорожное и аэродромное строительство	Плотные заполнители для дорожного и аэродромного строительства, грунтостабилизированные массы	5…8	25…30
Специальные бетоны	Активная зольная добавка к гидротехническому бетону, добавка к жароупорному бетону; литые изделия	2,5…10	20

П р и м е ч а н и е. Под степенью утилизации золы и шлаков ТЭС понимается возможное целесообразное количество отходов, которые могут быть использованы в процентном отношении их общего объема.

Определяя направление утилизации продуктов промышленности, наряду с достигаемым экономическим эффектом, необходимо учитывать и ряд других факторов: сумму капитальных вложений в утилизационные установки и механизмы по переработке сырья и их эффективность; потребительскую стоимость изготавливаемой продукции; производственную структуру данного региона и др.

Важнейшими свойствами сырьевых материалов, определяющими методы переработки, являются их химический состав, физико-механические, токсикологические, пожаро-и взрывоопасные характеристики.

В ряде случаев побочные продукты, являющиеся промышленными отходами, характеризуются неоднородностью состава и свойств. Например, химический состав золы может значительно отличаться даже при сжигании одного и того же топлива на одной электростанции. Колебания состава должны учитываться при выборе направления переработки сырья. Так, большая часть побочных продуктов, образующихся при обогащении и сжигании углей основных месторождений нашей страны, по химическому составу соответствует требованиям технологии аглопоритового щебня. Для производства аглопоритового гравия диапазон допустимых колебаний содержания отдельных оксидов в исходном сырье сужается, в частности ограничивается количество легкоплавких компонентов. При колебаниях химического состава существенно изменяется гидравлическая активность зол. Так, кислые золы как активная минеральная добавка могут применяется при содержании SiO_2 не менее 40% и SO_3 не более 2%.

Для стабилизации состава и свойств побочных промышленных продуктов применяют ряд технологических приемов. В частности, золы со стабильными свойствами получают при отборе определенных фракций, для чего на тепловых электростанциях устанавливают системы золоулавливания.

При транспортировке побочных продуктов на другие предприятия целесообразна их предварительная обработка. Производят гранулирование шлаков, при котором приобретается не только товарная форма, но и значительно улучшаются технические свойства продукта. Для пастообразного сырья (фосфогипс) необходимым условием применения являются предварительное высушивание и гранулирование.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

2.1. Общая характеристика

Металлургические шлаки. Основная масса отходов металлургических процессов образуется в виде шлаков.

Ш л а к и – *это продукты высокотемпературного взаимодействия компонентов исходных материалов (топлива, руды, плавней и газовой среды).* Их химический состав и структура изменяются в зависимости от состава пустой породы, вида выплавляемого металла, особенностей металлургического процесса, условий охлаждения и др.

Металлургические шлаки подразделяют на *шлаки черной* и *цветной металлургии.*

В зависимости от характера процесса и типа печей шлаки черной металлургии делят на следующие виды: доменные; сталеплавильные (мартеновские, конвертерные, бессемеровские и томасовские, электроплавильные); производство ферросплавов; ваграночные шлаки. Наибольшим является выход доменных шлаков, на 1 т чугуна он составляет 0,6…0,7 т. При выплавке стали выход шлаков на 1 т значительно меньше: при мартеновском способе – 0,2…0,3, бессемеровском и томасовском – 0,1…0,2; при выплавке стали в электропечах – 0,1…0,04 т.

Количество шлаков ферросплавного производства и ваграночных шлаков сравнительно невелико.

Выход шлаков в цветной металлургии зависит от содержания извлекаемого металла в исходной шихте. При плавке в отражательных печах медных концентратов с содержанием меди 10…15% выход шлака составляет 10…20 т на 1 т металла, при плавке в шахтных печах медных руд с

содержанием меди 1…2% - 50…100, при шахтной плавке окисленной никелевой руды – 100…200 т.

Химический состав доменных шлаков представлен в основном четырьмя оксидами: CaO (29…30%), MgO (0…18%), AL_2O_3 (5…23%) и SiO_2 (30…40%). В небольшом количестве в них содержатся оксиды железа (0,2…0,6%) и марганца (0,3…1%), а также сера (0,5…3,1%). Сталеплавильные шлаки характеризуются более высоким содержанием оксидов железа (до 20%) и марганца (до 10%).

Для шлаков цветной металлургии характерны пониженное содержание CaO+MgO (7..13%) и высокое содержание FeO (21…61%). Кроме основных компонентов шлаки цветной металлургии могут содержать в небольших количествах неизвлеченные металлы – медь, цинк, свинец, никель и др.

При оценке шлаков как сырья для строительных материалов важной характеристикой их химического состава является соотношение в них основных и кислотных оксидов – *модуль основности*:

$$\mathbf{M_o = (CaO+MgO)/(SiO_2 + AL_2O_3),}$$

при $M_o > 1$ шлаки относятся к основным, при $M_o < 1$ – к кислым.

Химический состав значительно влияет на физические свойства шлаковых расплавов, структуру и свойства затвердевших шлаков. Так, увеличение содержания оксида кальция в шлаках обусловливает повышение температуры их плавления, понижение текучести.

Оксиды, входящие в шлаки, образуют разнообразные минералы. В результате анализа диаграмм состояния соответствующих систем оксидов установлена возможность существования в шлаках до сорока двойных и тройных соединений, ведущее место среди которых занимают силикаты, алюмосиликаты, алюминаты и ферриты.

Практические во всех металлургических шлаках в том или ином количестве наряду с продуктами кристаллизации содержится стекловидная фаза. в отвальных медленно охлажденных основных шлаках количество стекла незначительно, а в гранулированных доменных достигает 98%. Стекло является термодинамической неустойчивой фазой, оно в значительной мере определяет химическую активность шлаков. Установлено, что шлаковые стекла взаимодействуют с водой значительно интенсивнее, чем кристаллы минералов.

Из всех видов металлургических шлаков в производстве строительных материалов наиболее широко применяются *доменные шлаки*, что обусловлено их ведущим положением в общем балансе шлаков, а также близостью их состава к цементным смесям, способностью при быстром охлаждении приобретать гидравлическую активность и др. Основную массу доменных шлаков получают при выплавке передельных и литейных чугунов.

Доменные шлаки являются продуктами взаимодействия флюсов (карбонатов кальция и магния) с пустой породой железной руды и золой кокса. Различия в составах железных руд и кокса в разных регионах страны обусловливают соответствующие различия в составе шлаков. Металлургические заводы Юга и центральных районов производят шлаки с низким содержанием AL_2O_3 (6…10%) и сравнительно высоким содержанием CaO (до 50%) и сульфидной серы (до 3..4%). В металлургии Урала и Кузнецкого бассейна применяют железные руды, богатые глиноземом, и малосернистый кокс; выплавляют шлаки с содержанием AL_2O_3 до 20% и сульфидной серы – до 1%. Для шлаков первой группы M_o> - 1, второй $M_0 < 1$, что объясняет существенные различия в их гидравлической активности и других свойствах. В общем случае основные шлаковые стекла имеют большую гидравлическую активность, чем кислые.

Химическая активность шлака определяется коэффициентом качества К, устанавливаемым по следующим формулам:

при содержании MgO до 10%

$$К = CaO + AL_2O_3 + MgO/ SiO_2 + TiO_2$$

при содержании MgO более 10%

$$К = CaO + AL_2O_3 + 10/SiO_2 + TiO_2 + (MgO – 10)$$

Наиболее распространенным способом переработки шлаков является грануляция, сущность которой заключается в резком охлаждении шлаковых расплавов водой, паром или воздухом и образовании в результате этого стекловидных зерен размером до 10 мм. Применяют два способа грануляции: мокрый и полусухой.

Мокрая грануляция заключается в резком охлаждении расплавленного шлака обычно в железобетонных резервуарах объемом до 800 м^3, наполненных водой, и диспергировании его образующимся паром, а также газами, выделяющимся из расплава. Установки мокрой грануляции несложны, имеют высокую производительность, а выполнение технологического процесса требует небольших затрат труда. Однако шлаки мокрой грануляции имеют высокую влажность (10…30%), что приводит к смерзанию их в зимнее время, повышению стоимости транспортирования, вызывает необходимость значительных затрат тепла на их сушку.

Более эффективна полусухая грануляция, основанная на комбинированном охлаждении шлаков: сначала водой, а затем воздухом. Конечная влажность гранулированного шлака при этом достигает 4-7%.

Гранулируют в основном доменные шлаки. Основная масса гранулированных доменных шлаков поступает в производство шлакопортландцемента. Их применяют также и для получения местных бесклинкерных вяжущих, шлакощелочных бетонов, минеральной ваты, шлакоситалловых изделий, в качестве заполнителя в цементных и асфальтовых бетонах.

Более 60% *сталеплавильных шлаков* в России составляют шлаки мартеновского производства и более 35% - конвертерного. Перерабатывается около 30% сталеплавильных шлаков, из которых, а также шлаков ферросплавного производства получают в основном щебень, а шлаковая мука используется в качестве минерального удобрения. *Шлаки цветной металлургии* применяют пока в небольшом количестве при производстве цемента в качестве железистого компонента и активной минеральной добавки, а также при получении минеральной ваты и литых изделий.

2.2. Вяжущие материалы на основе металлургических шлаков

В настоящее время основным потребителем металлургических шлаков является цементная промышленность. Ежегодного из используемых доменных шлаков более 90% млн. т идет на производство портландцемента и шлакопортландцемента.

Для цементной промышленности также перспективными являются некоторые другие виды металлургических шлаков: феррохромовый, позволяющий получать цветной портландцементный клинкер; никелевые и медные, применяемые в качестве железистого компонента сырьевой цементной смеси и активной минеральной добавки; шлаки алюмотермического производства ферросплавов и вторичной переплавки алюминия и его сплавов – как сырье для производства глиноземистого цемента и сверхбыстротвердеющего портландцемента; сталерафинировочные шлаки, пригодные для получения расширяющихся цементов. Для получения шлаковых вяжущих автоклавного твердения возможно применение как гранулированных, так и медленно охлажденных сталеплавильных шлаков и шлаков цветной металлургии.

Шлаковые вяжущие можно подразделить на следующие основные группы: шлакопортландцементы, сульфатно-шлаковые, известково-шлаковые, шлакощелочные вяжущие. Из них наиболее важное значение для строительства

имеют шлакопортландцементы, объем производства, которых составляет около 25% общего выпуска цемента в СНГ. Высока и технико-экономическая эффективность использования бесклинкерных шлаковых вяжущих, характеризующихся низкой себестоимостью, несложной технологией изготовления и сравнительно высокими строительно-техническими свойствами

Портландцемент. Химический состав доменных шлаков позволяет использовать их вместо глинистого и части карбонатного компонентов в составе сырьевых смесей при производстве клинкера. Для доведения силикатного модуля сырьевых смесей до обычных пределов при низком содержании в шлаках Al_2O_3 (5…7%) в них вводят соответствующие корректирующие добавки.

Шлаки можно рассматривать как в значительной мере подготовленное сырье. В их составе CaO связан в различных химических соединениях, в том числе и в виде двухкальциевого силиката – одного из минералов цементного клинкера. Высокий уровень подготовки сырьевой смеси при применении доменных шлаков обеспечивает повышение производительности печей и экономию топлива. Замена глины доменным шлаком позволяет снизить на 20% содержание известкового компонента, уменьшить при сухом способе производства клинкера удельный расход сырья и топлива на 10..15%, а также повысить производительность печей на 15%.

Практикой доказана эффективность использования шлаков в составе сырьевой смеси и при мокром способе производства. Установлено, что при использовании шлакового шлама производительность вращающихся печей увеличивается на 13….20%, расход сырьевых материалов на 1т клинкера снижается примерно на 12%, удельный расход топлива – на 10..15%. Для предохранения шлаковых шламов от загустения, расслоения и схватывания целесообразно в их состав вводить добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ) и применять интенсивное перемешивание.

Значительный прирост производства клинкера можно получить при двухстороннем питании вращающихся печей. Разработаны и применяются технологические схемы подачи молотого шлака в печь с ее горячего конца, а также дополнительного питания печей путем введения доменного шлака за цепную завесу и в зону декарбонизации. При этом производительность печей повышается на 20…25%, а удельный расход топлива снижается на 10…15%.

При применении маложелезистых шлаков – доменных и феррохромовых (разновидность шлаков ферросплавного производства) – при создании восстановительных условий плавки в электропечах возможно получение белых цементов. При окислении металлического хрома, содержащегося в феррохромовых шлаках, получают клинкеры с ровной и стойкой зеленой окраской.

В портландцемент с минеральными добавками при измельчении клинкера допустимо введение до 20% доменного шлака. При этом практически без изменения активности цемента расход клинкера снижается на 14…16%, а расход топлива уменьшается на 17…18%. По сравнению с бездобавочным цементом наблюдается некоторое понижение прочности на сжатие и изгиб в ранние сроки твердения, увеличивается усадка и повышается водоотделение. Коррозионная стойкость портландцемента с добавкой шлака выше на 5…10%, чем для бездобавочного цемента, как при нормальном твердении, так и после тепловлажностной обработки.

Портландцемент с добавкой высококальциевых низкоалюминатных шлаков обладает пониженной морозостойкостью. Цементы с добавкой высокоалюминатных шлаков по морозостойкости не уступают бездобавочному цементу, особенно после пропаривания.

Использование добавки шлака в портландцементе является эффективным средством борьбы с вредным влиянием щелочных оксидов, что особенно важно при использовании реакционноспособных заполнителей, а также для борьбы с

высолообразованием. Хорошие результаты достигаются при использовании в портландцементе смешанной добавки, содержащей доменный шлак и активную минеральную добавку осадочного происхождения.

Шлакопортландцемент - это гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе, получаемое совместным тонким измельчением клинкера, требуемого количества гипса и доменного гранулированного шлака (21…80%) или тщательным смешиванием тех же материалов, измельченных раздельно.

Шлакопортландцемент является одним наиболее эффективных видов вяжущих, так как при его производстве значительная часть клинкера заменяется более дешевым гранулированным шлаком. При использовании доменных шлаков для производства шлакопортландцемента топливно-энергетические затраты на единицу продукции снижаются в 1,5…2 раза, а себестоимость – на 25…30%. Например, при производстве шлакопортландцемента марки М400 расход топлива в среднем на 36% ниже, чем при производстве бездобавочного портландцемента той же марки. Расход электроэнергии сокращается на 12%, а затраты на содержание и эксплуатацию оборудования – на 10…15%.

Качество доменных шлаков при производстве цементов характеризуется коэффициентом качества и процентным содержанием оксидов: AL_2O_3, MgO, TiO_2, MnO. Доменные гранулированные шлаки как компоненты цементов подразделяют на три сорта (табл.2).

Таблица-2

Показатель	**сорт**		
	1	**2**	**3**
Коэффициент качества, не менее	1.65	1.45	1.2
AL_2O_3, не менее	8	7.5	не нормировано
MgO, %, не более	15	15	15
TiO_2 %, то же	4	4	4
MnO, %, »	2	3	4

Шлакопортландцемент с содержанием шлака 25…40% обычно применяют в тех же условиях, что и обычный портландцемент. Цементы содержащие 40…80% шлака, используются как низкотермичные в массивных гидросооружениях и в сооружениях, подвергающихся действию агрессивных вод, а также для изготовления изделий при тепловлажностной обработке.

Отечественная цементная промышленность выпускает обычный, быстротвердеющий и сульфатостойкий шлакопортландцементы.

При производстве *сульфатостойкого шлакопортландцемента* используют клинкер с содержанием C_3A не более 8% и шлак с содержанием AL_2O_3 не более 8%.

Для получения быстротвердеющего шлакопортландцемента рационален двухстадийный помол, т. е. предварительное измельчение клинкера с последующим совместным помолом клинкера и шлака до удельной поверхности не менее 4000 $см^2/г$. Двухстадийный помол обеспечивает более тонкое измельчение клинкерных зерен; целесообразен при использовании

основных шлаков, по размалываемости близких к клинкеру. Конечная прочность и другие свойства шлакопортландцемента улучшаются также и при более тонком измельчении шлака.

Строительно-технические свойства шлакопортландцемента характеризуются рядом особенностей по сравнению с портландцементом: более низкой плотностью (2,8…3 г/см^3); несколько замедленным схватыванием и нарастанием прочности в начальные сроки твердения. Существуют следующие марки шлакопортландцемента: М300; М400; М500. Быстротвердеющий шлакопортландцемент через 3 сут имеет прочность на сжатие не менее 20 МПа, на изгиб – не менее 3,5 МПа. Марка его должна быть не менее М400. Для сульфатостойкого шлакопортландцемента установлены марки М300 и М400.

Бесклинкерные шлаковые вяжущие – это продукты тонкого измельчения шлаков, содержащие добавки активизаторов их твердения. Активизаторы тщательно смешивают со шлаком при их совместном измельчении (сульфатно-шлаковые, известково-шлаковые вяжущие), или затворении водными растворами щелочей (шлакощелочные вяжущие).

Сульфатно-шлаковые цементы – это гидравлические вяжущие вещества, получаемые совместным тонким измельчением доменных шлаков и сульфатного возбудителя твердения (гипса или ангидрита) с небольшой добавкой щелочного активизатора (извести, портландцемента или обоженного доломита).

Широкое распространение из группы сульфатно-шлаковых получил *гипсошлаковый цемент,* содержащий 75…85% шлака, 10…15 двуводного гипса или ангидрита, до 2% оксида кальция или 5% портландцементного клинкера. Высокая активизация обеспечивается при использовании ангидрита, обоженного при температуре около 700^{0}С, и высокоглиноземистых основных шлаков. По мере уменьшения основности шлаков целесообразно увеличение концентрации извести (от 0,2 г/л CaO для основных шлаков до 0,4 ..0,5 г/л для кислых).

Разновидностью этой группы цементов является также *шлаковый бесклинкерный цемент,* состоящий из 85…90% шлака, 5…8% ангидрита и 5…8% обоженного доломита. Степень обжига доломита зависит от основности шлаков. При использовании основных шлаков обжиг ведут при температуре 800…900^{0}С до частичного разложения $CaCO_3$, а кислых – при температуре 1000…1100^{0}С до полной диссоциации $CaCO_3$.

Известково-шлаковые цементы –это гидравлические вяжущие вещества, получаемые совместным помолом доменного гранулированного шлака и извести. Их применяют для изготовления строительных растворов и бетонов марок не более 200. Для регулирования сроков схватывания и улучшения других свойств этих вяжущих при их изготовлении вводится до 5% гипсового камня. Цементы более высокого качества можно получить, применяя основные шлаки с повышенным содержанием глинозема и негашеную известь, содержание которой 10…30%.

Известково-шлаковые цементы по прочности уступают сульфатно-шлаковым. Их марки: М50, М100, М150, М200. Начало схватывания должно наступать не ранее чем через 25 мин, а конец – не позднее чем через 24 ч после начала затворения. При снижении температуры, особенно ниже 10^{0}С, нарастание прочности резко замедляется и, наоборот, повышение температуры при достаточной влажности среды способствует интенсивному твердению. Твердение на воздухе возможно лишь после достаточно продолжительного твердения (15…30 сут) во влажных условиях. Для известково-шлаковых цементов характерны низкая морозостойкость, высокая стойкость в агрессивных водах и малая экзотермия.

Шлакощелочные вяжущие – это гидравлические вяжущие вещества, получаемые измельчением гранулированных шлаков совместно со щелочными компонентами или затворением молотых шлаков растворами соединений щелочных металлов (натрия или калия), дающих щелочную реакцию.

Для получения шлакощелочных вяжущих применяют гранулированные шлаки – доменные, электротермофосфорные, цветной металлургии. Необходимое условие активности шлаков – это наличие стекловидной фазы, способной взаимодействовать со щелочами. Тонкость помола должна соответствовать удельной поверхности не менее 3000 $см^2/г$.

В качестве щелочного компонента применяют каустическую и кальцинированную соду, поташ, растворимый силикат натрия и др. Обычно используют такие попутные продукты промышленности: плав щелочей (содовое производство); содощелочной плав (производство капролактама); содопоташную смесь (производство глинозема); цементную пыль и т. п. Использование щелочесодержащих отходов позволяет ежегодного получать более 30 млн. т шлакощелочных вяжущих. Оптимальное содержание щелочных соединений в вяжущем в пересчете на Na_2O составляет 2..5% массы шлака.

Начало схватывания этих вяжущих не ранее 30 мин, а конец – не позже 12 ч от начала затворения.

По пределу прочности при сжатии через 28 сут шлакощелочные вяжущие подразделяют на марки от М300 до М1200. Для ускорения набора прочности и уменьшения деформативности в вяжущее вводят добавку цементного клинкера (2…6%, масс). Предел прочности при сжатии быстротвердеющего шлакощелочного вяжущего в возрасте 3 сут для марок М400 и М500 составляет не менее 50% марочной прочности, а для марок М600…М1000 – не менее 30 МПа.

Шлакощелочные вяжущие восприимчивы к действую тепловлажностной обработки. При температуре пропаривания 80…90^0С цикл обработки может быть сокращен до 6…7 ч, активная часть режима составляет 3..4 ч. можно значительно снизить и максимальную температуру пропаривания, а также использовать ступенчатые и пиковые режимы обработки.

Экономическая эффективность их высока. Удельные капиталовложения на производство этих вяжущих в 2..3 раза меньше, чем при производстве

портландцемента, так как отсутствуют фондо-, капитало- и материалоемкие технологические операции: не нужны разработка месторождений, подготовка сырья, дробление, обжиг и др. Например, сравнивая затраты на производство шлакощелочных вяжущих марок М600…М1200 и портландцемента марки М600, увидим, что их себестоимость ниже в 1,7…2,9 раза, удельный расход условного топлива – в 3…5, электроэнергии – в 2, приведенные затраты – в 2…2,5 раза меньше, чем при производстве портландцемента.

2.3. Заполнители из металлургических шлаков

Металлургические шлаки являются значительным резервом обеспечения строительной индустрии заполнителями для бетонов. Шлаковые заполнители по величине насыпной плотности могут быть тяжелыми ($\rho_0 > 1000$ кг/м^3) и легкими ($\rho_0 \leq 1000$ кг/м^3), а по крупности зерен – мелкими (< 5 мм)_ и крупными (> 5 мм).

Ш л а к о в ы й щ е б е н ь получают дроблением отвальных металлургических шлаков или специальной обработкой огненно-жидких шлаковых расплавов (литой шлаковый щебень). Для производства щебня в основном применяют отвальные шлаки, сталеплавильные (приемлемые для переработки в щебень), а также медеплавильные, никелевые и другие шлаки цветной металлургии.

Физико-механические свойства литого шлакового щебня:

Средняя плотность кусков, кг/м^3 – 2200…2800

Истинная плотность, кг\м^3 - 2900…3000

Предел прочности на сжатие, МПа - 60…100

Водопоглощение, % масс. – 1…5

Насыпная плотность щебня, кг/м^3 1200…1500

Литой шлаковый щебень характеризуется высокими морозо- и жаростойкостью, а также сопротивлением истиранию. Стоимость его почти в

2 раза меньше, чем щебня из природного камня. Для изготовления бетонных и железобетонных изделий применяют фракционированный литой шлаковый щебень крупностью 5…70 мм. Несортированный материал используется в дорожном строительстве и в производстве минеральной ваты, а отсев может служить заполнителем жароупорных бетонов и частично заменять гранулированный шлак в производстве шлакопортландцемента. Для получения литого плотного шлакового щебня кристаллической структуры применяются «малогазистые» огненно-жидкие шлаки, в которых при охлаждении образуется минимальное число пор, средняя плотность кусков – не менее 2200 кг/м^3.

В зависимости от крупности зерен щебень делится на фракции: 5…10, 10…20, 20…40, 40..70. 70…120 мм. Зерновой состав шлакового щебня, как и других видов заполнителя, подбирается для обеспечения минимальной пустотности. Минимальная насыпная плотность щебня каждой из фракций составляет 1000 кг/м^3. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, %, должно быть для щебня: кубовидного – не более 15: улучшенного – 25; обычного – 35. Длина таких зерен в три и более раза превышает их толщину или ширину.

Прочность шлакового щебня характеризуется его маркой. Для щебня из доменного шлака, применяемого в качестве заполнителя тяжелого бетона, установлено пять марок по прочности:

Марка щебня по прочности – 1200, 1000, 800, 600, 300

Потеря в массе после испытаний, % - до 15, 15…25, 25…35, 35…45, 45…55

Щебень марки М1200 может быть использован при изготовлении бетона марки М400 и выше, М1000 – марки М300, М800 – марки М200 и М600 – ниже М200. Щебень низких марок применяется также при изготовлении бетонов

более высокой прочности, но после соответствующей проверки и технико-экономического обоснования.

В зависимости от числа циклов, которые выдерживает щебень при испытании, устанавливают его марки по морозостойкости.

Содержание в шлаковом щебне отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц должно быть не более 3% для слабоактивного и неактивного шлаков. Для активных и высокоактивных шлаков содержание отмучиваемых примесей не нормируется. Недопустимо содержание в щебне примесей топливных шлаков, золы, колошниковой пыли.

Содержание глины в комках в щебне из шлаков всех видов не должно быть более 0,25% по массе.

В металлургических шлаках содержится сера, вызывающая коррозию арматурной стали. В щебне из доменного шлака ее содержание не должно превышать 2,5% по массе. Наличие серы необходимо учитывать в производстве преднапряженных железобетонных конструкций, где возможность использования шлакового щебня должна быть обоснована специальными исследованиями.

Шлаковый щебень применяется не только как заполнитель цементных бетонов, но также в дорожном строительстве для укрепления оснований и устройства асфальтобетонных покрытий. В зависимости от структурных особенностей, сопротивления истиранию и дробимости шлаковый щебень делится на марки:

Марка щебня по истираемости - И I, ИII, ИIII, ИIV

Потеря массы при испытании, % - < 25, 25…35, 35…45, 45…60

Дорожное строительство является наиболее материалоемкой областью применения шлакового щебня. Требования, предъявляемые к шлаковому щебню, зависят от слоя дорожной одежды, где он используется. Так, как материал, укладываемый в подстилающий слой, должен обладать водоустойчивостью и морозостойкостью, щебень для оснований – шероховатой

поверхностью. В утрамбованном состоянии материал для строительства дорог должен обладать высокой прочностью на сдвиг. Для обеспечения движения с установленной скоростью покрытия должны иметь высокую износостойкость и сохранять ровность. Одним из основных требований к щебню для дорожного строительства является его способность не дробиться при укладке и уплотнении.

Из сталеплавильных шлаков получают высококачественный минеральный порошок, являющийся важным структурообразующим компонентом асфальтобетона. На долю минерального порошка приходится 90…95% суммарной поверхности минеральных зерен, входящих в состав асфальтобетона. Основное его назначение – это перевод битума в пленочное состояние, а также заполнение пор между крупными частицами, в результате чего повышается плотность и прочность асфальтобетона. Минеральному порошку из сталеплавильных шлаков свойственна более развития поверхность, чем у порошка из карбонатных материалов и, как следствие, более высокое набухание его в смеси с битумом.

Недостатком шлаковых асфальтобетонных смесей является их высокая средняя плотность, на 15…25% превышающая плотность смесей из природных материалов.

Г р а н у л р о в а н ы й ш л а к применяют в бетонах как мелкий заполнитель. По зерновому составу он соответствует крупному песку. Примерно 50% его массы составляют зерна крупностью более 2,5 мм. Насыпная плотность гранулированного шлака зависит от свойств шлакового расплава и технологии грануляции и составляет 600…1200 кг/м^3. Гранулы, образующиеся при быстром охлаждении шлакового расплава водой или паровоздушной смесью, характеризуются высоким содержанием стекловидной фазы и пористостью.

Гранулированный шлак является эффективным заполнителем обычных и мелкозернистых бетонов, может служить укрупняющей добавкой для

обогащения природных мелких песков. Пористые разновидности гранулированного шлака применяют как заполнители легких бетонов.

Ш л а к о в а я п е м з а - один из наиболее эффективных видов искусственных пористых заполнителей. Ее получают поризацией шлаковых расплавов в результате их быстрого охлаждения водой, воздухом, паром а также воздействием минеральных газообразователей. Возможны следующие механизмы поризации расплава: вспучивание подъемом газовых пузырьков в расплавленной массе; вспучивание путем смешивания расплава с поризующими газами.

Особенности структуры шлаковой пемзы зависят от свойств и состава поризуемого расплава, а также от природы газов и их количества. Исходные расплавы могут иметь разнообразный химический состав, однако должны быть устойчивы ко всем видам распада. Температура расплава, поступающего на поризацию, не менее 1250^0С, вязкость при этом не должна превышать 5Па-с.

Поризация расплава происходит при перенасыщении его газами, которое наступает вследствие понижения их растворимости и кристаллизации расплава.

В России освоено производство шлаковой пемзы следующими способами: брызгально-траншейным, бассейновым, водо-дутьевым и гидроэкранным.

Шлаковую пемзу выпускают в виде щебня трех фракций (5…10, 10…20, и 20…40 мм) и песка (рядового с зернами крупностью менее 5 мм, мелкого – менее 1,25 и крупного – 1,25…5 мм). Для каждой фракции щебня, а также мелкого и крупного песка нормируется зерновой состав.

В зависимости от насыпной плотности, кг/м^3, шлаковую пемзу делят на марки: для щебня – 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900; песка – 600, 700, 800, 900, 1000.

Зависимость между прочностью щебня и маркой щебня по насыпной плотности:

Марка щебня по насыпной плотности – 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900

Прочность при сдавливаниив цилиндре, МПа, не менее – 0,3, 0,35, 0,40, 0,45, 0,55, 0,65, 0,70, 0,90, 1,1, 1,3, 1,5

Марку щебня из шлаковой пемзы по морозостойкости определяют по числу циклов попеременного замораживания и оттаивания, при котором потеря массы исследуемой пробы не должна превышать 8%. Морозостойкость щебня из шлаковой пемзы должна составлять не менее 15 циклов.

Размер пор шлаковой пемзы зависит от способа получения и равен 0,4…4,5 мм, пористость составляет 52…78, водопоглощение – 10…5%. Шлаковая пемза применяется как заполнитель легких бетонов с широким диапазоном по средней плотности и прочностным показателям.

Затраты на изготовление 1 $м^3$ этого материала в 5 раз меньше, производительность труда в 4…5 раз выше, чем при производстве других пористых заполнителей. На выпуск шлаковой пемзы практически не расходуется технологическое топливо. Расход электроэнергии на производство 1 $м^3$ щебня и песка из шлаковой пемзы составляет 6,2 кВт·ч, а на производство 1 $м^3$ керамзитового гравия – 24, аглопорита – 47,4 кВт·ч.

Перспективной является гравиеподобная шлаковая пемза, имеющая плотную остеклованную оболочку зерен. Ее применение позволит уменьшить расход цемента и снизить среднюю плотность легких бетонов.

2.4. Бетоны на основе металлургических шлаков

В настоящее время разработаны и применяются в строительстве разнообразные виды бетонов с применением как вяжущих, так и заполнителей на основе металлургических шлаков. Стоимость изделий из шлаковых бетонов на 20…30% меньше, чем традиционных.

В зависимости от вида шлаковых заполнителей изготавливают бетоны с различной средней плотностью: особо тяжелые (ρ_0>2500 кг/м^3) на некоторых шлаках сталеплавильного производства и цветной металлургии; тяжелые (ρ_0=1800…2500 кг/м^3) на литом и отвальном шлаковом щебне, песка и гранулированном шлаке; легкие (ρ_0<1800 кг/м^3) на шлаковой пемзе (крупный заполнитель) и гранулированном шлаке (мелкий заполнитель). Параллельно с крупнозернистым используют мелкозернистые шлаковые бетоны, где заполнителем является гранулированный шлак.

В зависимости от структуры различают обычные, плотные, крупнопористые и ячеистые шлаковые бетоны. Последние являются особенно эффективными.

По назначению шлаковые бетоны делятся на: конструкционные или общего назначения; конструкционно - теплоизоляционные, применяемые при возведении ограждающих конструкций; гидротехнические; дорожные; теплоизоляционные; кислото- и жаростойкие.

Твердение шлаковых бетонов возможно при обычных условиях, однако их качество значительно повышается при тепловлажностной обработке (пропаривании и особенно автоклавном твердении).

Обычные тяжелые бетоны. Применяя обычные или шлаковые вяжущие в сочетании со шлаковыми заполнителями, можно получить тяжелые бетоны всех классов по прочности на сжатие. При этом для пропаренных бетонов достигается прочность 10…30 МПа, а для бетонов автоклавного твердения – 30…60 МПа. Замена в тяжелых бетонах крупного заполнителя из плотных горных пород шлаковым щебнем, полученным дроблением плотных металлургических шлаков, практически не снижает, а иногда несколько повышает прочность бетона за счет их более развитой и активной поверхности.

Бетоны на шлаковом щебне имеют более высокую прочность при растяжении и изгибе, чем на гранитном.

Удобоукладываемость шлаковых бетонных смесей зависит от водопотребности заполнителя. Обычно бетоны на шлаковом щебне более жесткие и менее удобоукладываемые, чем на гранитном.

Морозостойкость бетонов на шлаковых вяжущих и крупном плотном заполнителе ниже, чем обычных цементных, и составляет 50…100 циклов, кроме бетонов на шлакощелочных вяжущих, где она значительно выше. Повышение морозостойкости может быть достигнуто как общими для всех бетонов технологическими приемами (например, снижением В/Ц, смягчением режима тепловой обработки, введением воздухововлекающих добавок), так и применением вместо пропаривания автоклавной обработки.

Деформативные свойства шлаковых бетонов и сцепление их с арматурой аналогичны свойствами цементных бетонов на плотных заполнителях, что позволяет изготавливать из пропаренных и автоклавных бетонов на шлаковых и заполнителях разнообразные несущие железобетонные конструкции промышленного и гражданского строительства.

Мелкозернистые бетоны. В строительстве накоплен положительный опыт применения тяжелых и легких мелкозернистых шлаковых бетонов. В роли вяжущего используют бесклинкерные шлаковые вяжущие и шлакопортландцемент, а заполнителями служат шлаковый песок и гранулированный шлак.

Характерными особенностями мелкозернистых бетонов на бесклинкерных шлаковых вяжущих являются следующие: сравнительно высокая прочность на осевое растяжение (0,09…0,12 $R_{сж}$) и растяжение при изгибе (0,15…0,3 $R_{сж}$); большая деформативность, чем у обычных тяжелых бетонов.

Разработана технология изготовления мелкозернистого шлакобетона прочностью 30…100 МПа со средней плотностью 1800…2300 кг/м^3, где в качестве вяжущего используют шлакопортландцемент, а заполнителями служат гранулированный и отвальный доменные шлаки.

Оптимальный зерновой состав шлака для мелкозернистых шлаковых бетонов с прочностью на сжатие 30…10 МПа определяется по формуле

$$П=100\sqrt{d_x}/(Д-5)+3(к-1)$$

где П – количество шлака, %, прошедшего через сито с диаметром отверстия х; d_x – наибольший размер зерен, соответствующий диаметру отверстий х, мм; Д – максимальная крупность зерен, мм, Д = 10; к – отношение шлакового заполнителя к цементу, к = 2…6.

Легкие бетоны. Шлаковые цементы и заполнители широко применяют для производства легких бетонов со средней плотностью 1200…1600 кг/м^3 и прочностью на сжатие 5…25 МПа. Для легких шлаковых бетонов характерны общие свойства, присущие легким бетонам, такие как достижение максимальной прочности при расходе воды, обеспечивающем минимальный выход бетонной смеси, а также при использовании фракционированных пористых заполнителей; рост прочности с увеличением расхода вяжущего до определенного предела и др. Особенностями легких шлаковых бетонов на бесклинкерных шлаковых вяжущих являются большая деформативность и несколько меньшее сцепление с арматурой, чем у бетонов на портландцементе.

Таблица-3

Заполнитель	**Прочность на сжатие**		
Шлаковая пемза	0,9…1,3	1…1,35	1,1…1,4
Гранулированный доменный шлак	1,3…1,6	1,4…1,65	1,5…1,7
Доменные отвальные шлаки	1,1…1,35	1,25…1,45	1,35…1,55

Легкими заполнителями шлаковых бетонов служат: шлаковая пемза с насыпной плотностью ρ_0 = 500…800 кг/м^3, гранулированный доменный шлак (ρ_0 =700…1000), доменные поризованные отвальные шлаки (ρ_0=800…1000).

Средняя плотность легких бетонов колеблется в зависимости от марки и вида заполнителей. В табл. 3 приведены данные, характеризующие среднюю плотность легких шлаковых бетонов, т/м^3, на различных заполнителях.

Структуры шлаковой пемзы и гранулированного доменного шлака характеризуются преобладанием стекловидной фазы, что объясняет меньшую теплопроводность у шлаковых бетонов, чем у легких бетонов, имеющих одинаковую среднюю плотность, на заполнителях кристаллического строения (например, керамзите, аглопорите и пр.).

Легкие бетоны на шлаковой пемзе отличаются сравнительно высокой прочностью на осевое растяжение и, подобно бетонам на природных заполнителях вулканического происхождения, имеют повышенный модуль упругости. По сравнению с другими видами легких бетонов шлакопемзобетон отличается максимальной предельной растяжимостью, что повышает трещиностойкость конструкций.

Шлакопемзобетоны имеют высокую морозостойкость, что обусловлено особенностями структуры шлаковой пемзы, способствующей резкому снижению исходного водоцементного отношения бетонной смеси из-за быстрого поглощения заполнителем воды затворения и соответственно образованием низкой капиллярной пористости цементного камня. Повышенной морозостойкости шлакопемзобетона способствуют хорошая деформативность заполнителя, гасящего значительную часть возникающего внутреннего давления, и прочная контактная зона шлакпемзового щебня с матрицей (растворной частью). Возможно получение конструкционного шлакопемзобетона морозостойкостью до 600 циклов и более.

Ячеистые бетоны отличаются от других видов искусственных каменных материалов равномерно распределенными порами в виде сферических ячеек диаметром 1…3 мм. Изготавливаются из вяжущего, кремнеземистого компонента, порообразователя и воды. В производстве ячеистых бетонов, обычно твердеющих при автоклавной обработке, широко применяют шлаковые вяжущие, гидравлическая активность которых особенно проявляется с повышением температуры и давления водяного пара. Это прежде всего известково-шлаковые вяжущие на гранулированных доменных шлаках. Отвальные шлаки применяют, если величина их модуля основности составляет не менее 0,6, а модуля активности (процентное отношение AL_2O_3 к SiO_2) не менее 0,4. Известково-шлаковый цемент начинает схватываться не позднее чем через 2 ч после затворения, его удельная поверхность должна составлять не менее 4000 $см^2$/г, количество активного CaO – не менее 10%.

В производстве ячеистых бетонов эффективно также применение шлакопортландцемента.

Гранулированные и отвальные шлаки, измельченные до удельной поверхности 1500…3500 $см^2$/г, могут служить не только компонентами вяжущего, но и активными наполнителями ячеистых бетонов наряду с другими тонкодисперсными кремнеземистыми материалами.

Прочность ячеистых бетонов на шлаковых материалах изменяется в зависимости от средней плотности. Так, теплоизоляционный газозолошлакобетон с ρ_0=400…500 кг/$м^3$ имеет прочность на сжатие 0,6…2 МПа, а конструктивно-теплоизоляционный (ρ_0=600…1200) – 3…12,5. Максимальная прочность ячеистых бетонов достигается при соотношении между шлаковым вяжущим и кремнеземистым компонентом в пределах 1:0,5…1: 1,2 в зависимости от особенностей сырьевых материалов. На прочность также влияет тонкость помола шлаковых материалов. Так, при увеличении удельной поверхности шлакового вяжущего от 3500 до 6500 $см^2$/г

его прочность возрастает на 50…60%. Показатели прочности и других свойств значительно улучшаются при понижении водо-твердого отношения до 0,25…0,35, что достигается виброобработкой при приготовлении ячеистой смеси и на стадии формования. Вибрационное воздействие, разжижая смесь и увеличивая поверхность взаимодействия сырьевых компонентов, способствует интенсификации процессов газовыделения и гидратации, тем самым повышая прочность на 25…35% и снижая усадочные деформации на 15…20%. Кроме комплексной виброактивизации смесей, для снижения водо-твердого отношения имеют длительное перемешивания и введение пластифицирующих ПАВ.

Конструкции из ячеистых бетонов, особенно изготовленные из отходов промышленности, обладают высокими технико-экономическими показателями. Так, стены из газобетонных панелей в 1,3…2 раза легче стен из керамзитобетона при более низкой стоимости первых. Удельные капиталовложения в производстве конструкций из автоклавного шлакобетона на 30…40% ниже, чем производство аналогичных конструкций из других видов бетона.

Жаростойкие бетоны. Шлаковые материалы широко используют в производстве жаростойких бетонов в качестве вяжущих, заполнителей, тонкомолотых добавок и отвердителей. Вяжущие на основе металлургических шлаков по жаростойкости превосходят портландцемент, что объясняется сравнительно низким содержанием в шлаковом цементном камне гидроксида кальция. Применяя шлакопортландцемент, можно получить жаростойкие бетоны, пригодные для эксплуатации до 1200^0С.

В портландцементные бетоны вводят тонкомолотую добавку, содержащую активный кремнезем и реагирующую при $800…1000^0$С с CaO. В роли таких добавок наряду с шамотом, золой-уносом и другими кремнеземистыми материалами при максимальной температуре службы бетона

700^0С применяют тонкоизмельченные доменные шлаки. Степень измельчения шлаков должна быть такой, чтобы сквозь сито № 008 проходило не менее 70% взятой пробы, а модуль основности был не более 1. Необходимость введения тонкомолотой добавки при замене портландцемента шлакопортландцементом определяется величиной остаточной прочности бетона. Если она не ниже 40% после нагревания бетона до 700^0С, то тонкомолотую добавку можно не вводить.

Для жаростойких бетонов заполнителями могут служить гранулированные и отвальные металлургические шлаки, а также шлаковая пемза. Максимальная рабочая температура шлаковых жаростойких бетонов на портландцементе и шлакопортландцементе достигает 700…800^0С. При более высоких температурах прочность бетона резко уменьшается из-за размягчения стекловидной фазы в шлаковых заполнителях.

Качество жаростойких бетонов характеризуется следующими параметрами: прочностью на сжатие; термической стойкостью; деформацией под нагрузкой при высоких температурах; усадкой и термическим расширением. Начальная прочность на сжатие тяжелых шлаковых бетонов достигает 30 МПа, снижаясь при 700…800^0С в 2…2,5 раза. Жаростойкие бетоны на шлаковых заполнителях имеют сравнительно низкую термическую стойкость, что обусловлено повышенным коэффициентом термического расширения шлаков. Шлаковые бетоны выдерживают в среднем около 7-ми теплосмен при водном охлаждении и 20-ти воздушных теплосмен после нагрева образцов до 800^0С. Более высокой термической стойкостью отличаются мелкозернистые шлаковые бетоны на шлакопортландцементе.

В настоящее время возможно получение жаростойких бетонов на доменных шлаках с повышенной степенью кристаллизации и температурой применения до 1000^0С. в качестве тонкомолотой добавки применяют ферромолибденовый шлак. С применением глиноземистого цемента и

шлаковой пемзы получают легкие жаростойкие бетоны с плотностью 440…1600 кг/м^3 и с максимальной температурой службы 800…1000^{0}С.

Используя вяжущие и заполнители, полученные из шлаков сталеплавильного и ферросплавного производства, разработаны жаростойкие бетоны, работающие при 800…1700^{0}С.

2.5. Шлакощелочные бетоны

Шлакощелочные бетоны – это бетоны, приготовленные на основе шлакощелочных вяжущих. В Киевском инженерно-строительном и Ташкентском архитектурно строительном институтах разработана технология тяжелых и легких, в том числе ячеистых, шлакощелочных бетонов.

Ориентировочный состав тяжелых бетонов, %: молотый гранулированный шлак – 15…30; щелочной компонент – 0,5…1,5; заполнители – 70…85.

При твердении таких бетонов щелочи взаимодействуют не только со шлаком, но и с заполнителями, в первую очередь, с глинистыми и пылеватыми частицами, образуя нерастворимые щелочные гидроалюмосиликаты – аналоги природных цеолитов, способствующие уплотнению и повышению прочности материала. В связи с этим требования к заполнителям для шлакощелочных бетонов значительно снижаются. Помимо традиционных заполнителей (щебня, гравия, песка) для этой цели могут быть использованы многие дисперсные природные материалы и попутные продукты различных отраслей промышленности.

Из природных материалов широко используют многие местные грунты и рыхлые горные породы, такие как мелкие пески, супеси, лессы, гравийно-песчаные и глино-гравийные смеси, которые из-за высокой дисперсности и загрязненности недопустимы для приготовления цементных бетонов.

Содержание глинистых частиц может достигать 5% масс, а пылеватых – 20%. Не допустимо применение заполнителей, содержащих зерна гипса и ангидрита.

Для приготовления тяжелых и легких шлакощелочных бетонов из промышленных отходов можно применять различные шлаки, золы и золошлаковые смеси ТЭС, горелые породы, отходы камнедробления и камнепиления, в том числе известняковые, дисперсные органические отходы растительного происхождения и др.

Показатели прочности тяжелого бетона на сжатие характеризуются марками М200…М1400. В зависимости от гарантированных значений прочности на сжатие установлены классы от В15 до В60 (параметрический ряд классов продолжен от В70 до В110). Прочность на растяжение составляет 1/10…1/15, а прочность на изгиб – 1/6…1/10 прочности на сжатие.

Прочность пропаренных изделий достигает 100% и более марочной прочности. Автоклавная обработка активизирует рост прочности, в связи с чем продолжительность тепловлажностной обработки может быть значительно сокращена по сравнению с цементобетонными изделиями. Рекомендуемая продолжительность выдержки изделий до обработки 2…3 ч.

Коэффициент размягчения шлакощелочных бетонов составляет 0,9…1.0, а иногда превышает 1,0.

Модуль упругости этих бетонов на крупном заполнители такой же, как у цементных, предельная сжимаемость составляет 1…2 мм/м, предельная растяжимость – 0,15…0,3 мм/м.

Истираемость шлакощелочных бетонов равно 0,2…1,2 г/см^2, что соответствует показателями истираемости горных пород типа гранитов и плотных песчаников.

Структура шлакощелочного камня характеризуется наличием мельчайших замкнутых пор округлой формы, что является следствием

повышенного поверхностного натяжения щелочного раствора до затвердения. Такая структура затвердевшего вяжущего предопределяет высокую водонепроницаемость и морозостойкость шлакощелочных бетонов. Установлены марки: водонепроницаемости W4…W30, морозостойкости F200…F1000.

Достаточная плотность шлакощелочных бетонов и постоянная щелочная среда обеспечивают высокую сохранность стальной арматуры. Стабильной водородный показатель среды (pH≥12) и хорошее сцепление бетона с арматурой позволяют изготовлять армированные конструкции из шлакощелочного бетона, в том числе и предварительно напряженные.

Для изделий из шлакощелочных бетонов характерна повышенная коррозионная стойкость, так как в продуктах их твердения нет высокоосновных гидроалюминатов кальция, вызывающих сульфатную коррозию цементов, а также отсутствует свободная известь, выщелачивание которой приводит к разрушению цементного камня в мягких водах. Вследствие этого по стойкости в среде с низкой гидрокарбонатной жесткостью, минерализованных сульфатных и магнезиальных водах шлакощелочные бетоны превосходят бетоны не только на портландцементе, но и на сульфатостойком цементе. Кроме того, они являются стойкими против действия бензина и других нефтепродуктов, концентрированного аммиака, растворов сахара и слабых растворов органических кислот; отличаются также высокой биостойкостью.

Опыт применения шлакощелочных бетонов для зимнего бетонирования показал, что шлакощелочные бетонные смеси не замерзают при температурах до – 10…15^{0}С. Эти бетоны способны также твердеть при отрицательных температурах.

При введении соответствующих добавок и заполнителей на основе шлакощелочных вяжущих получают бетоны с повышенной жаростойкостью.

При выборе определенных шлаков и заполнителей изготавливают декоративные материалы.

Шлакощелочные бетоны могут быть использованы как конструкционные материалы в промышленном и гражданском строительстве, а с учетом их особых свойств – и в других областях строительства (например, гидротехническом, водохозяйственном, дорожном, сельском, транспортном). Они могут служить также в качестве специальных растворов и бетонов: коррозионно-стойких, жаростойких, тампонажных, отделочных, для зимнего бетонирования и др.

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ ТОПЛИВНОЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

3.1.Общая характеристика топливосодержащих отходов

К топливосодержащим побочным продуктам относятся продукты, получаемые в виде отходов при добыче, обогащении и сжигании твердого топлива. Основными видами твердого топлива являются каменные и бурые угли. При добыче и обогащении углей побочными продуктами служат *шахтные и вскрышные породы, отходы углеобогащения.*

Для применения в производстве строительных материалов интерес представляют отходы углеобогащения, характеризуемые наименьшими колебаниям состава и свойств. Они представлены различными породами: аргиллитами, алевролитами, песчаниками и др. Содержание угля, не выделенного в процессе обогащения, может достигать 20%. Отходы углеобогащения представлены обычно в виде кусков крупностью 8…80 мм.

После основной переработки на предприятиях коксохимического производства остаются побочные продукты углеобогащения в виде шламов с влажностью до 30% и с размером частиц менее 0, 14 мм, «хвостов» флотации, содержащих шахтную породу с включениям топлива и размером зерен 3 мм, а также крупных кусков породы.

Продуктами обжига пустых пород, сопутствующих месторождениям каменных углей, являются *горелые породы.* Их разновидностями являются глиежи – глинистые и глинисто-песчаные породы, обоженные в недрах земли при подземных пожарах в угольных пластах, и отвальные перегоревшие шахтные породы.

Залежи природных горелых пород широко распространены в различных районах страны. Истинная плотность их составляет 2,4…2,7 г/см^3, средняя плотность – 1300….2500 кг/м^3, прочность на сжатие – 20…60 МПа. По

основным физическим и химическим свойствам они близки к глинам, обоженным при 800…1000^{0}С. Химико-минералогический состав горелых пород разнообразен, однако общим для них является наличие активного глинозема в виде радикалов дегидратированных глинистых минералов или в виде активных глинозема, кремнезема и железистых соединений. В отличие от зол и шлаков горелые породы почти не содержат стекловидных компонентов и характеризуются высокой сорбционной способностью. Содержание несгоревшего топлива в глиежах достигает 2..3%, в отвальных горелых породах оно может быть более значительным.

При сжигании твердых видов топлива в топках тепловых электростанций образуются зола в виде пылевидных остатков и кусковой шлак. Они являются продуктами высокотемпературной (1200…1700^{0}С) обработки минеральной части топлива.

Топливо сжигают в слое над колосниковой решеткой в виде мелких кусков или при вдувании в пылевидном состоянии. Золы пылевидного сжигания проходят высокотемпературную обработку. Они имеют сравнительно однородной химический состав и незначительное содержание несгоревших частиц топлива. Некоторая часть золы оседает на трубах котла, поде и стенках топки, но основная ее масса (зола-унос) уносится с дымовыми газами, улавливается и скапливается в бункерах, откуда удаляется потоком воды или пневмотранспортом. На большинстве действующих ТЭС применяют систему гидроудаления для транспортирования золы в отвалы.

Для применения золы в производстве строительных материалов предпочтительнее применять систему пневмоудаления золы, которая позволяет поставлять золу потребителям в сухом виде, с меньшим содержанием несгоревших частиц и предотвращать ее смерзание в отвалах зимой.

Наиболее эффективным золоуловителями являются электрофильтры, КПД которых равен…95…97%. В настоящее время установки для сухого

золоудаления установлены на ряде тепловых электростанций, а количество улавливаемой золы превышает 10 млн. т в год.

Шлаки – основной вид отходов при кусковом сжигании топлива. При пылевидном сжигании шлаки составляют 10…25% от массы образуемой золы.

Шлаки образуются в результате спекания отдельных частиц на колосниковой решетке при температуре свыше 1000^0С или при охлаждении расплавленной минеральной части топлива при температуре более 1300^0С.

В связи с интенсификацией процессов сжигания твердого топлива и переходом к использованию в тепловой энергетике многозольных видов углей и сланцев перспективно применение топок с жидком шлакоудалением. Продуктами жидкого шлакоудаления из энергетических топок являются топливные гранулированные шлаки, образуемые в результате быстрого охлаждения водой минерального расплава. Жидкое шлакоудаление обеспечивается подогревом воздуха до температуры около 700^0С или снижением температуры плавления минеральной части топлива при добавке к ней флюса.

В отличие от зол, шлаки, образуемые при более высоких температурах, практически не содержат несгоревшее топливо и характеризуются большей однородностью.Шлак удаляют гидравлическим или сухим способом. При гидравлическом способе, имеющем пока большее распространение, золы и шлаки смешиваются.

Зола-унос представляет собой тонкодисперсный материал, состоящий в основном из частиц размером 5…100 мкм. Ее химико-минералогический состав соответствует составу минеральной части сжигаемого топлива. Например, при сгорании каменного угля зола представляет собой обоженное глинистое вещество с включением дисперсных частиц кварцевого песка, при сгорании сланцев –мергели с примесями гипса и песка. При обжиге минеральной части

топлива дегидратируется глинистое вещество и образуются низкоосновные алюминаты и силикаты кальция.

Основным компонентом золы-уноса является стекловидная алюмосиликатная фаза, составляющая 40…65% всей массы и имеющая вид частиц шарообразной формы размером до 100 мкм. Из кристаллических фаз в золах могут присутствовать $\mathcal{L}$ - кварц и муллит, а при повышенном содержании Fe_2O_3 также гематит. Количественное соотношение между $\mathcal{L}$ - кварцем и муллитом определяется соотношением SiO_2/AL_2O_3. С увеличением последнего содержание $\mathcal{L}$ –кварца в кристаллической фазе возрастает, муллита убывает. Соответственно несколько возрастет активность зол по поглощению извести. Золы, обогащенные оксидами железа, более легкоплавки, в них образуется больше стекла.

Если минеральная часть топлива содержит значительное количество карбонатов, то в золе образуются низкоосновные силикаты и ферриты кальция, способные взаимодействовать с водой.

Высококальциевой зольной частью обладают бурые и каменные угли ряда месторождений Средней Азии и Сибири, горючие сланцы.

В небольшом количестве в золе находятся следующие примеси: свободные оксиды кальция и магния, сульфаты, сульфиды и др.

В золах, как правило, содержится углерод в виде различных модификаций коксовых остатков. Содержание их зависит от вида сжигаемого топлива: для углей и горючих сланцев по нормативным данным оно составляет менее 4%, каменных углей – 3…12, антрацита – 15…25%. Содержание несгоревших частиц в тонкодисперсных фракциях золы меньше, чем в грубодисперсных.

Химический состав золы-уноса колеблется в зависимости от месторождений угля. Примерное содержание основных оксидов в золах различных ТЭС, % SiO_2 – 37….63; AL_2O_3 – 9…37; Fe_2O_3 – 4…17; CaO – 1…32;

MgO – 0,1…5; SO_3 – 0,5…2,5; Na_2O+K_2O – 0,5…5. Потери при прокаливании, характеризующие содержание в золе несгоревших углеродистых частиц, составляют 0,5…30%.

Важными показателями качества золы являются ее дисперсность и гранулометрический состав. Дисперсность золы-уноса выражается обычно удельной поверхностью, определяемой методом воздухопроницаемости, а также значениями остатков на ситах при просеивании. Прямой зависимости между этими двумя показателями нет. Удельная поверхность зол-уносов составляет 1000…4000 $см^2/г$. Во многих случаях она приближается к удельной поверхности цемента. Золы, содержащие большее количество остатков несгоревшего топлива, имеют более высокие значения удельной поверхности.

Гранулометрический состав зол колеблется в широких пределах: размеры зерен 1…20 мкм. В золах-уносах содержание фракции более 85 мкм обычно не превышает 20%. Около 50% частиц золы имеют обычно размеры 30…40 мкм. Более крупные золы образуются при повышенном содержании в минеральной части топлива оксидов-плавней CaO и Fe_2O_3.

Различные фракции золы имеют разные истинную и среднюю плотности, что объясняется химико-минералогическим составом и формой частиц. Крупные фракции имеют повышенное содержание AL_2O_3. Плотность частиц уменьшается с возрастанием в них содержания коксовых частиц. По мере увеличения крупности зерен содержание несгоревших частиц растет. Средняя насыпная плотность золы составляет 600…1100 $кг/м^3$, истинная плотность – 1800…2400 $кг/м^3$.

Золы подразделяются на *высококальциевые* (CaO>20%) и *низкокальциевые* (CaO<20%). Для первых преобладающими являются кристаллические фазы, для вторых – стекло и аморфизованное глинистое вещество. Высокальциевые золы, в свою очередь, делят

на *низкосульфатные* (SO_3<5%), получаемые при сжигании угля и торфа, и *сульфатные* (SO_3 >5%) – при сжигании сланцев.

Интегральной характеристикой химического состава зол служит модуль основности M_o, который для основных зол составляет M_o > 0,9; кислых – 0,6…0,9; сверхкислых - M_o < 0,6. В основных золах суммарное содержание CaO+MgO достигает 50%, в сверхкислых – 12. Последние являются более распространенными.

По величине удельной поверхности золы делят на: тонкодисперсные (S>4000 $см^2/г$), среднедисперсные (2000…4000) и грубодисперсные (S<2000). При насыпной плотности менее 800 $кг/м^3$ золы считаются легкими, 800…1000 – средней плотности и более 1000 – тяжелыми.

Топливные шлаки представляют собой механическую смесь зерен размером 0,14…20 мм. Химический состав топливных шлаков, как и зол, может изменяться в широком диапазоне – от сверхкислых (M_o<0,1) до основных (M_o>1). Многие топливные шлаки характеризуются значительным количеством (20% и более) оксидов железа, содержащихся преимущественно в закисной форме. Содержание стекловидной фазы составляет 85…98%, а у основных шлаков может быть значительно ниже. В кристаллической фазе возможно наличие муллита, геленита, псевдоволластонита, двухкальциевого силиката и других минералов.

В зависимости от содержания несгоревших углеродистых частиц золы и шлаки ТЭС делят на 6 категорий, %: 1 – до 5; 2 – 6…10; 3 – 11…15; 4 – 16…20; 5 – 21…25; 6 – более 25.

3.2. Вяжущие материалы на основе золошлаковых отходов

Химико-минералогический состав и гидравлическая активность топливных зол и шлаков позволяют широко применять их для производства вяжущих материалов. Золошлаковые отходы можно использовать в составе

бесклинкерных вяжущих и в композиции с цементным клинкером как активную минеральную добавку, а также в качестве сырьевого компонента для получения цементного клинкера.

Бесклинкерные зольные вяжущие. Зола обладает определенной гидравлической активностью, т.е. способна при нормальной температуре связывать оксид кальция. Активность золы сказывается в наиболее тонких фракциях и возрастает при увеличении содержания стекловидной фазы. Стекло в щелочной и сульфатной средах легче гидратируется при повышении содержания глинозема. Пониженной гидравлической активностью характеризуется кислые золы. Активность зол, так же как и шлаков, резко увеличивается при гидротермальной обработке.

Из бескликерных зольных вяжущих наиболее известен известково-зольный цемент – гидравлическое вяжущее, получаемое совместным помолом или тщательным смешением измельченных раздельно золы и извести. В золе содержание несгоревшего топлива должно быть минимальным (в каменноуголных золах – не более 10%, торфяных – 5), содержание SO_3 не должно превышать 3%, пережженных CaO и MgO, вызывающих неравномерность изменения объема вяжущего, - 5%. Известь применяют обычно гашеную, хотя накоплен опыт применения и негашеной извести. Состав известково-зольных цементов зависит от содержания в золе активного оксида кальция и минералов, способных к гидратации. Оптимальное содержание извести в этих вяжущих составляет 10…40%, уменьшаясь по мере увеличения в золе содержания свободного оксида кальция и активных минералов.

Тонкость измельчения известково-зольных цементов, как и других известесодержащих гидравлических вяжущих, должна быть такой, чтобы при просеивании через сито № 008 проходило не менее 90% массы пробы. Схватывание вяжущих этой группы должно начинаться не ранее чем через 25 мин, а конец – не позднее чем через 24 ч после начала затворения. Схватывание

ускоряется, а также улучшаются другие свойства вяжущих при введении в их состав гипса (около 5%) и применении негашеной извести.

Марку известково-зольных цементов устанавливают так же, как портландцемента. Особенность испытаний заключается в том, что образцы - балочки выдерживают сначала во влажной среде в течение 7 сут, а затем расформовывают и хранят в воде в течении 21 сут. Марки рассматриваемых вяжущих: М50, М100, М150, и М200. Автоклавная обработка позволяет получить на основе известково-зольных вяжущих бетоны с прочностью 15…25 МПа.

По основным строительно-техническим свойствам известково-зольные цементы близки и к другим известково-пуццолановым вяжущим. Основной областью их применения являются кладочные и штукатурные растворы, а также изделия автоклавного твердения. Производство известково-зольных материалов экономически эффективно, так как требует в 2…2,5 раза меньше капитальных вложений, чем цементное и известковое.

Портландцемент и композиционные цементы. Золы и топливные шлаки применяются в качестве сырьевого компонента портландцементного клинкера и активной минеральной добавки при производстве портландцемента, а также композиционных зольных и шлаковых цементов. В составе сырьевой смеси при производстве клинкера золой заменяют глинистый и частично известняковый компоненты, в некоторых случаях эта замена улучшает химико-минералогический состав клинкера и условия его обжига.

Ориентировочную оценку пригодности золошлаковых отходов как компонента сырьевой смеси определяют по значению условного силикатного модуля $n_y = SiO_2/1{,}77AL_2O_3$, который должен быть менее 1,9. Более высокие технико-экономические показатели производства клинкера достигаются при использовании сухих зол пневмоудаления.

Ценным для цементной промышленности является присутствие в составе зол остатков несгоревшего топлива, содержание которого в среднем составляет около-10%. Это значит, что при использовании 1 млн. т золы в качестве сырьевого компонента цементная промышленность получит дополнительно 100 тыс. т топлива.

В производстве цемента основная часть топливных зол и шлаков используется в качестве активных минеральных добавок. При этом они должны содержать не более, %: SiO_2 – 40, SO_3 – 3, потери при прокаливании – 10. Золу – унос и топливные шлаки вводят, как и другие активные минеральные добавки, в количестве не более, %: в портландцемент – 15, в пуццолановый - 25…40.

Введение золы в цемент (до15%) снижает его прочность в начальные сроки твердения, на 28 сутки снижение прочности минимально, а при длительных сроках твердения прочность цементов с золой становится более высокой, чем без золы. Увеличение содержания золы (более 15%) обычно приводит к существенному снижению прочностных характеристик цемента.

С увеличением содержания золы водопотребность цементов возрастет, но в меньшей степени , чем при других пуццолановых добавках. Характерно, что увеличение дисперсности золы не вызывает повышения водопотребности зольных портландцементов, а наоборот, оказывает некоторое пластифицирующее действие.

Вследствие сравнительно небольшой гидравлической активности золы применение зольных цементов значительно снижает тепловыделение в бетоне, что является существенным фактором при использовании его в массивных сооружениях. Экспериментально установлено, что зола любого типа повышает сульфатостойкость растворов и бетонов, особенно при использовании клинкера с высоким содержанием C_3A.

Экономический эффект по приведенным затратам в расчете на 1 т золы, применяемой в качестве добавки при помоле цементного клинкера, составляет 0,7…1 руб.

В результате исследований, выполненных сотрудниками Московского инженерно-строительного университета, предложена технология производства портландцемента и шлакопортландцемента с введением в качестве активной добавки топливных гранулированных шлаков. Установлено, что наибольшей гидравлической активностью обладают шлаки с модулем основности 0,6…1 и модулем активности 0,4…0,6. Физико-механические свойства шлакопортландцемента на топливных и доменных гранулированных шлаках отличаются незначительно. Замена доменных шлаков гранулированными топливными экономически выгодна для цементных заводов, расположенных вблизи ТЭС и оборудованных топочными устройствами с жидким шлакоудалением. Оптимальное содержание топливного гранулированного шлака в цементных бетонах, твердеющих при пропаривании, составляет около 40%, а при автоклавной обработке оно увеличивается в два раза. Бетоны на шлакопортландцементе с топливным гранулированным шлаком могут успешно применяться в производстве сборных железобетонных конструкций, промышленном и гражданском строительстве, строительстве массивных гидротехнических сооружений.

3.3. Пористые заполнители из топливных зол и шлаков

Снижение массы возводимых зданий и сооружений невозможно без развития производства пористых заполнителей для легких бетонов. Одним из наиболее перспективных видов сырья для производства пористых заполнителей являются золошлаковые отходы тепловой энергетики.

Золошлаковые заполнители. Пористыми заполнителями для легких бетонов служат: шлаки от сжигания антрацита, каменного и бурого углей, торфа и сланцев; золы, щебень и песок из топливных шлаков, аглопорит на

основе золы ТЭС, зольный обжиговый и безобжиговый гравий, глинозольный керамзит. Данные по экономической эффективности производства заполнителей на основе золошлаковых отходов ТЭС приведены в табл.4.

Таблица-4

Заполнитель	**Приведенные затраты, руб/м^3**	**Экономия (+) или перерасход (-)***
Гравий: аглопоритовый	5,91	+2,61
Зольный	9,85	-1,33
Безобжиговый	6,01	+2,51
Глинозольный керамзит при плотности, кг/м^3:		
ρ_0 = 450	6,37	+2,15
ρ_0 = 600	7,91	+0,61

* По сравнению с керамзитовым гравием

Свойства шлаков зависят от способа сжигания и вида топлива. Оптимальную пористую структуру антрацитовых и каменноугольных шлаков получают при кусковом сжигании, а у шлаков бурого угля – при пылевидном. Однако недостатком пылевидного сжигания или переработки в газогенераторах антрацита и каменных углей является то, что эти процессы приводят к чрезмерному спеканию и получению в результате этого плотных и тяжелых заполнителей.

Вредными компонентами шлаков, вызывающими при повышенном количестве разрушение бетона, являются сульфаты и сульфиды. Общее содержание сернокислых и сернистых соединений в пересчете на SO_3 в топливных шлаках не должно превышать 3% массы, в том числе не более 1% водорастворимых сульфатов и 1% сульфидов. Недопустимо также присутствие

в шлаках ТЭС свободного оксида кальция, гашение которого в затвердевшим бетоне может послужить причиной его разрушения.

Насыпная плотность топливных шлаков составляет 600…1000 кг/м^3, средняя плотность зерен 1500…2000 кг/м^3. Пористость шлаков обычно колеблется от 40 до 60%, морозостойкость достигает до 50 циклов и более. Оптимальные структуру и физико-механические свойства имеют антрацитовые шлаки, буроугольные – менее применимы.

Пористые топливные шлаки используют при возведении монолитных конструкций стен, для изготовления легких бетонных камней, панелей и блоков.

Мелкий заполнитель в тяжелых и легких бетонах частично или полностью может быть заменен *золой.* При изготовлении конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов классов В2,5…В7,5 зола, используемая в качестве песка, должна иметь насыпную плотность до 1100 кг/м^3 и включать зерна размером менее 0,14 мм в количестве не более 90% массы. Содержание коксовых остатков в золе, полученной при сжигании каменного угля и антрацита, должно быть не более 12%, бурых углей – не более 5%.

Золобетоны можно получать с широким диапазонам свойств: по прочности на сжатие – 0,5…40 МПа, средней плотности – от особо легких (ρ_0<1000 кг/м^3) до тяжелых (ρ_0=1800…2000 кг/м^3). Их получают как на портландцементе, так и на бесклинкерных вяжущих в условиях обычного и автоклавного твердения. Плотный золобетон характеризуется высокими значениями прочности на изгиб и деформативных характеристик (предельной сжимаемостью и ползучестью). Значения средней плотности и модуля упругости для характерных марок плотного золобетона даны в табл.5.

Таблица-5

Марка по прочности на сжатие, кгс/см^2	**Средняя плотность, кг/м^3**	**Модуль упругости, МПа**
25	1150…1500	-
35	1200…1550	$3{,}0 \cdot 10^3$
50	1250…1600	$3{,}5 \cdot 10^3$
75	1350…1700	$5{,}5 \cdot 10^3$
100	1450…1800	$7 \cdot 10^3$
150	1650…1900	-
200	1850…2000	$1 \cdot 10^4$

Более широкое применение находит зола в производстве керамзитобетонов. Для обеспечения плотной структуры этих материалов в песчаной фракции должно содержаться 40…50% по массе размером менее 0,15 мм. В связи с дефицитом керамзитового песка многие заводы при изготовлении конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов применяют обычный кварцевый песок, что приводит к утяжелению керамзитобетонов до 1400…1600 кг/м^3 и, соответственно, к снижению термического сопротивления стен. Применение золы в керамзитобетонах в количестве 180…200 л/м^3, а для одно-фракционного керамзита и в больших количествах, улучшает технологические свойства легкобетонных смесей и способствует получению структуры бетона без межзерновых пустот.

Полная замена мелкого заполнителя золой наиболее целесообразна в конструктивно-теплоизоляционных легких бетонах. Оптимальное содержание золы в керамизитобетоне составляет 300…450 л/м^3. Дальнейшее увеличение ее содержания повышает среднюю плотность легкого бетона. При изготовлении

легких конструктивных бетонов добавка золы в количестве до 0,1 $м^3$ на 1$м^3$ бетона может служить микронаполнителем. Установлено, что использование в легких бетонах 1 т золы экономит 5…10 руб.

Возможно применение в качестве заполнителя бетонов и золошлаковой смеси отвалов ТЭС. При прочих равных условиях средняя плотность бетона на золошлаковой смеси на 130.. 150 кг/ $м^3$ меньше, чем на гранитном щебне. Для бетона на золошлаковой смеси, полученной при сжигании донецких углей, характерны следующие физико-механические свойства: прочность при сжатии- до 35 МПа; растяжении –2,3 МПа; модуль упругости- 24,1 МПа; морозостойкость-150 циклов; усадка-0,6…0,7 мм/м.

Аглопорит. Топливные шлаки и золы являются лучшим сырьем для производства – искусственного пористого заполнителя . Это обусловлено, во-первых, способностью золошлакового сырья так же, как глинистых пород и других алюмосиликатных материалов, спекаться на решетках агломерационных машин; во-вторых, содержанием в нем остатков топлива, достаточных для процесса агломерации. При использовании обычной технологии аглопорит получают в виде щебня и песка. Из зол ТЭС можно получать также аглопоритовый гравий, имеющий высокие технико-экономические показатели.

Технология получения искусственных пористых заполнителей методом агломеррации состоит из следующих основных операций: подготовка компонентов смеси; приготовления шихты (гранул); термической обработки на агломерационный решетке; дробления (при производстве аглопоритового щебня); сортировки готового продукта.

При производстве аглопоритового щебня золу увлажняют связующей добавкой, в качестве которой берут глиняный шликер или раствор технического лигносульфоната. Полученную шихту подают в гранулятор, где она доводится до влажности 20..35 % и окомковывается.

В настоящее время разработана и применяется технология производства аглопоритового гравия из золы ТЭС, особенность которой в том, что в

результате аголомерации сырья образуется не спекшийся корж, а обожженные гранулы. Сущность технологии производства аглопоритового гравия заключается в получении сырцовых зольных гранул крупностью 10…20 мм, укладке их на колосники толщиной 200…300 мм ленточной агломерационной машины и термической обработке. Горн агломерационной машины состоит их двух секций –подсушки и зажигания. Слой гранул сначала подсушивается и подогревается, а затем производится зажигание и обжиг. Благодаря высокой газопроницаемости шихты, сквозь слой просасывается большое количества воздуха, в результате чего создается окислительная среда и гранулы между собой не спекаются. Аглопоритовый гравий рассеивают на фракции, образующиеся иногда спеки дробят, а затем также рассеивают на фракции.

Разработанная технология предусматривает возможность использования сухой золы-уноса, золы из отвалов ТЭС, а также водо-зольной суспензии, образующейся при гидротранспорте золы в отвалы.

Производство аглопоритового гравия, по сравнению с обычным производством аглопорита, характеризуется снижением расхода технологического топлива на 20…30 %, низким разрежением воздуха в вакуум-камерах, а также увеличением удельной производительности в 1,5 …2 раза.

Золы ТЭС могут применятся и как топливные добавки при производстве аглопорита из глинистых пород. В состав шихты для производства аглопорита требуется до 8% высококалорийного топлива. Применение добавки золы позволяет сократить расход топлива и снизить себестоимость аглопорита.

Расчеты показывают, что замена 1 млн.м^3 привозного природного щебня аглопоритовым гравием из золы местной ТЭС лишь за счет сокращения транспортных расходов при перевозках на расстояние 500…1000 км дает экономию около 2 млн. руб.

Применение аглопорита на основе зол и шлаков ТЭС позволяет получать легкие бетоны классов В3,5…В30 средней плотностью 900…1800 кг/м^3 при расходе цемента 200…400 кг/м^3.

Глинозольный керамзит и зольный гравий. Наряду с пористыми заполнтелями из зол ТЭС, получаемыми спеканием сырья на агломерационных машинах, заполнители изготавливают также путем обжига со вспучиванием исходного сырья. К таким заполнителям относятся глинозольный керамзит и зольный гравий.

Глинозольный керамзит – это продукт вспучивания и спекания во вращающейся печи гранул, сформованных из смеси глин и зол ТЭС, где зола составляет 10…80% всей массы сырья.

При использовании золы в качестве добавки к глине увеличивается количество органических примесей в сырье и повышается его вспучиваемость. Если запасы вспучиваемого глинистого сырья ограничены, а золоотвалы находятся в непосредственной близости от заводов, то золу ТЭС целесообразно использовать в качестве основного компонента керамзитовой сырьевой смеси. Свойства глинозольного керамзита зависят от вида и соотношения в шихте глинистого и зольного компонентов.

Золы, пригодные для производства глинозольного керамзита, содержат SiO_2 33… 57% и Al_2O_3 14…37%. С увеличением содержания золы и ее удельной поверхности возрастет прочность керамзита и увеличивается его средняя плотность. Дисперсность золы должна составлять не менее 1000 $см^2/г$, содержание угля не более 10%, CaO – не более 10%, сернистых и сернокислых соединений – не более 5%. Максимальная температура плавления золы равна 1380^0C.

Максимально допустимое содержание остатков топлива в золе, пригодной для производства глинозольного аглопорта, не должно превышать 17%. При избыточном количестве углерода гранулы оплавляются и качество заполнителя ухудшается.

Насыпная плотность глинозольного керамзита составляет 400…700 $кг/м^3$, прочность при сдавливании в цилиндре – 2,3…4,8 МПа, водопоглощение – 10…21%, морозостойкость – более 15 циклов.

Зольный гравий получают гранулированием подготовленной золошлаковой смеси или золы-уноса ТЭС с последующим спеканием и вспучиванием во вращающейся печи при температуре 1150…1250^{0}С. Подготовка золошлаковой смеси включает сушку ее в сушильном барабане отходящими газами печи и измельчение в шаровой мельнице до удельной поверхности 2500…3000 см^2/г. Для получения гранулируемой смеси вводят добавку пластичной глины. Смесь гранулируют на тарельчатом грануляторе, смачивая ее водным раствором технических лигносульфонатов (ЛСТ). До поступления в печь гранулы подсушивают для упрочнения в сушильном барабане.

В исходном сырье содержание Fe_2O_3 должно быть не менее 7%, (CaO+MgO) – не более 8%. При содержании в золе более 3% остатков топлива процесс вспучивания гранул ухудшается.

Технология зольного гравия позволяет получать заполнитель, состоящий в основном из 60% гранул размером 10…20 мм и около 30 % фракции 20…40 мм. Основные показатели свойств зольного гравия по сравнению с аглопоритовым приведены в табл.6.

Таблица-6

П о к а з а т е л ь	**Зольный гравий фракций, мм**		**Аглопоритовый гравий фракций, мм**		**Безобжиговый зольный гравий фракции 5..30 мм**
	5…10	**10…20**	**5…10**	**10…20**	
Насыпная плотность, кг/м^3	280	278	760	740	950
Плотность зерен, кг/м^3	415	435	1400	1320	1800
Водопоглощение за 48 ч по массе, %	17	13,8	17	18	7
Прочность в цилиндре, МПа	0,62	0,55	3,5	3	5

Анализ данных таблицы показывает, что зольный гравий соответствует требованиям, предъявляемым к заполнителям для теплоизоляционных бетонов. Однако ограничения по составу зол существенно лимитируют сырьевую базу для производства этого вида пористого заполнителя.

Гравийные зольные заполнители можно получить и без обжига, применяя различные вяжущие вещества.

Технологический процесс производства *безобжигового зольного гравия* включает совместный помол золы и вяжущего или предварительное измельчение золы с последующим смешиванием ее с вяжущим, а также приготовление гранул, их термическую обработку и сортировку. В качестве вяжущих могут применяться портландцемент и гипсоцементно-пуццолановое вяжущее. При использовании цемента его содержание в сырьевой смеси составляет 10…15%, гипсоцементно-пуццоланового вяжущего (ГЦПВ) – 30…35%.

3.4. Применение золы как активной добавки в бетоны

Исследованиями и практикой установлена эффективность введения зол при изготовления бетонных и растворных смесей в качестве активных минеральных добавок и микронаполнителей.

В тяжелых бетонах зола-унос позволяет существенно снизить расход вяжущих. Оптимальное содержание золы, кг/м^3, составляет для бетонов: пропариваемого – около 150; нормального твердения – 100. В соответствии с рекомендациями применение 150 кг золы-уноса на 1 м^3 тяжелого бетона классов В7,5…В30 вместо частей цемента и песка позволяет сэкономить 40…80 кг цемента в зависимости от вида, классов бетонов, марок цементов, подвижности смеси. В бетонах, подвергаемых тепловой обработке, применение золы дает возможность экономить до 5% цемента.

Значительный практический опыт применения золы – уноса в бетонах накоплен в гидротехническом строительстве. В настоящее время доказана

эффективность замены 25…30% портландцемента золой-уносом для бетонов внутренних зон массивных гидротехнических сооружений и 15…20% бетона в подводных частях сооружений. В ряде случаев обоснована целесообразность увеличения содержания в гидротехническом бетоне золы-уноса до 50…60% от массы цемента. При замене золой до 40% цемента с их совместным измельчением прочность бетона через 8 сут близка, а через 60 сут практически равна прочности бетона без добавки.

Впервые в 1961 г. произведена опытно-производственная укладка бетона с добавкой 15…20 % золы–уноса в тело плотины Братской ГЭС. Было уложено около 5000 $м^3$ бетона с золой, который по основным физико-механический характеристика не отличался от бетона без добавки золы.

При строительстве Днестровского гидроузла введение в вяжущие 25% золы не снизило прочностные показатели гидротехнического бетона в возрасте 180 сут и позволила повысить коэффициент эффективности использования цемента. Экономическая эффективность за счет замены части цемента золой составила более 400 тыс. руб.

Все шире применяется зола-унос в производстве сборных железобетонных конструкций. Сухую золу вводят в бетон классов В 7,5…В40 объемом до 20…30 % от массы цемента. Однако при чрезмерном содержании золы возможно вспучивание поверхности пропариваемых изделий.

Одной из существенных характеристик золы как активной минеральной добавки в бетон является ее гидравлическая активность. Традиционными методами она определяется по способности зол поглощать известь из известкового раствора, а также проявлять вяжущие свойства в сочетании с гидратной известью. Новым методом определения активности зол является микрокалориметрический метод, в соответствии с которым активность золы определяется по величине теплоты ее смачивания в полярных и неполярных жидкостях, учитывая коэффициент гидрофильности и ряд других параметров.

В зависимости от области применения золу подразделят на виды: 1-для железобетонных конструкций и изделий;11-для бетонных конструкций и изделий; III-для конструкций гидротехнический сооружений. В пределах отдельных видов дополнительно выделяют классы золы для бетонов; А-тяжелого; Б-легкого.

Удельная поверхность золы класса А должна быть не менее 2800 $см^2$/г, Б-1500..4000 $см^2$/г. остаток на сите № 008 для золы класса А не должен превышать 15% по массе. По химическому составу к золе предъявляют требования, указанные в табл.7. Влажность золы сухого отбора должна быть не более 3%.

Таблица-7

П о к а з а т е л ь	**Значение показателя для золы вида и класса**		
	I	**II**	**III**
	А,Б	**А,Б**	**А**
Содержание (SiO_2+ALO_3+Fe_2O_3), % по массе для золы:			
антрацитовой и каменноугольной	70	-	70
буроугольной	50	-	50
Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3,% по массе, не более	3	3,5	3
Содержание свободного оксида кальция ($CaO_{св}$), % по массе, не более	3	5	2
Содержание оксида магния MgO,% по массе, не более	5	5	5
Потери при прокаливании, % по массе, не более, для золы:			
антрацитовой	15	20	5
каменноугольной	7	10	5
буроугольной	5	5	3

Золу – унос не рекомендуется применять в бетонах, предварительно армированных напряженной термически упроченной арматурой.

Для применения в бетонах образцы из смеси золы и цемента проверяют кипячением в воде на равномерность изменения объема.

Подбор составов бетона с добавкой золы заключается в определения такого соотношения компонентов, включая золу, при котором требуемые свойства бетонной смеси и бетона достигаются при минимальном расходе цемента. В бетонной смеси зола выполняет роль не только активной минеральной добавки, увеличивающей количестве вяжущего, но и микронаполнителя, улучшающего гранулометрию песка и активно влияющего на процессы структурообразования бетона. Учитывая полифункциональный характер зольной добавки, введение ее лишь взамен части цемента или части песка не позволяет решить задачу оптимизации составов.

Уменьшение расхода цемента при введении золы прежде всего целесообразно при «излишней активности» цемента, т.е.в тех случаях, когда марка выше рекомендуемой. При применения золы ТЭС допускается снижение минимальной типовой нормы расхода цемента для неармированных бетонных изделий до 150 кг/м^3,а для армированных железобетонных до 180 кг/м$^{3.}$ Суммарный расход цемента и золы при этим должен быть соответственно не менее 200 и 220 кг/м$^{3.}$. Количество золы назначается пропорционально требуемому проценту снижения «излишней активности» цемента.

Если водопотребность золы превышает 30%, то количество вводимой добавки, полученное расчетом на основе прямой пропорциональности, должно быть уменьшено путем умножения на коэффициент.

$$К=В_{ц.т}/В_З,$$

где $В_{ц.т}$ – выход теста нормальной густоты, $см^3$/кг цемента; $В_З$ – то же из 1 кг золы.

Выход теста $В_{ц.т}$ определяется непосредственным опытом или по формуле

$$В_{ц.т}=1/ ρ+К_{н.г},$$

где ρ – истинная плотность цемента; $К_{н.г}$ – нормальная густота цементного теста, доли единицы.

А.М. Сергеевым предложена методика подбора составов бетона, учитывая коэффициент эффективности использования цемента при применении золы ТЭС:

$$К_э=R_{сж}/Ц,$$

где $R_{сж}$ – прочность бетона в заданном возрасте, МПа; Ц - расход цемента, $кг/м^3$.

Значение коэффициент $К_э$ определяется эмпирическим путем. Для пропаренных бетонов в возрасте 1 сут значение $К_э$ при водо-вяжущем отношении в пределах 0,4…0,54 составляет 0,038…0,058 без добавки золы, при содержании золы 60% - $К_э$=0,067…0,12. Для бетонов нормального твердения в возрасте 28 сут Кэ соответственно возрастает от 0,065…0,085 до 0,067…0,12.

Для получения равнопрочных бетонов при выбранном составе смешанного вяжущего расходы составляют: цемента Ц=$R_{сж}$/Кэ золы-уноса

$$З_у=(Цm_{З.-у})/(100-m_{З:-у}),$$

где $m_{З.-у}$-массовая доля золы-уноса в смешанном вяжущем.

Введение золы в оптимальном количестве не повышает водопотребность бетонных смесей, что объясняется оплавленностью и относительно правильной формой зерен. При высокой дисперсности золы и незначительном содержании в ней несгоревшего угля удобоукладываемость смеси повышается. Пластифицирующий эффект золы повышается при наличии в бетонной смеси мелкого заполнителя с недостаточным количеством тонких фракций.

В ранние сроки твердения (28…60 сут), особенно при введении грубодисперсной золы, прочность бетона снижается, хотя и не пропорционально количеству добавки. В более поздние сроки твердения наблюдается выравнивание, а иногда и более высокая прочность в бетонах с зольной добавкой. Интенсивность роста прочности золосодержащих бетонов возрастет по мере повышения дисперсности золы и температуры твердения. Домол даже малоактивных зол до 4000…5000 $см^2/г$ позволяет сэкономить 20…30% цемента без снижения класса бетона. Более целесообразным является мокрый домол, при котором золу не подсушивают, в результате чего достигается более высокая дисперсность.

Введение золы-уноса от сжигания бурых и каменных углей в песчаные бетоны позволяет практически полностью исключить перерасход цемента.

Для достижения высокой прочности золосодержащих бетонов определенное значение имеет химико-минералогический состав клинкера. В раннем возрасте росту прочности бетона способствует повышенное содержание в клинкере щелочей, ускоряющих химическое взаимодействие золы и цемента; в более позднем – для проявления пуццолановой реакции золы предпочтительнее цементы с повышенным содержанием алита, которые при гидролизе образуют $Ca(OH)_2$.

Для изготовления пропаренных золосодержащих бетонов важны оптимальные режимы тепловлажностной обработки, выбор которых должен производиться, учитывая особенности золы и применяемого цемента. В общем

случае при применении смешанных вяжущих, содержащих золу или шлак, предпочтительны высокотемпературные режимы пропаривания.

Как и другие гидравлические добавки, зола снижает морозо- и воздухостойкость бетона. В бетонах морозостойкостью F50 и выше или подвергаемых попеременному увлажнению и высушиванию возможность применения золы устанавливается специальными исследованиями. Снижение морозостойкости бетона можно компенсировать введением воздухововлекающих добавок.

Вследствие сравнительно невысокой водопотребности бетонных смесей замена до 20% цемента золой практически не отражается на усадочных деформациях бетона при твердении его на воздухе.

Золосодержащие бетоны отличаются высокой сульфатостойкостью, причем высокие результаты достигаются при введении зол, содержащих более 80% (SiO_2+AL_2O_3). В массивном гидротехническом бетоне положительными проявлениями введения добавки золы являются повышение предельной растяжимости, а также существенное уменьшение тепловыделения.

3.5. Применение золы в строительных растворах

Золу-унос применяют в качестве компонента строительных растворов, в котором сочетаются свойства минеральной добавки, пластификатора и микронаполнителя. Зола улучшает пластичность и водоудерживающую способность растворных смесей, свойства затвердевших растворов. При применении в растворах тонкодисперсных зол, отбираемых с последних полей электрофильтров, существенно снижается расход вяжущих. Применение золы как добавки также рационально при получении эффективных растворов для каменной кладки и возведения стен из крупноразмерных элементов. Однако растворы с добавкой золы не следует применять в зимнее время в связи с замедленным темпом их твердения при пониженной температуре.

Зола, применяемая для кладочных растворов, должна отвечать следующим требованиям:

Потери при прокаливании в золе, не более, %:

Антрацитовой 15

Каменноугольной 5

Содержание сернистых соединений в пересчете на SO_3, не более, 3%

Остаток на сите № 008, не более, 15%

В строительных растворах применяют как сухую золу, так и золу гидроудаления.

В цементных растворах оптимальное содержание золы рекомендуется 100…200 кг/м^3, при этом в тощих малоцементных растворах оно составляет 80…125% массы цемента, в более жирных – 40…50%. При расходе цемента более 400 кг/м^3 введение золы в состав раствора малоэффективно. Тонкодисперсная зола может применяться взамен части цемента и песка. Крупнодисперсную золу рационально применять вместо части песка без изменения расхода цемента.

При применении золы-уноса в цементных растворах необходимый расход цемента обычно снижается на 30…50 кг/м^3 при одновременном улучшении удобоукладываемости растворной смеси. Перерасход цемента при полной замене песка золой устраняется добавкой небольшого количества известкового теста.

При полной замене песка золой повышаются деформации усадки во времени и деформации при попеременном увлажнении и высушивании. Они в 2…3 раза выше, чем у цементно-песчаных растворов.

В цементно-известковых растворах золой можно заменять часть цемента, извести или песка. При этом экономится до 30…50 кг цемента и 40…70 кг известкового теста на 1 м^3 раствора без ухудшения удобоукладываемости и прочности. Цементно-известковые зольные растворы характеризуются весьма

низкой расслаиваемостью. Их применяют так же, как и растворы, без добавки золы, в основном для кладки надземных частей зданий.

В известковых растворах применением золы-уноса возможно снизить на 50% расход известкового теста без понижения прочности и ухудшения других свойств. При замене 50% извести удвоенным по массе количеством золы-уноса достигается не только экономия извести, но и повышается прочность раствора. Без применения цемента на известково-зольном вяжущем можно получать растворы марки М25 и выше.

Подбор составов золосодержащих растворов производят в два этапа. Вначале определяют расход составляющих раствора в килограммах на 1 $м^3$ без добавки золы, а затем уточняют его, учитывая введение золы, предполагая при этом, что средняя плотность раствора увеличивается на 20…40 кг, а водопотребность растворных смесей не изменяется.

Технология приготовления растворов с добавкой золы состоит из дозирования исходных компонентов по массе и перемешивания затем их в растворсмесителях в течение 3..5 мин до получения однородной смеси.

Экономическая эффективность применения золы в растворах колеблется от 0,4 до 1 руб. на 1 $м^3$ в зависимости от их марки и состава.

3.6. Золосодержащие ячеистые бетоны

Ячеистый золобетон является разновидностью ячеистых бетонов, в которых зола выполняет роль кремнеземистого компонента. По сравнению с обычном кремнеземистым компонентом – молотым кварцевым песком – зола обладает более высокой реакционной способностью, требует значительно меньших (а при достаточной дисперсности вообще не требует) затрат на измельчение и позволяет получать ячеистый бетон меньшей средней плотности. Недостатки золы, как кремнеземистого компонента, следующие: меньшее, чем в кварцевом песке, содержание SiO_2; наличие несгоревшего

топлива и нестабильность химического состава. Технологические требования к золе, применяемой в ячеистых бетонах, таковы: содержание стекловидных и оплавленных частиц должно составлять не менее 50%, несгоревших частиц бурого угля – не более 3%, каменного – не более 5%; удельная поверхность 3000…5000 $см^2/г$; набухание в воде не должно превышать 5%.

С применением золы – уноса выпускается 11% общего объема производства ячеисто-бетонных изделий, причем более 60% от этого количества составляют изделия, изготовляемые на базе сланцевой золы. Эффективное использование сланцевой золы обусловлено ее выгодным химико-минералогическим составом (свободный оксид кальция – 15…25%, клинкерные минералы – 10…15%, ангидрит – 7…10%, активное стекло – 30…35%), а также комплексом технологических приемов, в результате которых обеспечивается гидратация свободного оксида кальция в виде пережога до автоклавной обработки (тонкий помол золы, литьевой способ формования и выдерживания сырца при повышенной температуре в условиях, исключающих большие температурные перепады).Сланцевая пылевидная зола должна содержать оксид кальция в количестве не менее 35%, в том числе свободного CaO – не менее 15…25%, в ней недопустимо более 6% SO_3 и 3% (K_2O+Na_2O).

Ячеистые бетоны с применением золы в основном выпускают в виде газозолобетона плотностью 400…1200 $кг/м^3$. Из них изготавливают теплоизоляционные изделия, панели, блоки и плиты для наружных стен, покрытий, межэтажных перекрытий и внутренних перегородок.Накоплен также опыт производства *пенозолобетонов.*В зависимости от способа твердения ячеистые золобетоны делят на безавтоклавные и автоклавные. При безавтоклавном твердении тепловую обработку (электропрогрев, пропаривание) выполняют при атмосферном давлении, а автоклавном – при давлении пара 0,8…1,2 МПа. Иногда применяют двух стадийную технологию, когда до достижения распалубочной прочности изделия пропаривают, а затем без форм подают в автоклав.

Более распространенным является автоклавный способ твердения, при котором обеспечивается широкое использование низкомарочных вяжущих, в том числе и на основе шлакозольных материалов, сокращаются сроки тепловлажностной обработки до 10…12 ч, а также повышаются морозо- и трещиностойкость бетона.Соотношение между золой и вяжущим в ячеисто-бетонной смеси зависит от вида вяжущего и изменяется в диапазоне 1…4,5. Наибольшее значение этого соотношения характерно для извести, а наименьшее – для портландцемента.

Самым распространенным способом формования ячеистых золобетонов является литьевой, когда в формы заливается смесь, содержащая 50…60% воды. Основные недостатки литьевого формования: недостаточная газоудерживающая способность смеси; неоднородная плотность изделий по высоте; медленное твердение; повышенная влажность изделий после тепловой обработка и большая усадка.

Более приемлемой для производства газобетона является *комплексная вибрационная технология,*позволяющая за счет эффекта разжижения смеси при вибрации в процессе перемешивания и формования уменьшить количество воды затворения на 25…30%. Эффективно также применение холодных смесей (t=18…22^{0}C) с добавками поверхностно-активных веществ. Для уменьшения влажности и усадочных деформаций ячеистых золобетонов в них вводят структурообразующие добавки пористых заполнителей.Исследованиями установлена также эффективность сушки изделий прогревом инфракрасными излучателями.

Прочность ячеистых золобетонов при сжатии составляет 0,5…15 МПа при средней плотности 400…1200 кг/м^3, а морозостойкость достигает 150 циклов. Ячеистые золобетоны на цементе имеют значительно большую стойкость, чем на извести. Негативной особенностью золобетонов является их способность к высокому сорбционному увлажнению, вызываемому

значительной микропористостью золы. Они отличаются также большей чувствительностью к циклическому увлажнению и высушиванию, чем кирпич или тяжелый бетон. Для защиты от агрессивного воздействия атмосферы на изделия из ячеистых золобетонов наносят различные покрытия.

Экономическая эффективность ячеистых золобетонов обусловлена заменной золой песка, уменьшением в 1,2…1,5 раза расхода известкового вяжущего по сравнению с известково-песчаным и сокращением примерно в 2 раза капитальных вложений на добычу и переработку исходного сырья.

ГЛАВА 4. МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ДРУГОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

4.1.Общая характеристика

Анализ потребления древесины в народном хозяйстве показывает, что ее заготовка и переработка сопровождаются огромными потерями. До 50% всей перерабатываемой древесины составляют побочные продукты в виде отходов, большая часть которых сжигается или вывозиться в отвал. Между тем они являются ценным сырьем для производства строительных материалов, а также для гидролизной и других отраслей промышленности. Поэтому утилизация отходов древесины имеет огромное народнохозяйственное значение. С одной стороны, она позволяет удовлетворить потребность строительства во многих конструктивных и теплоизоляционных материалах, по техническим свойствам превосходящих пиломатериалы, а с другой – существенно сократить объемы вырубки леса.

Объемы строительно-монтажных работ увеличиваются гораздо быстрее, чем объемы заготовляемой древесины. В связи с этим древесина становится дефицитным в строительстве материалом. Удельные нормы расхода лесоматериалов в капитальном строительстве постоянно снижаются. Поэтому использование отходов заготовки и переработки древесины является важнейшим источником удовлетворения потребностей строительства в эффективных строительных материалах.

Отходы древесины образуются на всех стадиях ее заготовки и переработки. К ним относятся: ветви, сучья, вершины, откомлевки, козырьки, опилки, пни, корни и хворост которые в сумме составляют около 21% всей массы древесины. При переработки древесины на пиломатериалы выход продукции составляет 65%, а остальная часть образует отходы в виде горбыля (14%), опилок (12%), срезок и мелочи (9%). При изготовлении из пиломатериалов строительных деталей, мебели и других изделий получают

отходы в виде стружки, опилок и отдельных кусков древесины, составляющие до 40% массы переработанных пиломатериалов.

Отходы, образующиеся в процессе обработки древесины, классифицирует в зависимости от их вида на три группы: твердые (или кусковые), мягкие (опилки, стружка) и кора. Отходы классифицируют также в зависимости от последовательности получения: образуемые при заготовке леса: использование древесины в круглом виде; первичная и вторичная обработка и переработка древесного сырья.

Для производства строительных материалов и изделий в основном используют опилки, стружку и кусковые отходы. Последние применяют как непосредственно для изготовления клееных строительных изделий, так и перерабатывая их на техническую щепу, а затем на стружку, дробленку, волокнистую массу и т.д. Разработаны технологии получения строительных материалов из коры и одубины-отхода производства дубильных экстрактов.

Опилки- один из наиболее массовых отходов лесопиления и деревообработки. Частично опилки используют на гидролизных заводах спиртового и дрожжевого профиля как выгорающую добавку при производстве кирпича или как заполнитель в гипсоопилочных плитах, но значительная их часть сжигается или сбрасывается в отвал. Фракционный состав опилок зависит от способа получения и составляет 10….0,2 мм (таблица-8).

Таблица-8

Фракционный состав, % частиц крупностью, мм			**Насыпная плотность в сухом состоянии, кг/м^3**	**Пористость, % от объема**
20…10	10…5	5….2,5		
-	100	-	194,0	74,7
40	40	20	175,7	72,0
25	25	50	217,0	71,9
35	35	30	226,5	70,8

Частицы крупностью менее 0,2 мм составляют древесную муку. Насыпная плотность и пористость древесных отходов зависят от вида древесных пород и фракционного состава.

Способ получения опилок предопределяет их физические особенности. При распиловке бревен на лесопильной раме получают опилки крупностью до 7 мм, имеющие форму, близкую к кубической. При обработке древесины на круглопильных станках опилка имеют волокнистую структуру и размеры 1..2 мм. Опилки, полученные на лесопильной раме, имеют большие размеры

поперек волокон, что, как правило, неблагоприятно сказывается на механических свойствах изделий.

Технологических щепа – это продукт первичного измельчения кусковых отходов и неделовой древесины, предназначенный для последующей переработки на дробленку, стружку или волокнистую массу. Щепу получают на дисковых или барабанных рубильных машинах.

Требования к щепе определяются ее назначением. Обычно нормируются размеры щепы, содержание в ней гнили, коры и минеральных примесей. При изготовлении волокнистой массы в производстве древесно-волокнистых плит для нормальных работы размольных агрегатов желательно, чтобы куски щепы были приблизительно одинаковы: длина волокон 20..25 мм, ширина поперек волокон 15..30 мм и толщина 3..5 мм. Для производства древесно-стружечных плит плоского прессования оптимальная длина щепы составляет 40 мм, а при экструзионном – 20, оптимальная же толщина в обоих случаях равна 30 мм. в технологической щепе содержание гнили ограничено (до 5%) или вообще недопустимо, содержание минеральных примесей должно составлять 0,3…1%. Объем коры в производстве древесно-волокнистых плит не должен превышать 15%, а древесно-стружечных – 12%.

Характер последующей переработки щепы определяется видом получаемого материала. Для получения арболита применяют дробленку или стружку, древесно-стружечных плит – стружку, древесно - волокнистых плит – волокнистую массу.

Древесная дробленки должна иметь коэффициент формы (отношение наибольшего размера к наименьшему) 5…10 и толщину 3..5мм. Наибольшая – до 25 мм. Такая форма частиц позволяет приблизить по абсолютному значению влажностные деформации вдоль и поперек волокон и снизить их отрицательное воздействие на структурообразование и прочность арболита.

Стружка для изготовления арболита должна иметь минимальную толщину 0,1…1 мм и длину 2…20 мм, для наружных слоев древесно-

стружечных плит – соответственно 0,1…0,2 и 10…20, средних слоев – 0,4 и 40…60. Стружка может быть получена и непосредственно из отходов лесопиления без предварительной их переработки на щепу.

Сырье перед переработкой на стружку подвергается специальной подготовке, заключающейся в сортировке по породам, гидротермической обработке, окорке, разделке, удалению гнили. Гидротермическая обработка древесины производится паром при давлении 0,25..0,3 МПа или проваркой ее в воде при 70…85^{0}С. Нагрев и увлажнение древесины снижают шероховатость стружек, сокращают количество мелкой фракции. Древесина, поступающая на переработку в стружку, должна иметь влажность 30…40% и температуру в зависимости от породы 10…50^{0}С.

Волокнистую массу для изготовления древесно-волокнистых плит получают механическими, термохимическими и химико-механическими способами.

Механический размол основан на истирании древесины в специальных машинах, рабочими органами которых служат быстро вращающиеся рифленые диски или металлические билы. Для облегчения размола и увеличения выхода волокнистой массы в смесь добавляют большое количество воды.

Особенностью термомеханического размола является предварительная обработка волокнистой массы паром при давления 0,8…1 МПа.

Химико-механические способы основаны на различной растворимости отдельных химических веществ, составляющих древесину, в слабых растворах щелочей. Эти способы состоят из двух процессов: химической обработки щепы и механического размола.

Средняя длина волокон в массе колеблется от сотых долей миллиметра до 3…4 мм, а диаметр их составляет 30..50 мкм.

В производстве строительных материалов применяют отходы как хвойных, так и лиственных пород. При этом для производства большинства материалов хвойные породы предпочтительнее, так как они содержат меньше

водорастворимых экстрактивных веществ, а также различных сахаров, дубильных и смолянистых веществ, отрицательно влияющих на процессы твердения цементов. В древесине хвойных пород велико содержание длинных и прочных волокон, что позволяет получать из нее высококачественную волокнистую массу.

При применения в производстве экструзионных древесно-стружечных плит из лиственных пород повышается расход смолы, уменьшается производительность пресса на 30…40%, а прочность плит снижается на 25…30%.

Для уменьшения количества экстрагируемых веществ в древесных отходов содержание примесей коры должно быть минимальным, полезно также вылеживание древесины после рубки на складах в течение 4..6 мес. «Цементные яды», содержащиеся в древесине , обезвреживаются ее минерализацией, т.е. пропиткой растворами солей такими, как хлорид кальция, сернокислый глинозем, растворимое стекло и др.

Важным источником строительного сырья также является сельскохозяйственные отходы растительного происхождения. Так, ежегодный выход отходов стеблей хлопчатника составляет около 5 млн. т в год, а льняной костры – более 1 млн.т.

Костра –это отход первичной переработки стеблей конопли и льна после пропускания их через пенькомяльные машины, отделяющие пеньку от измельченной одревесневшей части стебля. Длина частиц конопляной костры составляет 10..70 мм (льняной-55 мм), ширина –3 мм и толщина –0,2…0,3 мм. Средняя плотность 100..120 кг/м^3.

Костра практически не содержит водорастворимых сахаров, так как они выщелачиваются при предварительном вымачивании лубяных культур на пенькообрабатывающих предприятиях. Поэтому костру перед смешиванием с цементом, в отличие от древесного заполнителя, предварительно не замачивают в проточной воде или растворе солей.

Дробленые стебли хлопчатника используются для получения арболита и других строительных материалов.

Содержание очесов, пакли и других комковатых включений в костре льна, конопли и дробленных стеблях хлопчатника не должна превышать 4% по массе.

4.2. Материалы на основе минеральных вяжущих

Древесные отходы без предварительной переработки (опилки, стружка) или после измельчения (щепа, дробленка, древесная шерсть) могут служить заполнителями в строительных материалах на основе минеральных вяжущих. Эти материалы характеризуются невысокой средней плотностью (ρ_0=300…800 кг/м^3) и теплопроводностью (λ=0,093…0,3 Вт/м. ^{0}C)), а также хорошей обрабатываемостью. Пропиткой древесных заполнителей минерализаторам и последующим смешиванием их с минеральными вяжущими обеспечивается биостойкость и трудносгораемость материалов на их основе. Недостатками материалов на древесных заполнителях являются высокое водопоглощение и сравнительно низкая водостойкость.

По назначению эти материалы делятся на теплоизоляционные, конструкционно - теплоизоляционные и конструкционные.

В композиции с древесными заполнителями могут применяться все виды минеральных вяжущих, основным среди которых является портландцемент.

Главными представителями группы материалов на древесных заполнителях и минеральных вяжущих являются арболит, фибролит и опилкобетоны.

Арболит и фибролит. Арболит-это легкий бетон на заполнителях растительного происхождения, предварительно обработанных раствором минерализатора. Он применяется в промышленном, гражданском и сельскохозяйственном строительстве в виде панелей и блоков для возведения стен и перегородок, плит перекрытий и покрытий зданий, теплоизоляционных и

звукоизоляционных плит. Арболитовые конструкции эксплуатируют при относительной влажности воздуха помещений не более 60%, при большей влажности необходимо устройство пароизоляционного слоя.

Не допускается воздействия на арболит агрессивных сред и систематические воздействия температур свыше 50^{o} С и ниже – 40^{o}С.

Наружная поверхность конструкций из арболита, соприкасающаяся с атмосферной влагой, независимо от влажностного режима эксплуатации должна иметь отделочный (фактурный) слой.

В зависимости от средней плотности в высушенном до постоянной массы состоянии арболит подразделяется на теплоизоляционный (со средней плотностью до 500 кг/м^3) и конструкционный (500…850 кг/м^3) (Табл.9.)

Теплопроводность арболита зависит от средней плотности и вида заполнителя. Для арболита на измельченной древесине со средней плотностью 400…850 кг/м^3 теплопроводность составляет 0,08 …0,17 Вт/(м$^{o\cdot}$ С), на измельченных стеблях хлопчатника и рисовой соломы, костре льна и конопли – 0,07 …0,12 Вт/ (м$^{o\cdot}$ С). Предел прочности арболита зависит от его влажности ,особенно в диапазоне от 0 до 25%. Максимальную прочность этот материал приобретает при влажности 16…17%. Деформация при кратковременной нагрузке (показатель сжимаемости) у арболита примерно в 8..10 раз больше, чем у легких бетонов на минеральных пористых заполнителей.

Арболит имеет достаточно большое значение водопоглощения. Однако преимуществом этого материала является легкая отдача поглощенной воды, т.е. быстрое высыхание. Морозостойкость арболитовых изделий назначается в зависимости от режима их эксплуатации и климатических условий района строительства: во всех случаях она принимается не мерее F 25.

Для изготовления заполнителей из древесины исходный продукт для снижения количества вредных экстрактивных веществ определенное время выдерживают на складах (хвойные породы –не менее 2 мес, лиственные-6 мес). При положительной температуре выдержка сокращается до 1 мес при условии

дальнейшего измельчения древесины в щепу. Дробленку хвойных и особенно лиственных пород обязательно замачивают в воде или в растворах минеральных солей. Последние, нейтрализуя действие вредных веществ в древесине, одновременно ускоряют твердение цемента.

Таблица-9

Вид арболита	Класс по прочности	Марка прочности при осевом сжатии	Средняя плотность, кг/м^3, арболита на			
			Измельченной древесине	Костре льна или дроблен-ных стеблях хлопчатника	Костре конопли	Дробленой рисовой соломе
Теплоизоляцион-ный	ВО,35 ВО,75 В1,0	М5 М10 М15	400…500 450…500 500	400…450 450…500 500	- 400…450 450…500	500 - -
Конструкцион-ный	В1,5 В2,0 В2,5 В3,5	- М25 М35 М50	500…650 500..700 600…750 700…850	550…650 600..700 700..800 -	500…550. 550...650 600…700 - 	600.. 700 - - -

Состав арболита определяют расчетно-экспериментальными методами. Расходы цемента , органического заполнителя и воды зависят от класса арболита по прочности на сжатие. Для теплоизоляционного арболита классов В

0,35…В1 расход цемента М 400 составляет 260…360 кг/м^3, а конструкционно-теплоизоляционного классов В1,5 и В 2,5 - 330…450 кг/м^3. Минимальный расход цемента достигается при использовании дробленки из отходов лесопиления и деревообработки хвойных пород, а максимальный- из отходов лесозаготовок смещенных пород и костры. Расход хлорида кальция и жидкого стекла не превышает 8…9 кг/м^3, сульфата алюминия – 15…20 кг/м^3.

Технология изготовления арболитных изделий включает подготовку сырьевых материалов, приготовление арболитовой смеси и ее укладки в формы, твердение и сушку, отделку и складирование. Наряду с неармированными. изделиями из арболита изготавливают изделия, армированные стальной арматурой.

При относительной влажности среды свыше 60% арматуру располагают в защитном слое из бетона, который обеспечивает надежную пассивность стали. Рекомендуется также защищать стальную арматуру специальными покрытиями по аналогии с ячеистыми бетонами.

Арболитовые изделия производятся как обычные бетонные и железобетонные изделия по конвейерной, поточно-агрегатной и стендовой технологиям; смесь готовят в бетоносмесителях принудительного действия.

Основной технологической операцией при изготовлении арболитовых изделий является уплотнение смеси до требуемой средней плотности. Арболитовая смесь из-за свойственных ей упругих свойств не подчиняется общим закономерностям, присущим бетонным смесям на других видах заполнителей. При уплотнении смеси обычная вибрация малоэффективна, а прессование приводит к тому, что после снятия нагрузки происходят распрессовка смеси и нарушение уплотненной структуры.

Эти особенности арболитовой смеси объясняются свойствами древесного заполнителя – легкого, упругого, пористого материала, энергично поглощающего влагу в процессе приготовления смеси, в результате чего смесь малоподвижна даже при больших расходах воды. Поэтому на практике

приходятся поддерживать высокие значения В/Ц, равные 1,1 – 1,3, а в случае получения теплоизоляционного арболита на базе костры – еще выше.

К механизированным способам уплотнения арболита относятся *вибросиловой прокат, виброштампование, вибрирование с пригрузом.*

Завершающим этапом технологического процесса является тепловая обработка изделий до набора отпускной прочности. Пропаривание арболита по обычным для бетонов режимам приводит к потере прочности, что объясняется возникновением внутренних напряжений за счет объемных деформаций заполнителя, которые разрушают структуру твердеющего цементного камня: одновременно усиливается выделение сахаров в раствор, что способствует «отравлению» цемента.

Лучшие результаты достигаются при низкотемпературной обработке по мягким режимам, аналогичным для древесины при ее сушке – температуре 50…60^{0}С и относительной влажности воздуха 70…80%. При таком режиме арболит приобретает распалубочную прочность через 18…20 ч. Она не превышает 25…40% марочной, а влажность остается в пределах 30…35%. Для дальнейшего набора прочности и снижения влажности до отпускных величин изделия дополнительно выдерживают на закрытом складе в течение 7 дней при температуре 16…18^{0}С.

При применении арболита снижается трудоемкость монтажа конструкций, а также возможно изготовление панелей полной заводской готовности размером «на комнату» с вмонтированными оконными дверными блоками, электропроводкой и т.д. Арболит имеет лучшие теплотехнические характеристики, чем керамзитобетон, что позволяет возводить стены меньшей толщины. В некоторых сооружениях замена традиционных материалов арболитом позволяет снизить массу здания в 1,3…1,5 раза. При эквивалентной толщине стены по условиям теплопередачи масса 1 м^2 ограждения из арболита

в 7…8 раз ниже, чем из кирпича и в 2…3 раза ниже, чем из керамзитобетона; стоимость 1 $м^2$ стены соответственно меньше на 3…4 и 6…7 руб.

Применение арболита, по сравнению с керамзитобетоном, снижает расход цемента на 35…55 кг/$м^2$ограждения при равном термическом сопротивлении.

Сравнительные технико-экономическое показатели 1 $м^2$ наружных стен из арболита и других материалов в сельскохозяйственном строительстве приведены в табл.10.

Таблица-10

Показатель	Однослойная панель из			Наружная стена из кирпича
	арболита	керамзитобетона	ячеистого бетона	
Средняя плотность,кг/$м^3$	700	900	700	1800
Толщина, см.	22	28	24	66
Масса, кг	154	270	200	1200
Расчетная стоимость, руб.	7,4	10,7	9,9	16,8
Удельные капитальные вложения, руб.	9,5	2,8	25,1	36,3
Приведенные затраты, руб.	8,5	14,1	12,9	21,2
Трудоемкость (производство и монтаж), чел-ч	2,7	4,0	3,6	8,6

Фибролит в качестве заполнителя и одновременно армирующего компонента состоит из древесной шерсти, которая представляет собой стружку длиной 200…500 мм, шириной 4…7 мм и толщиной 0,25…0,5 мм. Древесную

шерсть получают из неделовой древесины хвойных, реже лиственных, пород на специальных станках. В исходном сырье исключается присутствие гнили, косослоя и свилеватости, а также сучков диаметром более 30 мм, расположенных на расстоянии менее 200 мм друг от друга.

Фибролит выпускают в виде плит длиной 2400…3000 мм, шириной 500, 600 и 1200 мм и толщиной 30…100 мм. Для него установлены три марки по средней плотности: 300, 400 и 500. Влажность плит не должна превышать 20%.

Фибролит со средней плотностью до 400 кг/м^3 применяют для тепловой изоляции. Теплоизоляционный фибролит имеет теплопроводность 0,09…0,12 Вт/(м^{0}С).

При средней плотности 400 кг/м^3 и более фибролитовые плиты, являясь теплоизоляционными материалами, одновременно могут использоваться и для возведения стен, перегородок и перекрытий. Теплопроводность конструкционно –теплоизоляционного фибролита 0,12…0,15 Вт/ (м.^{0}С).

Фибролит отличается высокой звукопоглощаемостью, обусловленной сообщающимся характером пор, а также хорошими обрабатываемостью, гвоздимостью, сцеплением со штукатурным слоем и бетоном. Отрицательными свойствами фибролита являются значительная воздухопроницаемость, большое водопоглощение, низкая водостойкость, подверженность во влажном состоянии поражению грибком.

Технология производства фибролита включает следующие процессы: приготовление древесной шерсти; обработку ее минерализатором; смешивание с цементом обработанного сырья; прессование плит и их термическую обработку. Прессование фибролита ведут пакетным способом; теплоизоляционного – при давлении 0,01…0,1 МПа, констуркционно – теплоизоляционного при 0,15…0,4. Плиты, зажатые в формах, твердеют в естественных условиях или в специальных камерах при температуре 60…70^{0}С и влажности воздуха 60…70%. Средний расход портландцемента марки М400 на 1м^3 фибролитовых плит зависит от требуемой средней плотности и

составляет 190…270 кг/м^3. При производстве 1 м^3 фибролита расходуется также около 0,4 м^3 древесины и 7 кг хлорида кальция.

Для фибролита, наряду со средней плотностью, влажностью и теплопроводностью, нормируется предел прочности при изгибе, который в зависимости от плотности и средней толщины плит составляет 0,4…2 МПа.

При одинаковом термическом сопротивлении конструкций расход цемента при применении фибролитовых теплоизоляционных плит сокращается примерно в 2,5 раза по сравнению с конструкциями, где утеплителем служат плиты из ячеистого бетона. Вместо цемента для фибролита (так же, как и арболита) могут применяться другие вяжущие, такие как строительный и высокопрочный гипс, белито – шламовое вяжущее.

Перспективными материалом для деревянного домостроения являются *цементно – стружечные* плиты, изготавливаемые из специальных древесных стружек и портландцемента. Эти плиты прессуют при повышенном давлении. При плотности 400…1200 кг/м^3 они обладают высокой прочностью, атмосферостойкостью, не воспламеняются, не разрушаются термитами и дереворазрушающими грибами, хорошо склеиваются с древесиной, пластмассами и металлами, легко обрабатываются, отделываются красками. Их применяют в качестве наружной обшивки панелей жилых домов, для устройства полов, изготовления дверей, а также в качестве опалубки для бетона.

Опилкобетоны – это материалы на основе минеральных вяжущих и органических заполнителей (древесных опилок). К ним относятся ксилолит, ксилобетон и некоторые другие материалы, близкие по составу и технологии получения.

Опилкобетоны, содержащие кроме опилок минеральные заполнители применяют в монолитном строительстве или для изготовления мелких стеновых блоков для наружных стен при возведении малоэтажных зданий, животноводческих и других сельскохозяйственных сооружений.

При изготовлении опилкобетонных смесей цемент сначала смешивают с песком, а затем с опилками, обработанными в растворе минерализатора, и водой. Массу готовят в обычных растворосмесителях. Для получения 1м^{3}опилкобетона классов В1…В2 средней плотностью 1050…1250 кг/м^3 расход портландцемента марки М400 составляет примерно 130 кг, гашеной извести – 105, песка – 600, опилок – 200 кг.

Опилкобетоны при средней плотности 300…700 кг/м^3 и прочности на сжатие 0,4…3 МПа применяют как теплоизоляционные материалы, а при средней плотности 700…1200 кг/м^3 и прочности на сжатие до 10 МПа – как конструкционно – теплоизоляционные.

Наибольшей прочности опилкобетоны достигают при твердении в теплых и влажных условиях. Монолитное строительство с применением этого материала рекомендуются производить весной, для того чтобы к осени конструкции приобрели необходимую прочность. Стоимость 1 м^2 стены из опилкобетона вдвое меньше, чем из кирпича.

Ксилолитом называется искусственный строительный материал, полученный в результате твердения смеси, состоящей из магнезиального вяжущего и древесных опилок и затворенной раствором хлорида или сульфата магния. Этот материал в основном применяется для устройства монолитных или сборных покрытий пола. Преимуществами ксилолитовых полов являются их невысокий коэффициент теплоусвоения, гигиеничность, достаточная твердость, низкая истираемость, возможность разнообразной цветовой окраски.

Рекомендуемая ксилолитовая смесь состоит из каустического магнезита и опилок в таком соотношении по объему: 1:1,5…1..1,4. Расход каустического магнезита на 100 м^2 покрытия толщиной 10 мм-410…620 кг, а кристаллического хлорида магния-260…400 кг.

Основные физико-механические свойства ксилолитовых плиток даны в табл.11.

Таблица-11

Показатель	**Ксилолитовые плитки**	
	Прессованные	**Трамбованные**
Средняя плотность кг/м^3, не более	1500	1800
Водопоглощение, %	8…12	16…20
Истираемость, г/см^2	0,1…0,2	0,2…0,3
Предел прочности на изгиб, МПа	15…20	7,5…10

Ксилобетоны-это разновидность легкого бетона, заполнителем которого служат опилки, а вяжущим цемент или известь и гипс.

Для ускорения твердения ксилобетона, уменьшения его водопоглощения и увеличения водостойкости опилки подвергают минерализации. Ксилобетонную массу изготавливают в растворо или бетонасмесителях, а затем уплотняют вибропрессованием или трамбованием.

Разновидностями ксилобетона является ксилоизол, включающий наряду с портландцементом известковое тесто и 5%-й раствор поваренной соли, термиз и термизол, содержащие еще диатомит, трепел или золу ТЭС.

Королит–материал производимый на основе минеральных вяжущих и коры. При применении коры в производстве королита ее предварительно подсушивают, измельчают и просеивают для удаления пыли. Вяжущими служат строительный гипс или быстротвердеющие цементы.

Рекомендуемые составы смесей для получения 1 м^3 гипсового королита определенной плотности даны в табл12.

Приготовление смеси и формование королита производят на оборудовании, используемом для приготовления арболита.

Предел прочности гипсового королита равен менее 1,7 МПа, теплопроводность его 0,14…0,16 ВТ/ (м.^{o}С).

Стоимость 1 м^{3} королита вдвое ниже стоимости фибролита и арболита. Применяют королит в качестве утеплителя при устройстве стен и полов.

Таблица-12

Материал, кг	**Плотность королита, кг/м^{3}**		
	до 500	**600**	**700**
Измельченная кора	150	170	190
Замедлитель схватывания	02	0,2	0,3
Строительный гипс	160	200	245
Антисептик	7	9	10
Вода	180	220	250

П р и м е ч а н и е: Антисептиком служит 1…1,5 %-й раствор оксиддефенолят натрия, а замедлителем схватывания гипса – бура или столярный клей.

4.3. Материалы на органических связующих

Применение органических вяжущих при производстве новых эффективных строительных материалов значительно расширило возможности утилизации отходов лесопиления и деревообработки.

Доля органического связующего обычно составляет не менее50% стоимости материалов с древесным заполнителем. Поэтому экономически выгодно использовать наиболее дешевые полимерные связующие, прочно склеивающие древесные частицы. Они должны удовлетворять ряду технологических требовании: не быть пожаро и взрывоопасными, обладать

минимальной токсичностью; иметь достаточно низкую вязкость, сохраняющуюся в течение срока их перевозки, хранения и использования; обладать способностью достаточно быстро отвердевать при введении отвердителей.

Этим требованиям отвечают термореактивные поликонденсационные полимеры, которые под влиянием температуры около 100 ^{o}C или отвердителей способны превращаться в твердые, неплавкие и нерастворимые вещества.Из синтетических полимеров для склеивания древесины используют мочевино-формальдегидные (карбамидные) и фенолформальдегидные смолы. Клеи на основе этих полимеров водо и теплостойки их термическое разложение начинается при температуре около 200^{o}C, отверждаются они холодным и горячим способами.

Наиболее распространено применение мочевино-формальдегидных смол, имеющих ряд преимущество: они быстро твердеют при нагревании; скорость их отверждения регулируема; обладают высокой прочностью склеивания и светлой окраской. В качестве отвердителей этих смол применяют хлористый или сернокислый аммоний в количестве 0,5…2% от массы смолы.

Фенолформальдегидные смолы при нагревании отверждаются без введения катализирующих добавок. По сравнению с мочевино – формальдегидными, этим смолам необходимы более высокая температура и выдержка при прессовании. Значительное содержание в этом полимере свободного фенола вызывает у материалов резкий запах. Окраска темная.

Клееная древесина относится к наиболее эффективными строительным материалам. Она может быть слоистой или полученной из шпона (например, фанера, древесно-слоистые пластики), массивной из кусковых отходов лесопиления и деревообработки (панели, щиты, брусья, доски) и комбинированной (столярные плиты).

Клееные изделия из кусковых отходов древесины классифицируют по виду применяемого клея, характеру обработки поверхности и конструктивным

особенностям. Прочность склеивания древесины зависит от пористости, соотношения ранней и поздней древесины в годовых слоях, ее влажности, химического состава, угла наклона волокон. Установлено, что прочность склеивания линейно связана с пористостью, она нарастает также по мере увеличения содержания целлюлозы.

Для склеивания по длине коротких досок и обрезков со стороны их склейки обрезают торцы, вырезают зубчатые шипы, затем торцы пропитывают клеем и стыкованные доски укладывают в пресс, где выдерживают до полного отверждения клея, что составляет 6…18 ч. Перед механической обработкой их выдерживают при нормальной температуре еще 6…12 ч. Кусковые отходы по толщине (ширине) склеивают в течение нескольких минут на полуавтоматических установках с прогревом клеевых соединений токами высокой частоты.

Преимуществами клееной древесины являются ее низкая средняя плотность, водостойкость, возможность получения из маломерного материала изделий сложной формы или крупных конструктивных элементов. В клееных конструкциях ослабляется влияние анизотропии древесины, они характеризуются повышенной гнилостойкостью и низкой возгораемостью, не подвержены усушке и короблению. Клееные деревянные конструкции по срокам и трудозатратам при возведении зданий, а также стойкости при воздействии агрессивной воздушной среды часто успешно конкурируют со стальными и железобетонными конструкциями. Их применение эффективно при возведении сельскохозяйственных и промышленных предприятий, выставочных и торговых павильонов, спортивных комплексов, зданий и сооружений сборно-разборного типа.

Клееные деревянные конструкции, как и железобетонные, можно выпускать предварительно напряженными, армируя их стальными стержнями. У армированных конструкций в виде сплошных или пустотелых балок несущая способность почти в 2 раза выше, чем у цельнодеревянных.

Номенклатура изделий из клееной древесины обширна. Так, из отрезков досок склеивают панели, имеющие предел прочности на скалывание вдоль волокон по клеевому шву не менее 6 МПа. Прочность на статический изгиб зубчато-шипового соединения составляет не менее 35% прочности бездефектной древесины. Такие панели применяют для устройства перегородок, обшивки домов, настилов полов.

Из кусковых отходов лесопиления изготавливают *клееные щиты,* применяемые в основном для настила полов. Для их производства применяют кусковые отходы длиной 375 мм и больше. Их раскраивают на бруски, которые сушат до влажности 10…12%, а затем склеивают при прессовании. Щиты строгают с двух сторон на рейсмусовом станке, обрезают по периметру до заданных размеров с одновременной выборкой на боковых кромках паза и гребня.

Из короткомерных и низкосортных пиломатериалов и отходов изготавливают плиты длиной 2500….5000 мм, шириной 1200 мм и толщиной 19 или 22 мм. Сырье раскраивают на заготовки длиной 2…2,5 м, которые обрезают по ширине, сортируют по длине и высушивают в сушильных камерах. Высушенные заготовки строгают, вырезают вскрывшиеся пороки древесины. Затем с помощью специальных шипорезных станков на них выбирают зубчатые шипы, на которые наносят клей. Заготовки собирают на сборочных станках и раскраивают на обрезки заданной длины. На одну из кромок заготовок наносят клей и набирают на цепном конвейере ковер плиты, который подается в высокочастотный пресс. Применение клееных плит позволяет на 20% снизить себестоимость полов по сравнению с дощатыми за счет снижения стоимости материалов и трудозатрат.

Прессованием отходов лесопиления (тонких реек и брусков) с последующей обвязкой их оцинкованной проволокой получают реечные плиты, применяемые в каркасных зданиях, для перекрытий и устройства временных производственных зданий.

Из кусковых отходов лесопиления изготавливают щитовой паркет, состоящий из нижнего щита (основания) и верхнего покрытия, наклеенного на основание. Для изготовления щита используют древесину хвойных пород, для покрытия – твердолиственную.

При использовании клееных изделий в строительстве экономия деловой древесины составляет до 20%, а стоимость конструкций уменьшается в 3..4 раза по сравнению со стоимостью конструкций из цельной древесины.

Конструкции из клееной древесины позволяют уменьшить массу зданий в 2,5…3 раза, снизить трудозатраты на 25…30% , сократить сроки строительства в 1,5 …2 раза и уменьшить стоимость на 7 …10%.

Древесно-стружечные и древесно-опилочные плиты. *Древесно-стружечные плиты* – это материал, полученный горячим прессованием измельченной древесины, смешанной со связующими веществами – синтетическими полимерами. Преимуществами этого материала являются однородность его физико – механических свойств, небольшие линейные изменения при переменной влажности, возможность высокой механизации и автоматизации производства.

Промышленность выпускает плоские и экструзионные плиты. В первых частицы расположены параллельно, во вторых – перпендикулярно к плоскости плиты, что достигается прессованием методом экструзии (выдавливания). При применении фенолформальдегидных и меламиноформальдегидных смол с добавками гидрофобных веществ получают плиты повышенной водостойкости, мочевина – формальдегидных – средней водостойкости. Древесно – стружечные плиты разнообразны по конструкции (однослойные сплошные и с внутренними каналами, трехслойные и многослойные), плотности (легкие: P_0<500, средние P_0=500…650 и тяжелые P_0=660…700 кг/м^3), виду отделки (необлицованные и облицованные бумагой, лущеным или строганным шпоном).

Основные физико-механические свойства древесно-стружечных плит даны а табл.13.

В зависимости от марки плиты толщина составляет 10…22, длина – 2440…5500, а ширина 1220…2440 мм.

Основным видом сырья для изготовления древесно – стружечных плит служит неделовая древесина, к которой относятся отходы лесопиления и деревообработки, а также отходы лубяных растений –солома, тростник, костра и отходы семян.

Технологический процесс производства плит состоит из следующих процессов: раскроя древесины на заготовки, переработки ее в специальные стружки, сушки и приклеивания стружек связующим, формования стружечного ковра, прессования и дополнительной обработки плит.

К специальной резаной стружке, получаемой на стружечных станках, возможно добавление стружки (отхода деревообработки), а при изготовлении экструзионных плит –и опилок. Для устройства внутренних слоев без снижения качества плит может быть использована также дубина.

Расход связующего зависит от типа плит, назначения слоя и породы древесины. Применение лиственных пород увеличивает расход связующего на 10…20%. Для устройства наружного слоя 3-слойных плит расход полимера составляет 12…14, а внутреннего – 8…10%. У однослойных плит связующее по массе составляет 10…12, а у экструзионных –5…8%. Специальные свойства плит регулируются введением добавок в стружечную массу: для плит регулируются введением добавок в стружечную массу: для повышения биостойкости вводят антисептики, огнестойкости – антипирины, водостойкости – гидрофобизаторы.

Таблица-13

Показатель	Группы			
	А		В	
	Плита марки			
	П-1	П-2	П-3	
Влажность, %	8+ 2	8+ 2	8+ 2	8+ 2
Водопоглощение, %, не более	-	-	-	15
Набухание, %, не более при водостойкости: обычной	20	20	30	-
Повышенной	-	15	25	5
Прочность при растяжении перпендикулярно пласту плиты, МПа, не менее, для толщин, мм: 10…14	20,0	20,0	16,0	-
15…19	18,0	18,0	15,0	25,0
Твердость МПа, не менее	-	-	-	30
Плотность, кг/м^3, не более	800	750	720	850

При производстве плит плоского прессования применяют два способа приклеивания стружки. При первом способе вначале из соответствующих компонентов готовят жидкий клей, который при помощи форсунок наносят на стружку. По второму способу компоненты клея наносят раздельно. Для экструзионных плит применяют лишь первый способ приготовления связующего.

Приклеивание стружки производится в специальных смесителях, из которых она ленточными конвейерами передается в формующую машину, где

образуется стружечный ковер, подвергаемый холодной подпрессовке, а затем прессуется в горячем прессе.

Для прессования плит применяют гидравлические 9-этажные прессы. Плиты пресса нагревают до температуры 150^0 С и выше. В первый период прессования давление достигает максимальной величины – 3 МПа, а затем, после некоторой выдержки, оно снижается до 0,6…0,8 и 0,3…0,4 МПа.

Для обрезки кромок плиту направляют на форматный станок, а затем на штабелеукладчик. При экструзионном прессовании плита формуется в виде бесконечной полосы, которую разрезают на изделия определенных размеров.

Область применения древесно-стружечных плит весьма разнообразна. Как конструкционно-отделочный материал их применяют при устройстве полов, потолков, стен, перегородок, дверей, встроенной мебели и т.д.

На изготовление 1 $м^3$ древесно-стружечных плит расходуется около 1,7 $м^3$ твердых древесных отходов.

Из побочных продуктов деревообработки и переработки сельскохозяйственных культур в виде костры льна, конопли, рисовой соломы, лузги и т.д. можно получить ряд материалов, используя в качестве связующего такие синтетические полимеры, как мочевино – и фенолформальдегидные смолы. В строительстве, особенно сельском, имеется положительный опыт производства таких материалов, как древесно-опилочные плиты, ортенкс, риплит и другие.

Материалы из опилок с полимерными связующими предназначены для изготовления древесно-опилочных плит, армированных плит, щитовых дверей, оконных коробок.

Древесно-опилочные плиты изготавливают из смеси опилок, полимера, гидрофобизатора и антисептика. Они могут быть одно и многослойными, сплошными и ячеистыми. Средняя плотность сплошных древесно-опилочных

плит составляет 800 кг/м^3, ячеистых – 500, предел прочности достигает 20 МПа. Водопоглощение таких плит за 24 ч – около 10%, линейное набухание по толщине – 12, длине и ширине – 0,5%. Толщина древесно – опилочных плит должна быть не меньше 19…24 мм.

Плиты применяют для полов и отделки. Отделочные древесно – опилочные плиты имеют, с одной стороны, ячеистую поверхность, с другой – гладкую.

При производстве плит для полов расход мочевино – формальдегидной смолы составляет для наружных слоев 18% массы сухих опилок, внутреннего слоя – 10. Расход смолы при изготовлении отделочных плит около 8%.

Гидрофобизаторы (петролатум или парафин) вводят в количестве 1…3, а антисептики 1…1,5% массы сухих опилок.

Плиты прессуют при температуре 40…45^{0}С и давлении 1…1,5 МПа в течение 10…25 мин. Для улучшения их внешнего вида и повышения долговечности производится отделка шпоном.

Затраты на изготовление конструкций из древесно – опилочных плит значительно ниже, чем из традиционных материалов.

К числу местных теплоизоляционных материалов относятся разнообразные материалы на основе костры льна и других волокнистых отходов переработки сельскохозяйственных культур и различных органических вяжущих. Один из таких материалов – *костроэмульбит,* получаемый на основе заполнителя – костры льна и вяжущего – битумной эмульсии. Эмульгатором битумной эмульсии и одновременно огнезащитными компонентом служит ЛСТ. Костроэмульбит предназначен для теплоизоляции кровель по несгораемым основаниям, а также как средний слой стеновых панелей в зданиях сельскохозяйственного назначения.

Битумную эмульсию готовят в лопастных мешалках с частотой вращения вала до 90…110 об/мин, гомогенизаторах, акустических диспергаторах. В мешалку загружают раствор ЛСТ плотностью 1,25 г/см^3 в количестве 6…12% общей массы битумной эмульсии. При работающем смесителе вводят расплавленный битум, а спустя 3…4 мин – подогретую до 60…90^{0}С воду, которая разбавляет смесь битума с эмульгатором до необходимой консистенции.

Костроэмульбит получают цикличным способом, когда смешивание костры льна с битумной эмульсией производится в стандартных бетоносмесителях принудительного перемешивания, или поточным – при использовании смесителей непрерывного действия.

Дополнительно, для увеличения теплостойкостью, вводят перлитовый или керамзитовый песок из расчета 30 кг на 1 м^3 утеплителя.

Расход материалов, кг, для приготовления 1 м^3 костроэмульбита (средняя плотность 300 кг/м^3) составляет: костра льна – 195; битум – 75; ЛСТ – 18 (в пересчете на сухое вещество); добавка (жидкое стекло) – 12.

Плиты формуют в инвентарных формах – рамках на решетчатых поддонах и уплотняют на прессах. Затем формы – рамки снимают и изделие направляют в камеру-сушилку или на склад готовой продукции для естественной сушки.

Костроэмульбит, изготовленный в виде плит размером 600Х600Х100 мм и высушенный до постоянной массы характеризуются следующими физико-механическими показателями;

Средняя плотность 390 кг/м^3 при влажности 10%
Теплопроводность при 20^{0}С, Вт/ (м.^{0}С)-0,067

Прочность при изгибе, Мпа - 0,11

Усадка под нагрузкой - 0,033 МПа

Водопоглощение, % по массе, за 24 ч - 53

Объемное набухание, %, за 24 ч - 6

Гигроскопичность, % - 8

Технология получения *ортенкса* включает смешивание органического заполнителя со связующим, которое вводят распылением, с последующей укладкой проклеенной массы в форму и прессованием при просасывании через изделие горячего воздуха. Весь процесс формования и тепловой обработки изделий продолжается 20…25 мин. Плотность плит из ортенкса составляет 175…300кг/м^3, прочность при изгибе–0,5МПа, теплопроводность 0,21…0,24 Вт (м.^{0}С).

Тырсолит – листовой материал толщиной 1,5…8 мм. При его изготовлении синтетические полимеры вводят в количестве 4…8% массы сухих опилок. Отделывается полимерной пленкой или бумагой, пропитанной полимером. Технологический процесс производства включает сепарирование древесного сырья, его сушку, смешивание опилок с клеем, формование ковра, прессование, выдержку и обрезку материала по формату.

Паркелит – материал в виде плиток толщиной 18мм и размерами 300Х300 и 400Х400 мм. При изготовлении паркелита массу из древесных опилок и стружек смешивают со связующим и прессуют при давлении 8 МПа и температуре 140…160 ^{0}С. Отпрессованные плитки после выдержки шлифуют, обрабатывают, выбирая пазы, и облицовывают строганным шпоном. В основание паркелитовых плиток для предотвращения коробления закладывают армирующие рейки в направлении волокон древесины облицовочного слоя.

Себестоимость изготовления паркелита примерно вдвое ниже себестоимости паркетной доски.

Королитовые плиты получают при использовании как неорганических, так и органических вяжущих. Роль органического вяжущего могут выполнять не только термореактивные полимеры, но и концентраты лигносульфонатов (ЛСТ). При применении органических вяжущих в массу дополнительно к добавкам гидрофобизаторов вводят антипирен в виде насыщенного водного раствора сульфата аммония.

Расход полимерного связующего составляет у королитовых плит около 12% их массы. Средняя плотность королита – 450…800 кг/м^3, предел прочности на сжатие – 0,5…3,5 МПа. Недостаток этого материала в его высоком водопоглощении достигающем через 24 ч, в зависимости от плотности, 70…115%. Основное назначение королита – это теплоизоляция ограждающих конструкций. *Риплит* – теплоизоляционный материал на основе рисовой соломы и вспененного связующего. Он не горит, не подвергается воздействию плесени и микроорганизмов. Риплит получают четырех марок по плотности: 75, 100, 150 и 200 с пределом прочности при сжатии 0,05…0,18 МПа, при изгибе 0,08…0,6 МПа, водопоглощением за 24 ч - 13…20% (по объему) и теплопроводностью 0,14…0,19 Вт/(м.^{0}С). Так, как и пенопласты, риплит применяют в качестве заливочной масы для 3-слойных панелей. Плитный риплит можно применять как утеплитель под рулонную кровлю. Для изготовления риплита требуется в 1,5…2 раза меньше полимерного связующего, чем для получения пенопласта.

ГЛАВА 5. МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

5.1. Общая характеристика

Большинство химических производств характеризуется выходом значительного количества побочных продуктов. Утилизация их, с одной стороны способствует существенному повышению эффективности работы химических предприятий и направлена на охрану окружающей среды, а с другой-является одним из путей химизации производства строительных материалов, снижение затрат интенсификации технологических процессов, расширения ассортимента и повышения качества строительных изделий и конструкций.

Побочные продукты химической промышленности можно классифицировать по следующим отличительными признакам:

-содержанию характерного химического компонента;

-технологическому назначению в производстве строительных материалов.

По содержанию характерного химического компонента различают такие побочные химические продукты: фосфор и фтор содержащие шлаки, гипсо-и известь содержащие продукты, железистые, кремнеземистые и другие материалы природного происхождения.

По технологическому назначению побочные химические продукты делятся на следующие группы:

-сырьевые материалы для получения вяжущих веществ-цемента, извести, гипса и др.

-интенсификаторы технологических процессов в качестве плавней,понизителей твёрдости,гранулообразователей, разжижителей и др.

-добавки модификаторы свойств материалов-легирующие присадки, пластификаторы, ускорители и замедлители твердения и др.

Классификация по технологическому назначению весьма условна, так как один и тот же побочный продукт, являющийся отходом производства, в зависимости от конкретной области его применения можно отнести к разным группам.Например фосфогипс для производства гипсовых вяжущих или серной кислоты относится к первой группе побочных продуктов, а вводимый при обжиге цементного клинкера ко второй, при измельчении цемента для регулирования сроков схватывания к третье группе.

Комплексное использование химических побочных продуктов можно рассматривать в нескольких направлениях. Во-первых, утилизация отходов позволяет решать задачи охраны окружающей среды, освободить ценные земельные угодья, занятые под отвалы и шламохранилища, устранить вредные выбросы в окружающую среду. Во-вторых, отходы в значительной степени покрывают потребность ряда перерабатывающих отраслей в сырье. В-третьих, при комплексном использование сырья и отходов снижаются удельные капитальные затраты на единицу продукции и уменьшается срок окупаемости произведенных финансовых затрат.

5.2.Применение попутных продуктов производства кислот, солей и других химических веществ

Использование солей и гидроксидсодержащих шламов и содопродуктов

При производстве карбида кальция, известкового молока, каустической соды,нитрит-нитрата натрия в процессе умягчения технологической воды образуется кальций-содержащие шламы. Они могут быть использованы в качестве сырья (карбоната кальция и гидроксида кальция) либо минерализующих добавок (сульфата или нитрата кальция) при производстве цемента.

Наибольшее количество карбонатного сырья скапливается на содовых, целлюлозно-бумажных и азотно-туковых предприятиях. Его применение требует очистки от примесей и частичного обезвоживания, например, в центрифугах непрерывного действия или в вакуумных барабанных фильтрах.

В промышленности строительных материалов имеется положительный опыт использования карбидной извести-попутного продукта получения ацетилена из карбида кальция.

Известковое тесто на основе карбидного ила содержит примеси неразложившегося карбида кальция и растворенного ацетилена.Применять его можно после выдерживания в течение 1-2 месяцев до исчезновения запаха ацетилена (последнее проверяется нагреванием пробы в фарфоровой чашке до 70^0С с помешиванием в течение 20 мин.

Порошковая карбидная известь отличается от извести-пушонки размерами и формой зёрен. В ней кристаллы гидрата окиси кальция имеют вид пластинок размером 0,2 мм, а в обычной пушонке они сферической формы и размером 0,5-1мм. Для улучшения вяжущих свойств карбидной извести при изготовлении автоклавных изделий целесообразно измельчать ее совместно с песком. Совместный помол приводит к повышению активности смеси в 2-2,5 раза по сравнению с раздельным. При содержании в смесях карбидной извести и кремнеземистых компонентов 6-8 % активной CaO в условиях автоклавной обработки обеспечивается прочность образцов до 25 Мпа.

Составы и свойства плотных силикатных изделий на основе вяжущих из карбидной извести приведены по данным Б.П. Паримбетова в табл.14. Данные табл.14 свидетельствуют о достаточно высокой морозостойкости и плотности изделий на основе карбидной извести.

Составы и свойства плотных силикатных изделий на основе вяжущих из карбидной извести

Таблица-14

Вяжущие	Содержание вяжущего, %	Активность смеси, % по массе	Средняя плотность, кг/м^3	Водопоглощение % по массе	Предел прочности при сжатии, МПа	
					После запаривание	циклов замораживания
Карбидная известь+молотый песок	25	8	1940	10	26,5	26,5
Карбидная известь+горелая порода	23	6	2000	10	16,0	15,0
Карбидная известь+отходы ванадиевых пород	25	8	1450	28	8,2	6,2
Негашеная известь+вскрышная порода	29	7	1750	15	15,0	12,3
Негашеная известь+отвальный доменный шлак	15	7	2100	7	20,0	18,6

Южгипроцементом разработан быстросхватывающийся расширяющийся цемент (БРЦ) на основе портландцементного клинкера, гипса и расширяющей добавки. В качестве последней используется сульфоалюмосиликатный продукт (САСП), являющийся отходом производства очищенного сернокислого алюминия из каолина. САСП представляет собой пластинчатый материал в

виде плиток толщиной до 7 и диаметром до 50 мм не требующий предварительного дробления. Цемент получают путём помола в трубных мельницах портландцементного клинкера, гипса и САСПа. Состав БРЦ %: клинкер - 67-74, САСП - 17-23, гипс - 5-10.

Цемент имеет короткие сроки схватывания: начало 3-6, конец 8-10 мин от начала затворения водой. Важным показателем БРЦ является высокая прочность в ранние сроки твердения. Предел прочности при сжатии составляет через 1 сутки 3-5, через 3 суток 22,5-30, через 28 суток 50-60 Мпа. При длительном твердении (до 5 лет) прочность возрастает. Цементный камень в раннем возрасте характеризуется высокой плотностью и водонепроницаемостью. Фильтрация воды через слой цементного камня на основе БРЦ в возрасте одних суток под давлением 0,1 МПа прекращается через 6 ч. Через сутки твердения образцы полностью водонепроницаемы при давлении 0,6 Мпа. Наиболее высокой коррозионной стойкостью обладают расширяющиеся цементы на основе клинкера содержащего до 60% C_3S и не более 8% C_3A. БРЦ испытанный в 3 и 5%ных растворах сульфата натрия и в грунтовой воде содержащей 1500мг/л ионов SO_4 имеет коэффициент стойкости 0,87-0,92 и 0,96, соответственно, что свидетельствует о достаточно высокой сульфатостойкости. При строительстве одного из метрополитенов для гидроизоляции швов туннельных обделок использовали в основном БРЦ изготавливаемый опытным заводом Южгипроцемента.Зачеканка швов этим цементом производилась в туннелях с железобетонной и чугунной обделкой диаметром 5,5-11 м. По срокам схватывания, ранней прочности и удобоукладываемости в межтюбинговые швы цемент удовлетворял требованиям технических условий на проведение работ по чеканке швов. После размывания швов грунтовыми водами в процессе эксплуатации трещин и усадочных деформаций не наблюдалось. Гидравлические испытания швов под давлением 0,5 МПа показали их полную водонепроницаемость.

БРЦ успешно применяется и при торкретировании поверхности сооружений, причем отпадает необходимость в применении добавок – ускорителей твердения, а высокая ранняя прочность цемента на основе САСП позволяет наносить каждый последующий торкретный слой практически без перерыва. Применение БРЦ при строительстве плавательного бассейна стадиона «Пионер» в Харькове позволило отказаться от сооружения металлического кожуха, что дало значительную экономию металла и сократило сроки строительства.

Выпуск БРЦ на основе клинкера, САСП и гипса на цементных заводах может быть организован без изменения технологической схемы производства. Стоимость БРЦ в 3 раза ниже стоимости обычного гипсоглиноземистого расширяющегося цемента.

Установлена принципиальная возможность получения сульфатированных цементов на основе попутных продуктов химических предприятий содержащих алюмосиликатные компоненты и гипсосодержащего сырья. Использование в качестве исходных компонентов сиштофа и фосфогипса, основного доменного шлака и мела позволило на 200^{o}C снизить температуру обжига клинкера по сравнению с обычными цементами. Выпуск сульфатированного цемента марки М 400 на основе славянского мела (50-55),глуховецкого каолина (25-30) и артемовского гипса (20-25%) осуществлен на Енакиевском цементном заводе.

На ряде химических предприятий при сжигании адипатов натрия образующихся в производстве капролактама получается содовый плав. В его состав входят, %:Na_2 CO_3 - 94-96, $NaHCO_3$ -1-1,5, а также примеси Al_2O_3,CaO, MgO,SiO_2 влажность достигает 2-5%.Содовый плав используется по техническим условиям в производстве бетона в качестве химической добавки.

Содосодержащие попутные продукты можно использовать при изготовлении бесклинкерного вяжущего для тампонирования скважин. В состав бесклинкерного вяжущего входят твёрдый остаток содового производства,

доменный гранулированный шлак, кварцевый песок и двуводный гипс. При тепловлажностной обработке (в условиях «горячих» скважин или в автоклавах) кремнеземсодержащий компонент активизируется гипсом и содосодержащим продуктом.Бесклинкерное шлакощелочное вяжущее с использованием содового плава можно применять также в производстве силикатного кирпича и сульфатостойких ячеистых бетонов.

Работами Тульского политехнического института и Проблемной НИЛ грунтосиликатов КИСИ (Киев) установлена возможность получения высокопрочного кирпича на шлакощелочном вяжущем. Вяжущим служит молотый доменный гранулированный шлак с удельной поверхностью 3200 $см^2/г$ и модулем основности М=1,02 затворенный раствором содощелочногоплава плотностью 1,18-1,2$см^2/г$. Шлак измельчали до удельной поверхности 3100 $см^2/г$ в качестве заполнителей применяли кварцевый песок влажностью 8-12%,Мкр=1,1 с содержанием глинистых примесей до 8-9, пылеватых до 10%. Молотый шлак и песок объёмными дозаторами загружались в двухвальный смеситель и перемешивались в течение 2 мин, затем смесь элеватором подавалась во второй смеситель, куда поступал раствор плава для обеспечения формовочной влажности смеси 10-12%. Перед подачей в бункеры смесь дополнительно перемешивалась 2 мин в двухвальной мешалке. Плотность раствора плава корректировали в зависимости от влажности песка. Прессовали кирпич при давлении 18 МПа. Отформованный сырец укладывали на вагонетки и отправляли в автоклавную обработку, которую проводили по режиму 2+2+5+2ч при давлении 0,5 МПа. Состав формовочной массы и физико-механические свойства кирпича производственной партии приведены в табл.15.

Физико-механические свойства кирпича на шлакощелочном вяжущем

Таблица-15

Составы	Расход материалов на 1000 шт. кирпича, кг				Плотность раствора плава, г/см^2	Объемная масса (средняя плотность)Кг/м^3	Прочность, МПа	Водопоглощение, % по массе	Коэффициент размягчения
	Молотый шлак	Кварцевый песок	Сухой плав	Вода					
1	500	3250	80	375	1,29-1,30	1900	20-25	8-12	0,94
2	600	3150	80	375	1,29-1,30	1920	40-45	8-12	0,90

Кирпич на шлакощелочном вяжущем прочностью 20-45 МПа может быть получен на заполнителях с повышенным содержанием глинистых и пылеватых частиц. Специальными исследованиями установлено, что такой кирпич обладает высокой атмосферо и морозостойкостью, устойчив к действию большинства агрессивных сред. На Донском кирпичном заводе выпущена партия такого кирпича объёмом 35 тыс. шт. Прочность кирпича составляет 15-60 МПа. Экономический эффект при этом составляет 4,75руб.на 1000 шт. кирпича, по сравнению со стоимостью кирпича на основе извести.

Об эффективности использования некондиционных содопродуктов как затворителей шлакощелочных вяжущих и бетонов свидетельствует и опыт объединения Донецкстройматериалы, где в качестве щелочного компонента в производстве шлакобетонных изделий применяют содопродукты нефтеперерабатывающего завода, получаемые при обработке углекислотой отработанной щелочи. Состав содопродуктов %, бикарбонат натрия-75, карбонат натрия-9, прочие вещества-16. Вяжущее состоит из молотого до

удельной поверхности 2800 $см^2/г$ доменного гранулированного шлака металлургического завода, затворенного водным раствором содопродукта плотностью 1,15 $г/см^3$. Такое вяжущее характеризуется следующими показателями: нормальная густота-31,5% ,начало схватывания-55мин,конец -2ч 15 мин. Предел прочности при изгибе-3,9, при сжатии-25,4 МПа.

Водопотребность вяжущего повышается при увеличении содержания бикарбоната натрия в составе щелочного компонента, который менее активен по отношению к шлаку, чем карбонат натрия. Тепловлажностную обработку вяжущих и бетонов целесообразно проводить через 6-8ч после формования изделий в течение 6-10 ч при 90-100^oC.

Минимальная скорость нагрева может составлять 20-25^0C. При оптимальном режиме тепловой обработки можно получать с использованием некондиционных содопродуктов шлаковые бетоны марки М 400. Примерный состав бетонной смеси такой, %: шлак гранулированный-75, шлак гранулированный молотый-25, водный раствор щелочного отхода-10% от массы сухих компонентов. Прочность шлакоблоков через 7 ч после тепловой обработки более 4 МПа. Использование щелочных карбонизированных отходов позволяет снизить себестоимость продукции на 5-10%, значительно расширить сырьевую базу щелочей для шлакощелочных материалов и изделий.

Одним из попутных продуктов химических производств является белый (белитовый) шлам, в котором содержатся силикаты и алюминаты кальция и продукты их гидратации. Это тонкодисперсный малопластичный продукт, содержащий 30-33% воды. Вещественный состав белого шлама, % : белит $2CaO\text{-}SiO_2$ -27.9-36 гидросиликаты кальция ($2CaO\cdot SiO_2\cdot 2H_2O\cdot CaO\cdot SiO_2\cdot H_2O$-2,8-10,4, гидроалюминаты кальция $CaO\cdot A\cdot O$-19.4-20.7, кальцит $CaCO_3$-16,1-16,8, гипс $CaS\cdot 2H_2O$-0.2-0.3, щелочи -1,2-1.5, прочие -21,7-23,7.

Белый шлам преимущественно используют при производстве белого портландцемента и шламоцемента, а также как добавку в обычный портландцемент.

Установлена возможность получения портландцемента сухим и мокрым способами из двухкомпонентной сырьевой шихты: 72-75% белого шлама, 25-28 известняка.

Стандартный по качеству цемент получают путем обжига при 1350-1400^{0}С шихты с такими модульными показателями состава коэффициент насыщения КН от 0,88 до0,95; силикатный модуль от 1,5 до 1,9; глиноземный модуль от 2,2 до 2,3.

Опытно-промышленные исследования, проведенные на Красноярском цементном заводе показали, что при обжиге клинкера на основе двухкомпонентного сырья с использованием белого шлама может быть снижен расход топлива в вращающихся печах. При вводе в сырьевую шихту красителей 0,3% оксида хрома и по 1,0% диоксида марганца и оксида кобальта могут быть получены цементы различной окраски мягких тонов. Доказана возможность использования высушенного белого шлама в производстве портландцемента при совместном помоле шлама и клинкера. Ввод шлама может составлять до 25%.

В таблице 16 приведены данные о свойствах цемента, изготовленного на основе белого (белитового) шлама и клинкера с добавкой 5% гипса.

Физико-механический свойства цементов с добавкой белитового шлама

Таблица-16

Состав смеси, %	Температура сушки шлама, °С	Удельная поверхность, $см^2/г$	Нормальная густота, %	Сроки схватывания		Прочность при сжатии, МПа, через, сут			
				Начало ч/мин	Конец ч/мин	3	7	28	90
100 К	-	3000	25,25	4-05	5-05	40,8	58,1	61,6	68,3
90 К+10 БШ	110	3630	24,75	3-05	4-50	48,6	54,2	54,6	74,1
85 К+15 БШ	110	3760	25,40	3-25	4-30	47,3	55,7	57,9	72,1
75 К+25 БШ	110	4180	24,50	2-35	4-50	43,8	51,9	56,9	72,5
90 К+10 БШ	500	4530	24,50	1-00	4-35	55,3	57,3	68,3	73,7
85 К+15 БШ	500	4740	25,10	1-10	3-30	51,6	54,6	70,4	78,7
75 К+25 БШ	500	5080	25,25	0-50	1-35	50,5	56,5	59,9	71,2

Примечание: К – клинкер; БШ – белый шлам

Прочность цемента определена в образцах жесткой консистенции. Ввод белого шлама сокращает сроки схватывания цемента. В связи с этим рекомендуется при повышенном содержании алита в клинкере вводить не более 15% белого шлама. Прочностные показатели цемента повышаются в сравнении с чистоклинкерным цементом как в первые сроки твердения, так и в отдаленные.

Возможно также использование белого шлама в качестве самостоятельного вяжущего. Отличительной особенностью такого вяжущего является короткие сроки схватывания. Чтобы удлинить эти сроки, к высушенному белитовому шламу необходимо добавить до 15-20% гипса. Получено вяжущее путем помола высушенного при 500-600^{0}С белого шлама с

5-10% двухводного гипса, которое обладает активностью до 30 МПа и сроками схватывания начало до 20 и конец до 40 мин. Испытания вяжущего из белитового шлама в бетонных образцах показали его высокое качество (табл.17). Заполнителями бетона служили речной песок и гранитный щебень.

Результаты испытаний вяжущих из белитового шлама в бетонах

Таблица-17

Состав вяжущего, %	**Состав бетона**	**В/Ц**	**Расход вяжущих, кг/см3**	**Осадка конуса, см**	**Жесткость смеси, с**	**Прочность при сжатии, МПа, через, сут**		
						9	**7**	**28**
100 шлама +5 гипса	1:1,16:2,15	0,5	472	0	20	13,0	16,3	20,0
	1:1,54:2,86	0,65	363	8	7	6,3	9,5	12,2
100 шлама +5 гипса	1:1,07:1,99	0,5	495	0	35	20,3	22,7	26,8
	1:1,47:2,73	0,65	380	8	7	9,9	12,6	15,9

Расход вяжущего увеличен ввиду повышенной водопотребности бетонной смеси для сохранения заданного водоцементного отношения. Бетонная смесь хорошо укладывается, однако через 30-40 мин. загустевает. Несмотря на короткие сроки схватывания, вяжущее из белого шлама может быть применено для изготовления различных строительных деталей. Бетонные образцы характеризуется отношением 3-суточной прочности к 28-суточной в пределах 0,6-0,7. Это даёт основание предполагать,что бетонные изделия из белитошламового вяжущего уже через трое суток твердения могут преобретать отпускную прочность.

Применение железистых попутных продуктов

Перспективным попутным продуктом служит красный бокситовый шлам. Его химический состав %: Si-10-18; Al_2 O_3-10-18; Fe_2 O_3-24-45; CaO-15-40; Na_2O-4-7.

Шлам удаляется в отвалы в виде пульпы влажностью 70%. По дисперсности красный шлам близок к глинистому сырью. В нем до 80% частиц размером 5-30 мкм, плотностью 3,3-3,4 г/см^3.

Главные направления использования красного шлама: комплексная его переработка, получение чугуна, глинозема, цемента и др., непосредственное использование шлама в качестве добавки при производстве различных видов строительных материалов. В опытно-промышленном масштабе проверена возможность и показана технологическая и экономическая целесообразность использования как высокожелезистого, так и маложелезистого бокситового шлама в качестве комплексной корректирующей добавки при производстве портландцементного клинкера. Сырьевые смеси на основе красного шлама вводимого в количестве 12-15%, обладают повышенной текучестью, влажность таких смесей на 5-10% ниже влажности смесей, обычно применяемых в цементном производстве. Кроме того, обжиг шихты, содержащих красный шлам, протекает при пониженной температуре (на 50-70^{0}С ниже в сравнении шихтами на основе традиционного сырья). Этому способствует высокая дисперсность красного шлама, а также его повышенная реакционная способность. В итоге снижается расход топлива на обжиг клинкера.

Применение высокожелезистого красного шлама взамен обычно применяемых пиритных огарков в ряде случаев позволяет стабилизировать значение силикатного модуля клинкера и повышает его активность (на 6-9 МПа больше, чем клинкера на основе сырья, содержащего пиритные огарки).

В опытно-промышленном масштабе разработаны и опробованы способы производства глиняного кирпича с использованием высокожелезистого бокситового шлама, а также силикатного кирпича с использованием в качестве известкового компонента маложелезистого бокситового шлама. Разрабатываются способы использования красных шламов при производстве шлакокаменного литья, шлакощебня, а также местных вяжущих для закладки горных выработок и др.

Утилизация красного шлама связана с необходимостью его обезвоживания. Сухой красный шлам может служить эффективным наполнителем изоляционных материалов, красок, мастик, плиточных и рулонных материалов для покрытий полов и др.

В Украинском проектном конструкторско-технологическом институте местной промышленности установлена возможность замены дефицитных наполнителей-мела и талька, в производстве линолеума красно-коричневого цвета, красным шламом. Отфильтрованный шлам влажностью 20% подавали лебедкой в глинорезательную машину, откуда измельченный материал через бункер и тарельчатый питатель поступал в сушильный барабан. Высушенные куски шлама элеватором через бункер и питатель подавали в шаровую мельницу. После помола шлам поступал на сепаратор для разделения по фракциям и шнеками направлялся в бункер на расфасовку. Полученный наполнитель имел такие показатели: тонкость помола (остаток на сите-0,5)-0,11%; содержание влаги-4%; содержание водорастворимых солей-2%; реакция водной вытяжки - нейтральная; маслоемкость-38; укрывистость-18 г/м^2. Перед введением в формуемую массу шлам просушивали при 100-110^{0}С. За основу брали рецептуру однослойного поливинилхлоридного линолеума, выпускаемого Киевским комбинатом «Стройиндустрия». Красный шлам вводили совместно с тальком или баритом в соотношении 1:1, либо взамен обоих наполнителей. При этом из рецептуры исключался красный

железоокисный пигмент. Компоненты смешивали, пластифицировали в смесителе и на вальцах формовали в каландрах.

Замена красным шламом традиционных наполнителей не ухудшает физико-механических показателей поливинилхлоридного линолеума, увеличивает износостойкость и эластичность композиции. При использовании красного шлама отпадает необходимость применения железоокисных пигментов. Получаемый линолеум имеет блестящую, равномерно окрашенную поверхность с высокой цветоустойчивостью. Большие сырьевые ресурсы красного шлама и его низкая себестоимость, в сравнении с традиционными наполнителями, открывают перспективы его широкого использования.

При производстве масляных красок, например, применяют дефицитные минеральные пигменты-охру и сурик. Доказано, что их вполне можно заменить красным шламом, который имеет более низкие значения укрывистости, т. е. обладает лучшей кроющей способностью. Это объясняется высокой дисперсностью шлама. При использовании красного шлама для получения пигмента его обрабатывают на фильтрпрессе и подвергают мокрому размолу в шаровой мельнице с контрольными отсевом на сите №02, а затем высушивают в распылительных сушилках. На полученных в лабораторных условиях наполнителях и пигментах можно приготовить масляные краски различных цветов: коричневого, красно-коричневого и темно-коричневого. Связующим служит олифа оксоль, содержащая до 30% растворителя (вязкость 21 с по вискозиметру ВЗ-4, время высыхания 24 ч). Масляные краски соответствуют основным показателям качества согласно нормативным требованиям. Все краски с заменой сурика красным шламом высыхают за 20-24ч. Вязкость красок при содержании красного шлама от 50 до 100% повышается незначительно, чем больше в краске содержание красного шлама, тем лучше ее укрывистость.

Разработанные краски на масляной основе при замене 50-100% железного сурика красным шламом успешно опробованы. Величина годового экономического эффекта от внедрения таких красок может составлять около 40 тыс. рублей.

Исследована возможность использования красного шлама при изготовлении красок на основе мездрового клея с глицерином и каолином. Для этого берут от 1 до 40 частей красного шлама, соответственно, количество каолина уменьшают от 40 до 2 частей. Самым экономичным является состав, каолин-6, гипс-4, красный шлам-90 частей. Связующим может служить мездровый клей, клей галерта и др. Интерес представляет замена красным шламом охры, например, в красках для пола. Содержание красного шлама может изменяться от 5 до 25 частей. Количество цинковых белил и сурика остается неизменным. Сиккатив вводится в количестве до 3%. Полученная краска при испытании имеет показатели:

Степень перетира-38 мкм

Укрывистость-69-80 г/м^2

Время высыхания -36 ч

Твердость плёнки -0,11

Краска соответствует эталону коричневого цвета. Применение красного шлама позволяет сэкономить сотни тонн охры в год. Попутные продукты переработки бокситов на глинозем в виде красных шламов успешно могут быть использованы для производства изделий строительной керамики. В керамические массы рекомендуется вводить красные шламы в виде добавок и в виде основного сырья, т. е. до 50-80%.

Использование попутных продуктов производства серы

Продукты, богатые серой, можно использовать для изготовления серного цемента, в качестве пропиточных составов и при изготовлении изделий из резины, эбонита, пластмасс. Сырьевые материалы содержащие небольшие количества серы в массе пустой горной породы, можно применить как наполнитель органических вяжущих в асфальтовых бетонах и композициях. Использование расплавленной серы в качестве пропиточного материала представляет большой интерес. В результате пропитки увеличиваются плотность и механические характеристики бетона – прочность увеличивается от 3 до 5 раз, повышается водо- морозо- и химическая стойкость.

Разработана и исследована технология пропитки расплавом серы мелкоразмерных бетонных изделий. Технология включает операции: приготовление расплава серы и его подогрев до 150^0С, сушка бетонных изделий до постоянной массы, пропитка по заданному режиму, извлечение и охлаждение изделий после пропитки. Ниже приведены основные физико-механические свойства бетона, пропитанного расплавом серы в течение 6 ч при атмосферном давлении. Показатели свидетельствуют о повышении всех качественных характеристик бетона. До черты указаны показатели до пропитки, за чертой после пропитки.

Плотность, кг/м^3 2200- 2400/2400- 2600

Прочность при сжатии, МПа 20-40/60-80

Прочность при изгибе, МПа 4-5/8-10

Модуль упругости, МПа 2- 2,5/3- 4

Водопоглащение, % 6- 8/0,3 - 1

Морозостойкость, циклы 200/более 500

Водонепроницаемость В2, В4/В12

Институт строительной механики и сейсмостойкости АН Грузии провёл исследования коррозионной стойкости пропитанных серой бетонных конструкции (решетчатые полы свиноводческих ферм, стойки виноградных шпалер). Опытная установка включала закрываемую ванну с масляной рубашкой, систему ТЭНов, расположенных на стенках и по днищу, электрическую следящую и регулирующую системы с пультом управления, а также кран-балку с тельфером и контейнеры для упаковки изделий. Длительность пропитки составляла 4-6 ч, расход электроэнергии на 1 цикл пропитки 1 $м^3$ изделий 120-180 кВт.ч, расход серы в среднем составил 85 и 135 кг соответственно для изделий из бетона на пористых и плотных заполнителях. При этом прочность пропитанных изделий возросла в сравнении с прочностью непропитанных более чем в 2 раза, резко увеличилась морозостойкость изделий, на порядок снизилось водопоглощение и возросла водонепроницаемость, изделия выдержали испытания на сульфатостойкость. Срок службы изделий и конструкций, пропитанных серой, увеличивается в 3-5 раз.

Таким образом, пропитка бетона серой характеризуется небольшой энергоемкостью, несложностью технологии и пониженной стоимостью.

В результате термической переработки серного сырья образуется хвосты (шлак) серных плавок. Содержание серы в хвостах, например Яворовского завода -30-50%, остальное карбонатные породы. Используют незначительную долю этого сырья, в основном для повторной выплавки серы. Но эти хвосты могут быть использованы для производства серных цементов, а также в качестве пропиточного материала при изготовлении изделий из тяжелого и легкого бетона. На Роздольском заводе хвосты представлены молотым известняком с размером частиц менее 0,63 мм и содержанием $CaCO_3$ до 78-82%, серы до 2-10%. Влажность отходов достигает-14%, плотность-2,7 г/$см^3$, средняя плотность-1,19 г/$см^3$.

Отходы используются в качестве минерального порошка для мелко и среднезернистых асфальтовых смесей, применяемых в дорожном строительстве. Содержание их в смеси составляет 15-20%. В такой смеси сера способствует структурированию битума, повышению качества его сцепления с заполнителем и сцеплению асфальтовой смеси с каменной подготовкой. Расход битума в смеси снижается на 10%, повышается ее качество, понижается водонасыщение и набухание, выше становятся показатели водостойкости, плотности, смесь лучше укатывается. Экономическая эффективность от замены части минерального порошка в асфальтовых бетонах для дорожного строительства составляет 7 руб. на 1 т асфальтобетона при стоимости 1 т отходов 1,62 руб. При использовании серосодержащих пород отпадает необходимость использовать активированный минеральный порошок.

Применение фосфорсодержащих материалов

Наличие фосфора положительно влияет на строительно-технические свойства клинкера и цемента, интенсифицирует процессы клинкерообразования. Технологически целесообразно и экономически выгодно повышать активность клинкера за счет использования фосфорсодержащего материала. Исследованиями установлено, что такой добавкой могут служить фосфорно-кремнистые сланцы, попутно добываемые при разработке месторождения фосфоритов.

Сланцы содержат до 40-60% SiO_2. Без первичной промышленной обработки имеют максимальный размер кусков 1000 мм. Применение фосфатно-кремнистых сланцев экономически выгодно особенно для производства сульфатостойких цементов.

При использовании фосфорсодержащих материалов установлено значительное повышение активности клинкера при обжиге высокощелочных сырьевых материалов. При этом, в зависимости от минералогического состава и содержания в клинкере и фосфорсодержащем материале, количество может

быть увеличено до 1% в алитовом и до 2% в белитовым клинкере при повышении его активности на 5-12 МПа.

Промышленное опробование фосфатно-кремнистых сланцев на Якутском цементном заводе при минералогическом составе клинкера, соответствующем содержанию C_3S - 60-63, A_3S - 15-18 и A+AF - 20-22%, показало возможность получения цемента высокого качества марок М 550, М 600 из щелочного сырья.

Расход сланцев на 1т клинкера составил 15-60 кг при содержании до 10%. Активность клинкера возросла на 4-8 МПа, что дало возможность перевести свыше 20% цемента в более высокую марку. При этом максимальные затраты на 1 т цемента составили 62 копейки. Прибыль от увеличения доли цемента более высокой марки с учетом затрат на фосфатно-кремнистые сланцы составила около 35-40 копеек на 1т цемента.

Весьма перспективно использование в строительной индустрии электротермофосфорных шлаков. Применение их в цементной промышленности позволяет снизить расход топлива на 6-7%. Намеченная полная утилизация всех вырабатываемых в России фосфорных шлаков обеспечит народному хозяйству не менее 2 млн. руб. ежегодной экономии. Химический состав шлаков достаточно постоянен, %: SiO_2-40-43;Al_2O_3-1-3; CaO- 42-49; Fe_2O_3 -0.4-1; MgO-3-4; SO_3-0.2-1.4; P_2O_5-0.9-3; FeO-2-3.

Химический состав фосфорных шлаков позволяет частично или полностью заменить ими глинистый компонент в производстве портландцементного клинкера. При небольшой добавке шлака 3-5% возможно загустевание сырьевого шлама и снижение его текучести в результате коагуляции. При увеличении дозировки шлака до 8-10% шлам вновь приобретает удовлетворительную растекаемость.

Испытаниями установлено положительное влияние добавки 20-40% фосфорных шлаков на прочность при сжатии керамических изделий. Доказана возможность применения фосфорных шлаков как основного компонента керамических масс, например, при производстве фасадной плитки. Как плавень, шлак способствует образованию требуемого количества жидкой фазы и улучшает спекание керамики. Сравнительно низкое содержание CaO обусловливает меньшую гидравлическую активность фосфорных шлаков по сравнению с доменными. В нормальных температурных условиях шлак электротермофосфорного производства не обладает вяжущих свойствами. Незначительна его прочность также в условиях пропаривания. Вместе с тем фосфорные шлаки хорошо активизируются щелочными возбудителями. Совместный помол шлака с 5-10% извести или клинкера позволяет получить гидравлические вяжущие со сравнительно высокой механической прочностью. Фосфорные шлаки можно активизировать и другими щелочесодержащими продуктами, например, асбестоцементными отходами. При автоклавном твердении фосфорные шлаки, активизированные в щелочной среде, при стандартном испытании соответствуют цементам марок М300 и М400.

Фосфорные шлаки, содержащие до 3% оксида фосфора, 1-2% фтора и 1-1,5% оксидов марганца, служат комплексными минерализаторами и легирующими добавками, ускоряют обжиг и положительно влияют на активность портландцементного клинкера. Активность клинкера повышается при содержании в нем оксида фосфора не более 0,3%, при большом содержании – нормальный процесс клинкерообразования нарушается, а качество цемента снижается. Для получения в клинкере 0,2-0,3% оксида фосфора количество фосфорных шлаков в сырьевой смеси должно составлять 8-10 %. При таком количестве шлака декарбонизация сырьевой смеси начинается при более низкой температуре и идет интенсивнее, а температура спекания уменьшается на 100-150^{0}C.

Это обеспечивает снижение удельного расхода топлива на обжиг и повышение производительности печей на 3-6%.Одновременно существенно увеличивается гидравлическая активность клинкера (на 5-10 МПа в 28 суточном возрасте). Изменение тонкой структуры клинкера приводит к снижению микротвердости минералов фосфорсодержащего клинкера, что, в свою очередь, уменьшает удельный расход электроэнергии на помол цемента. На основе электротермосфосфорных шлаков на Чимкентском, Семипалатинском, Усть – Каменогорском и Безмеинском цементных заводах налажен выпуск шлакопортландцемента согласно нормативным требованиям.

Шлакопортландцемент на основе гранулированных электротермо-фосфорных шлаков обладает высоким качеством. Его прочность возрастает во времени интенсивнее, чем прочность шлакопортландцемента и пуццоланового цемента, приготовленных обычном путем, и уже через полгода превышает их прочность (табл. 18.)

Сравнительные строительно-технический свойства цементов

Таблица-18

Вид цемента	**Предел прочности при сжатии, МПа, через**				**Коэффициент морозостойкости**
	7 сут	**28 сут**	**200 циклов замораживания и оттаивания**		
			С добавкой	**Контрольные образцы**	
ШПЦ с добавкой электротермофосфорного шлака	19,9	39,3	37	34,8	0,94
Пуццолановый портландцемент с добавкой глиежа	19,8	30,2	разрушается	28,2	-
Портландцемент	24,1	43,2	38,9	36,95	0,95

Исследования шлаков показали, что шлакопортландцемент на основе электротермофосфорных шлаков можно с успехом применять в тех же областях строительства, что и такой же цемент на основе доменных шлаков. Наиболее целесообразно его использовать для изготовления массивных бетонных сооружений в районах с жарким климатом, а также сборных железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивной водной среде.

Примерно 10 лет цементы на основе электротермофосфорных шлаков успешно используются для строительства в различных районах Средней Азии.

Фосфорные шлаки можно использовать в качестве маложелезистого глинистого компонента цементной сырьевой шихты при сухом способе производства. При мокром способе использование гранулированного шлака нецелесообразно вследствие загустевания шлама при хранении.

На основе электротермофосфорных шлаков получено шлакощелочное вяжущее. Шлак Чимкентского ПО «Фосфор» при этом измельчали до дисперсности 3900 $см^2/г$ и затворяли раствором соды плотностью 1,1-1,19 $г/см^3$. Оптимальная концентрации соды составляет 8-10% массы шлака. Прочность образцов шлакосодового вяжущего (балочки4х4х16 см из раствора в соотношении: вяжущее-песок 1-2) после тепловлажностной обработки составила 55 МПа. Начало схватывания вяжущего 30 мин, конец 1ч 10 мин, нормальная густота 30%. Вяжущее обладает высокой стойкостью к действию сульфатных растворов, особенно магнезиальных (табл. 19).

Твердение шлакощелочных вяжущих и бетонов на их основе в нормальных условиях происходит медленно, однако к 28 сут водного или влажного твердения предел прочности достигает 30-40 МПа. Материалы на основе этих вяжущих обладают морозостойкостью более 1000 циклов попеременного замораживания и оттаивания и хорошо защищают арматуру от коррозии.

Показатели сульфатостойкости шлакощелочного вяжущего

Таблица- 19

Образцы	Предел прочности при изгибе образцов, МПа, после хранения									
	В воде через				В 3%-ном растворе			В 1%-ном растворе		
	14 сут	1 мес	3 мес	18 мес	1 мес	3 мес	18 мес	1 мес	3 мес	18 мес
На основе шлакосодового вяжущего: после тепловлажностной обработки	-	2,6	2,98	4,41	2,45	2,36	2,06	2,78	3,01	5,82
После нормального твердения	0	1,99	1,83	2,79	1,96	1,83	1,96	5,12	5,77	6,13
На основе портландцемента	4,39	5,82	4,51	4,98	2,92	2,76	Разрушились	-	-	-

Есть опыт использования фосфорных шлаков в производстве стеновой керамики, что позволяет повысить марку кирпича и улучшить качество изделий. Экономический эффект, например, на Тольяттинском заводе строительных материалов при выпуске 32 млн. шт. условного кирпича составляет 230 тыс. руб.

Работами Ташкентского НИИ Стромпроекта показана возможность получения лицевой керамики из сырьевых смесей, содержащих 50-75% фосфорных шлаков и 25-50% глины. Шлак, будучи плавнем, способствует образованию жидкой фазы при обжиге керамики. Одновременно происходит

кристаллизация содержащегося в нем псевдоволластонита. Благодаря этому повышается прочность керамических изделий до марки М 200.

Показано также возможность повышения качества керамических дренажных труб при вводе в сырьевую шихту фосфорных шлаков как отощающей и флюсующей добавки. Внедрение такой технологии на заводе дренажных труб привело к снижению норм расхода электроэнергии, позволило сократить выход брака. Экономический эффект в расчете на годовой выпуск продукции составляет около 500 тыс. руб.

Целесообразно вводить фосфорные шлаки в сырьевые шихты на основе тугоплавких глин для получения облегченных керамических изделий, они снижают температуру плавления, способствуют кристаллизации дополнительных фаз в керамике (анортита, волластонита) и обеспечивают в итоге высокую прочность изделий. Применение комплексной добавки фосфорного шлака и мраморной пыли в количестве 10-20% повышает прочность изделий в 2-3 раза за счет образования при 950-1000^{o}С анортита. Работами различных институтов доказана возможность получения из фосфорных шлаков таких строительных материалов, как литой щебень и пемза. На основе щебня, полученного из огненно-жидких фосфорных шлаков, изготавливают бетоны пределом прочности до 50 МПа без перерасхода цемента. Цех комплексной переработки фосфорных шлаков Джамбульского суперфосфатного завода выпускает ежегодно 1,2 млн. м^3 щебня и 0,8 млн. м^3 пемзы. Бетон на основе щебня из литого электрофосфорного шлака используют на Джамбульском заводе силикатных изделий и железобетонных конструкций.

Шлаковую пемзу можно использовать вместо аглопорита и керамзита. По себестоимости и величине удельных капиталовложений она выгодно отличается от керамзита. Экономия составляет 6-6,5 руб/м^3 заполнителя, а в расчете на 1м^2 панелей наружных стен, с учетом теплотехнических

характеристик бетона, расходов на транспорт и монтаж экономия составляет 4,7 руб.

Рекомендовано также использовать фосфорные шлаки для производства минеральной ваты. Наличие в шлаках CaO обеспечивает низкую температуру плавления (1050-1070^{o}C) и повышенную текучесть расплава. Использование на Павлодарском заводе теплоизоляционных изделий шихты на основе фосфорного шлака и порфирита, взамен известняка и порфирита, для производства минеральной ваты позволило на 50-60% уменьшить затраты на сырье и материалы. Расход топлива – кокса сокращается в 1,4 раза (на получение 1м^3 минеральной ваты по старой технологии расходовалось 42 кг кокса, по новой 30) при снижении температуры переработки сырья и расплава на 100-150^{o}C. Экономический эффект от использования фосфорных шлаков на Павлодарском заводе составляет 150 тыс. руб в год при объеме производства 50 тыс. м^3 минеральной ваты.

Применение попутных продуктов обогащения и переработки борсодержащего сырья

В процессе обогащения и переработке борсодержащего сырья образуются хвосты борсодержащих руд, а также гипсосодержащие продукты и шламы, образующиеся при производстве борной кислоты и бората кальция.

Зерновой состав хвостов довольно постоянный, модуль крупности равен 1-1,2, содержание глинистых примесей составляет 3-5%, насыпная средняя плотность 1740-1790 кг/м^3. Минералогический состав их следующий, %: гранит до 50; датолит и данбурит 20-25; кварц 10-16; пироксены 5-10; кальций 3-7. Содержание активных форм кремнезема и глинозема составляет около 11%. В естественном виде доломитовые хвосты не проявляют вяжущих свойств. Слабые вяжущие свойства появляются при введении гипсового камня, жидкого стекла и других активизаторов твердения; наилучшие активизаторы – известь и

портландцемент. Оптимальный состав доломитового вяжущего, по данным П.П.Ступаченко, соответствует содержанию 85% молотых датолитовых хвостов и 15% извести. Активность вяжущего в тесте соответствует прочности 33,8 МПа, в растворе состава 1:3-20 МПа.

С использованием доломитового вяжущего автоклавного твердения (15-30%) получены следующие материалы, силикатный кирпич и конструктивный мелкозернистый бетон на обычном песке, а также теплоизоляционные бетоны на пористых заполнителях – керамзите и перлите. Силикатный кирпич опытно-промышленной партии соответствовал маркам 100-150 и характеризовался средней плотностью 1900-1950 кг/м^3 и морозостойкостью 25 циклов. Крупноразмерные изделия (балки) были выпущены на основе мелкозернистого бетона на доломитовом вяжущем. Бетон соответствовал маркам 100-200 и обладал средней плотностью 2100-2200 кг/м^3 и морозостойкостью 100 циклов.

Через два года отмечено увеличение прочности кирпича на 10-15%, а мелкозернистого бетона на 15-20%. В условиях повышенной влажности и знакопеременных температур коэффициент размягчения силикатного кирпича и мелкозернистого бетона составил 0,8-0,81. Испытания бетона в условиях попеременного высушивания и увлажнения (120 циклов) показали, что прочность при сжатии и изгибе снижается незначительно. Коэффициент стойкости бетонов, подвергнутых действию агрессивных сред (дистиллированной и морской воды, 3%ных растворов солей натрия и магния) находится в пределах от 1,02 до 1,16 т.е. отвечает требованиям стандартов. Арматура в бетоне обладает такой же стойкостью, как и в обычных бетонах.

На доломитовом вяжущем можно изготавливать керамзитобетон марок 50-75, средней плотностью 1100-1200 кг/м^3 и морозостойкостью 25 циклов, а также перлитобетон марок 25-50 при средней плотности 950-1100 кг/м^3. При химической переработке доломитовой и данбуритовой руд образуются борогипс и шламборат кальция.

Борогипс имеет влажность 37-45%, содержит кремнекислоту, половина которой-активная со структурой, близкой аморфной. Гранулированный борогипс применяется в качестве гипсосодержащей добавки в цемент. Шламборат кальция представляет собой порошок светло-серого цвета влажностью 20-28%, плотностью 2,7-2,8 г/см^3, насыпной средней плотностью 800 кг/м^3 и удельной поверхностью до 500 см^2/г. Химический состав его представлен, в основном, SiO_2 до 44 и CaO до 36%, а также оксидами алюминия, железа и бора. Значительное содержание CaO и большая удельная поверхность продукта позволяет применять шламборат кальция для получения различных строительных материалов. Введение 3% шламбората взамен цемента при укреплении суглинистого грунта позволяет увеличить прочность последнего в 1,65 раза и вдвое повысить морозостойкость. Дифференцированный подбор оптимальных составов смесей на местных грунтах позволяет снизить расход цемента на 2-3% от массы смеси и уменьшить стоимость строительства 1 км дороги на 1,1-1,7 тыс.руб. Шламборат кальция успешно можно использовать также в цементных и цементно-известковых строительных растворах.

5.3. Применение гипсовых и железосодержащих попутных продуктов

Применение гипсосодержащих попутных продуктов в производстве цемента

Попутные продукты производства минеральных удобрений (борогипс и фосфогипс), содержащие сульфаты кальция, пригодны для использования в качестве добавки, регулирующей сроки схватывания портландцемента. В соответствии с требованиями цементной промышленности добавка должна поставляться в виде гранулята. Инструкция допускает их применение вместо природного гипсового камня при производстве портландцемента. Разработаны ТУ на фосфогипс и на борогипс гранулированный для цементной промышленности. В ТУ регламентирован их состав, CaS+ $2H_2O$ не менее 80%,

примесей, не более 1,2% (фосфогипс), не более 1 (борогипс), влаги гигроскопической не менее 12 и не более 20%, частиц от 3 до 50 мм не менее 50 (фосфогипс), фракции менее 1,25 мм не более 10% (борогипс).

Гранулированный фосфогипс для цементной промышленности выпускают на различных заводах. Технологическая линия может состоять из таких узлов: промывки фосфогипса, прокаливания, смешения и грануляции.

После промывки фосфогипса материал фильтруют через барабанные вакуум-фильтры. В процессе термообработки фосфогипса выделяется фтор. Чтобы связать его в нелетучие соединения, в фосфогипс вводят метасиликат натрия. Метасиликат натрия смешивают с частью фосфогипса в лопастных смесителях после обезвоживания пульпы фосфогипса до остаточной влажности 26%. Из смесителя материал поступает в печь прокаливания, работающую по схеме прямотока газов и материала. Материал прокаливают при 150-200^{o}С до образования растворимого ангидрита.

Другая часть фосфогипса после вакуумирования смешивается в лопастных мешалках с прокаленным ангидритом, который обводняется до дигидрата за счет влажного фосфогипса. Перемешанный материал поступает в барабанные грануляторы, где происходит окатывание гранул и скрепление их гидратирующимся ангидритом.

Технология гранулирования фосфополугидрата несколько проще и включает, ввод при гранулировании исходного продукта ускорителей схватывания (аммонийные и др. соли), выдержку гранул на воздухе с целью их упрочнения при гидратации.

Разработанные способы производства гранулята для цементной промышленности предусматривают сушку влажного отхода, но это увеличивает его стоимость. Уменьшить стоимость гранул можно сокращением транспортных расходов, снижением влажности исходного фосфогипса,

внедрением эффективных способов грануляции. Исследования, проведенные лабораторией строительных материалов Украинского института инженеров водного хозяйства, показали, что гранулят на основе фосфогипса Ровенского ПО «Азот» может быть получен в грануляторах тарельчатого типа с последующей сушкой гранул в коротких сушильных барабанах. Экономический эффект от использования гранулята для цементного завода мощностью 2,5млн.т. цемента в год составляет около 100 тыс.руб.

В цементной промышленности фосфогипс может быть использован не только как заменитель гипсового камня, но и как минерализатор обжига цементного клинкера (опыт Воскресенского, Красноярского и др. цементных заводов). В последнее время фосфогипс находит применение также в качестве сырьевого компонента для получения сульфоалюминатного и кальциево-сульфатных спеков, используемых в производстве расширяющихся и напрягающих цементов. Возможно также получение белито-сульфатных клинкеров для тампонажного цемента.

В Киевском политехническом институте разработан напрягающий цемент на основе портландцемента и фосфогипсокарбонатного спека, получаемого обжигом при температуре 1000-1200^{0}С с сырьевой смесью, состоящей из 50-60% фосфогипса и 40-50% мела. Измельченный до удельной поверхности 2500-3000 см^2/г спек вводят в портландцемент в количествedo 15%. Содержание свободной извести в спеке составляет 12-25%. Спекание мела с фосфогипсом позволяет получить оксид кальция. Его гашение происходит в течение 3-10 сут,обеспечивая при этом самонапряжение твердеющей системы. В присутствии спека возрастает степень гидратации цемента в ранние сроки твердения.

Свойства цемента на основе названных компонентов соответствуют нормативам на напрягающий цемент. В ранние сроки твердения возможно отставание набора прочности из-за ослабления структуры при расширении

образцов. Однако после 28суток расширение стабилизируется и прочность достигает уровня прочности стандартного портландцемента. Максимальной прочностью в возрасте 90 и 180 суток обладает цемент из алитового портландцемента при вводе спека около 7,5%. Наибольшим свободным расширением, без существенного снижения прочности, в сравнении с бездобавочным цементом обладает вяжущее с 10-12,5% добавки спека.

Самонапряжение образцов (раствор с соотношением цемент, песок 1-1 с 5-15% спека) составляет 1,0-5,8 МПа для алитового цемента и 1,8-3,2 МПа для высокоалюминатного белого цемента. Варьируя ввод добавки, можно получать напрягающие цементы с малой (НЦ-20) и средней (НЦ-40) энергией самонапряжения.

Предлагаемый способ производства напрягающего цемента включает следующие стадии: сушка сырья (фосфогипс и мел или известняк, известь содержащие отходы), дозировка, совместный помол, гранулирование, обжиг, охлаждение спека. При мокром способе процесс упрощается. Напрягающая добавка может быть измельчена совместно с портландцементным клинкером либо в измельченном состоянии отправлена потребителю для введения в бетон непосредственно на строительной площадке или на заводе сборного железобетона.

Из фосфогипса, каолиновой глины и известняка получен сульфоалюминатно-сульфосиликатный цемент (ССЦ). Такой цемент имеет марку М400 и отличается интенсивным ростом прочности. Основное преимущество ССЦ – низкая температура клинкерообразования 1250-1300^{0}С, что на 150-200^{0}С ниже, чем для обычного портландцемента. В отличие от обычного ССЦ не содержит трехкальциевого силиката и при твердении не выделяет свободной извести. Этот вид цементов характеризуется высокой стойкостью к коррозии выщелачивания и сульфатной коррозии, в 3-5%ных растворах сульфатов натрия и магния, коэффициент стойкости ССЦ составляет

0,92 - 0,75, по сульфатостойкости он превосходит даже глиноземистый цемент. Благодаря высокому содержанию гидросульфоалюминатов кальция ССЦ обладает незначительной усадкой или бывает совсем безусадочным, что дает возможность использовать его в ряде специальных конструкций. Как показал производственный опыт, шихты для ССЦ хорошо спекаются, дают стойкую обмазку на футеровке, не образует сваров и колец. Производительность печей при выпуске ССЦ увеличивается на 20-30%, примерно на такую же величину сокращается расход топлива.

Фосфогипс может служить также основным сырьевым компонентом в комбинированном производстве цемента и серной кислоты. Сущность этого способа комбинирования заключается в термохимическом разложении сульфата кальция в восстановительной среде. При этом образуется сернистый газ и оксид кальция. Сернистый газ улавливают и переводят в серную кислоту. Оксид кальция вступает во взаимодействие с оксидами алюминия, кремния и железа, образуя клинкерный минералы. Минералообразование клинкера в результате каталитического влияния сульфата кальция и восстановительной среды идет при температуре на 50-70^{0}С ниже, чем обычно. Структура получаемого клинкера отличается большей пористостью, благодаря чему он размалывается легче, чем обычный.

Установлена возможность комбинированного производства белого цемента и сернистого газа при неполной диссоциации фосфогипса в слабовосстановительной среде при 1200-1250^{0}С. При отсутствии месторождений природного карбонатного сырья эффективна переработка фосфогипса в серную кислоту и известь.

Применение гипсосодержащего вторичного сырья для получения гипсовых вяжущих и легких бетонов

Гипсовые изделия по сравнению со многими другими материалами отличаются более низкой трудоемкостью и энергоемкостью, высокой заводской

готовностью, пониженной объемной массой, простотой производства, пожаростойкостью.

Но фосфогипс и некоторые другие гипсовые попутные продукты содержат примеси, отрицательно влияющие на технические свойства вяжущих веществ, примеси фосфатов $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$, $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$ и$Ca_3(PO_4)_2$, серной кислоты, фосфата железа, алюминия, соли фтора, церия и др. Большинство из них, особенно водорастворимые фосфаты, содержание которых в пересчете на фосфорный ангидрид достигает 2,5% и более, сильно замедляют сроки схватывания и твердения гипса, снижает его конечную прочность. Фазовый состав попутных продуктов и содержание в них примесей могут изменяться в широких пределах. Результаты исследований свидетельствуют о том, что на заводах, рассчитанных на переработку природного сырья, производство стандартного вяжущего из вторичного сырья невозможно без введения дополнительных технологических операций. Поэтому фосфогипс следует подготовить к использованию. За исключением заводов, использующих сравнительно чистый фосфогипс все технологические процессы включают два основных этапа: подготовку попутного продукта к обжигу и обжиг. Давно известна технология получения гипсовых вяжущих из фосфогипса и других отходов химической промышленности. Разработанные технологические процессы включает удаление примесей, нейтрализацию кислот в жидкой фазе, помол вяжущего. Для продуктов, содержащих обезвоженный сульфат кальция, в шламонакопителях созданы условия для протекания процесса гидратации.

Известен также способ удаления примесей отмывкой из фосфогипса и флотацией материала. Для этого расходуется 5-9 $м^3$ воды на 1т фосфогипса. Но наряду с удорожанием технологии здесь возникает проблема очистки большого количества загрязненных сточных вод.

На Уваровском химическом заводе (Тамбовская обл.) построен цех, в котором по технологии ВНИИСтрома предусмотрен выпуск высокопрочного α-гипса и водостойкого вяжущего на его основе.

Литовский НИИ строительства и архитектуры разработал и испытал в опытно-промышленных условиях первую в стране безотходную технологию переработки фосфогипса в строительный гипс(β-полугидрат). Принцип предложенного способа базируется на создании условий для прохождения процесса превращения активных форм фосфатов в труднорастворимые соединения группы гидроксилапатита. Для этого использован принцип нейтрализации непромытого фосфогипса известью в жидкой пульпе.

Основные преимущества этой технологии: отсутствие стадии промывки фосфогипса, загрязненных технологических стоков, возможность переработки фосфогипса, содержащего до 2,8% водорастворимого R_2O_5, отсутствие выделения вредных соединений, высокое качество получаемого вяжущего, использование стандартного оборудования химической и гипсовой промышленности.

При испытаниях на опытно-промышленной установке использован фосфогипс Кедайняйского химического завода с влажностью 20-30%, содержанием R_2O_5 (водорастворимого) до 2,8, до 0,4, (водорастворимого) до 0,15%. Для нейтрализации использована известь строительная негашеная, содержание активных CaO+MgO - 70%. Добавка извести к фосфогипсу составляла 0,4% (в пересчете на содержание CaO+MgO). Длительность гидратации извести в реакторе в процессе нейтрализации фосфогипса колеблется 15-30 мин. Скорость снижения величины pH в реакторе в интервале от pH-12 до pH-4,5 составляет около 0,58 pH за 1 мин при соотношении жидкой и твердой фаз 3:2. После полной нейтрализации пульпы pH равен 7-9, объемная масса 1130-1400 кг/м^3 влажность нейтрализованного фосфогипса после фильтра 20-30%. Сушка материала производится в сушильном барабане при

температуре газов на входе 500-790 ^{0}C, на выходе 130-200 ^{0}C. Материал на выходе из сушильного барабана имеет влажность от 1 до 7% и температуру 70-100 ^{0}C.

Процесс дегидратации фосфогипса в варочном котле характеризуется следующими режимными параметрами:

Температура в котле при загрузке,^{o}C	200-300
Длительность загрузке, мин	30-60
Длительность варки, мин	55-100
Температура материала при, ^{o}C	
Загрузке	50-80
Выгрузке	130-165
Температура газов, ^{o}C	
В топке	900-1100
На выходе	500-600

Содержание связанной воды после варки 5-6%.

Продолжительность томления материала аэрацией влажным воздухом составляет 20-30мин.

Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, изготовленные на базе фосфогипсового β-полугидрата и содержащие 17-34% портландцемента, характеризуются следующими показателями: начало схватывания 6-7 мин; конец 11-12 мин; предел прочности при сжатии 15-19 МПа; прочность при сжатии через 30 мин 2,2-3,2 МПа, коэффициент размягчения 0,62-0,76 (норма по СНиП 0,6 и выше).

Замена бетонных, железобетонных и керамических материалов в строительстве изделиями и материалами на основе попутных гипсосодержащих продуктов позволяет существенно экономить топливно-энергетические ресурсы и трудозатраты. Суммарные трудозатраты при применении гипсовых и гипсобетонных перегородок, по сравнению с перегородками из модульного глиняного кирпича, снижается более чем в 2 раза, энергоемкость на 20%. Дополнительная экономия приведенных затрат на устройство сборных перегородок из гипсокартонных или гипсоволокнистых листов на металлическом или асбестоцементном каркасе, по сравнению с гипсобетонными перегородками, составляет 0,25-0,58 руб/м^2 вследствие снижения материало-и энергоемкости.

Использование гипсосодержащих попутных продуктов позволяет сократить капитальные затраты на устройство и оборудование площадок для удаления отходов, эксплуатационные расходы по содержанию отвального хозяйства на химических заводах, средства для устройства, эксплуатации и рекультивации карьеров гипсового камня. Согласно данным Гипрохима, народнохозяйственный эффект от замены природного гипса фосфогипсом в производстве вяжущего составляет от 3 до 5 руб. на 1 т гипса при расчетной стоимости строительного гипса 9,62 руб/т. Кроме этого, сохраняются значительные земельные площади, снижается ущерб, наносимый окружающей среде.

Железосодержащие отходы как компоненты сырьевых масс

Из продуктов этой группы наиболее широко применяются пиритные огарки , получаемые при производстве серной кислоты. В табл.20 приведен химический состав пиритных огарков, взятых на различных стадиях обжиговых цехов сернокислотного производства.

Химический состав пиритных огарков

Таблица-20

Место отбора огарков	Содержание химических элементов, %					
	Fe	**Zn**	**Cu**	**Pb**	**As**	**S**
Котлы-утилизаторы	54,5	0,87	0,34	0,06	0,06	2,83
Циклоны очистки обжиговых газов	55,2	0,88	0,37	0,09	0,07	1,89
Электрофильтры	41,8	0,79	0,37	0,55	0,37	0,62

Содержание в огарках некоторого количества мышьяка, выщелачиваемого под действием атмосферных осадков, обусловливает особенно вредное их воздействие на окружающую среду при хранении в отвалах. Из огарков можно извлекать некоторые металлы, однако, это не решает проблемы утилизации огарков. В настоящее время наиболее реальная область утилизации пиритных огарков –производство строительных материалов, и главным образом, цемента. Для получения клинкера в сырьевую смесь вводят пиритные огарки в количестве 3…7%. При этом достигается увеличение службы футеровки цементных печей и повышение активности клинкера на 10-15% .

На основе пиритных огарков можно изготовить высокожелезистые цементы. Исходными компонентами для их получения служат мел (около 60%) и пиритные огарки (до 40%). Сырьевую смесь обжигают при температуре 1220…1250^{0}С. В полученном клинкере преобладают ферриты и алюмоферриты кальция. Высокожелезистые цементы характеризуются нормальными сроками схватывания при введении в сырьевую смесь до 3% гипса. Прочность их в условиях водного и воздушно-влажного твердения через 28 сут соответствует маркам М150…М200, а при пропарке и автоклавной обработке увеличивается в 2-2,5 раза. Высокожелезистые цементы при содержании в них двухкальциевого

феррита до 40% являются безусадочными. По мере увеличения в цементах этого минерала они приобретают способность к расширению при твердении.

Пиритные огарки применяются также в производстве искусственных заполнителей бетона. Добавку можно вводить в количестве до 5% от массы сырья для увеличения газотворной способности глин при получении керамзита. Этому способствует распад остатков пирита при 700…800 ^{0}C с образованием сернистого газа и восстановление оксидов железа газами CO+CO_2, образующимися при окислении органических примесей. Железистые соединения действует как плавни, вызывая разжижение расплава. Разработана технология получения тяжелых заполнителей на основе пиритных огарков. Для этого смешивают 95…97% огарков и 3…5% пластичной глины, шихту гранулирует и обжигают при 1150…1200^{0}C. Спекшаяся масса имеет плотность 3500…3600 кг/м^3, водопоглощение 0,5…0,6%, прочность гранул 15…17 МПа, средняя плотность 1500…1700 кг/м^3. Такой заполнитель можно использовать для получения обычных тяжелых, а также специальных - особо тяжелых и кислотостойких бетонов.

Железосодержащие добавки применяют при производстве заполнителей стеновых керамических материалов, для снижения температуры обжига, повышения качества и улучшения цветовых характеристик.

Положительные результаты дает предварительное прокаливание огарков для разложения сульфидов и сульфатов, образующих при обжиге газообразные продукты, присутствие которых снижает механическую прочность изделий.

В производстве фасадных плиток полусухим и шликерным способами прокаленные огарки могут добавляться в шихту в количестве от 5 до 50% по массе. Использование огарков позволяет выпускать цветные керамические фасадные плитки без дополнительного введения в глину шамота. При этом температура обжига плиток из тугоплавких и огнеупорных глин снижается на 50…100^{0}C.

Предварительное измельчение огарков до практически полного прохода через сито №06 и последующее их прокаливание при температуре 700…800^{0}С позволяет получить красный железоокисный пигмент, близкий по свойствам к железному сурику . Пигмент устойчив к действию щелочей и извести, кислото - и светостоек, может применятся как в водных, так и не водных красочных составах.

Пиритными огарками можно заменять сурики, частично мел в шпаклевочных составах для выравнивания деревянных или оштукатуренных поверхностей под масляную окраску. Огарки в шпаклевках могут составлять до 25% массы без ухудшения основных свойств. Огарки применяют также для окрашивания силикатного кирпича, получения хлорного железа-добавки к водонепроницаемым растворам и бетонам.

Уфимским институтом разработана технология производства пиритофосфорных плиток. Сырые (не прокаленные) пиритные огарки прессуют на фосфатной связке, формуют плитки и обжигают. Ввод в формируемую смесь ортофосфорной кислоты (84% ной) составляет до 25%. Оптимальное давление прессования достигает 35…40 МПа. Максимальная прочность плиток достигается при температуре обжига около 700^{0}С. Плитки соответствует требованием ГОСТ на “Плитки керамические фасадные и ковры из них”. Экономический эффект от внедрения огарков для технологической линии 100 тыс. м^2 плиток составляет 93 тыс . руб/год.

5.4.Применение попутных продуктов гидролизного производства

Лигнин в производстве органических вяжущих

При возрастающих объемах дорожного строительства необходимо расширение номенклатуры органических вяжущих. Применение лигниновых вяжущих обеспечивает значительный экономический эффект за счет использования дешевого сырья, увеличения службы покрытий, улучшения

условий труда, а в отдельных случаях ещё для применения местных каменных материалов взамен дробленых.

Для производства лигниновых вяжущих используются гидролизный лигнин, а также каменноугольные или сланцевые смолы, жидкие каменноугольные дегти и другие продукты термической переработки горючих сланцев, нефти и гудрона. Гидролизный лигнин –это природный полимер; он не растворим в воде и органических растворителях; представляет собой аморфное вещество коричневого цвета. При температурах 400…600^{0}С распадается с образованием смолы, лигнинового угля, жидких и газообразных продуктов. Лигнин представляет собой сыпучую массу с размером зерен до 40 мм и влажностью до 6%. Плотность лигнина 1200…1300 кг/м^3 насыпная средняя плотность 300…350кг/м^3.

Лигниновое вяжущее состоит из двух компонентов: жидкой углеводородной фракции и продукта крекинга гидролизного лигнина в жидкой углеводородной фракции. Термический распад лигнина производят при определенном соотношении между компонентами при температуре до 305-320^{0}С. В основе технологии лигниновых вяжущих лежит способ модификации жидкой углеводородной фракции продуктами термического распада лигнина. В зависимости от вида жидкого компонента и его вязкости соотношение между лигнином и углеводородом находится в пределах от 1:2 до 1:7,5.

Технология лигнинового вяжущего включает следующие операции: обезвоживание части каменноугольной смолы (25-35%) в специальном котле при нагреве до 240^{0}С; подачу смолы в реактор, разогрев ее до 300-310^{0}С; загрузку лигнина в реактор и нагрев смеси до 310^{0}С при перемешивании; крекирование лигнина при 310-320^{0}С в течение 1 ч; диспергирование продукта крекинга путем перекачки насосом в течение 15-20 мин; подачу в реактор остальной части каменноугольной смолы разогретой до 90-110 ^{0}С и смешивание ее с продуктом крекинга; перекачку вяжущего в котел и

перемешивание его с конденсатом, собранным при разогреве смолы и крекинге лигнина.

В зависимости от углеводородного сырья лигниновые вяжущие подразделяются на пять видов: смоляное, лавсановое, сланцевое, гудроновое и комплексное. Исходное сырье в значительной мере определяет основные свойства, а соответственно и область применения вяжущих (табл.21.)

Лигнино-гудроновое вяжущее может быть использовано в верхнем слое покрытия на дороге любой технической категории. На этом вяжущем можно готовить как укатываемые, так и литые асфальтобетоны. Бетоны на основе лигнино-гудронового и лигнино-смоляного вяжущего превосходят по свойствам аналогичные асфальтобетоны. Так, при использовании одинаковых каменных материалов бетон с лигнино-гудроновым вяжущим обладает повышенной водоустойчивостью и меньшим значением показателя прочности при 0^0С.

Лигнино-смоляные вяжущие обладают высокими адгезионными свойствами, что обеспечивает бетонам на их основе высокую водоустойчивость и достаточную прочность.

Область применения лигниновых дорожных вяжущих

Таблица-21

Вяжущее	**Покрытие**		**Основание**
	Верхний слой	**Нижний слой**	
Смоляное	+	+	+
Лавсановое	-	-	+
Комплексное(с каменноугольной смолой)	-	+	+
Сланцевое	+	+	+
Гудроновое	+	+	+

По результатам исследований и опытно-производственных работ разработаны требования к дорожным бетонам с лигнино-смоляным вяжущим более жестким и по показателям водостойкости, чем для дегтебетонов.

Бетон с лигнино-лавсановым вяжущим, как материал для основания, уступает асфальтобетону по водоустойчивости. Механическая прочность бетона при прочих равных условиях возрастает с повышением вязкости лигнино-лавсанового вяжущего.

Доступность и низкая стоимость сырья для приготовления высоковязких лигниновых вяжущих обусловливает целесообразность их применения для изготовления различных штучных изделий. Вследствие высокой адгезионной способности долговечность покрытий с лигниновыми вяжущими повышается на 20-25% по сравнению с дегтебетонными.

Институтом БелдорНИИ (г.Минск) выпушена опытная партия лигнино-смоляного вяжущего объемом до 25 тыс.т. с использованием которого построены опытные участки нижнего и верхнего слоя дорожных покрытий. Нижний слой покрытия построен на одной из дорог Белоруссии с шириной проезжей части 6 м. Смесь транспортировали автосамосвалами и при 100-110 ^{0}С укладывали в покрытие толщиной около 6 см (в плотном теле) с применением автогрейдера. Укатывали покрытие катком на участке длиной 50 м. Смесь обладала высокой подвижностью, легко поддавалась укладке и уплотнению.

Верхний слой покрытия построен на автомобильной дороге с шириной проезжей части 9 м. Смесь с температурой 110-120 ^{0}С перевозили самосвалами и укладывали в покрытие толщиной 3,5 см асфальтоукладчиком сразу на всю ширину проезжей части. Уплотнение производили катком Д-400А при температуре смеси 70-90 ^{0}С.

В сравнении с асфальтобетонной смесь с лигнино-смоляным вяжущим лучше уплотняется вибробрусом укладчика, поэтому еще до начала уплотнения катками смесь приобретает высокую начальную прочность. В сравнении с дегтебетонной смесь с лигнино-смоляным вяжущим имеет ослабленный фенольный запах. Это облегчает условия труда рабочих.

Экономическая эффективность применения лигниновых вяжущих обусловлена не только более низкой стоимостью исходных компонентов, но и повышенной долговечностью дорожных покрытий. Применительно к условиям, например Минской обл., экономический эффект от применения 1 т лигнино-смоляного вяжущего при сопоставлении с дегтем составляет 6-9 руб., а при сравнении с каменноугольной смолой, модифицированной отходом поливинилхлорида около 35 руб. Экономическая эффективность применения лигнино-лавсанового и комплексных вяжущих при сопоставлении с битумами достигает 9,2-13,8 руб., а лигнино-гудронового и лигнино-сланцевого 2-4 руб. на тонну.

Значительный интерес представляет опыт получения связующих на основе СДБ и лигниновых отходов для производства теплоизоляционных материалов. Для изготовления теплоизоляционных материалов из вспученного перлита и других заполнителей требуется большое количество дефицитных связующих. В МИСИ было предложено использовать лигнин, переведенный в водорастворимое состояние в процессе сульфитной варки целлюлозы, в виде водного раствора лигносульфоновых кислот и их солей с примесью золы и редуцирующих веществ. Процесс конденсации лигнина ускоряется в кислой среде и при повышенных температурах. Для создания вяжущего использованы многоосновные кислоты, в частности, серная и ортофосфорная в количестве 5-20%, образующие ковалентные связи между различными частями макромолекул лигносульфонатов в процессе этерификации гидроксильных групп. Оптимальная температура отверждения составляет 22^0С. Для улучшения адгезии к наполнителю в состав связующего целесообразно вводить

поверхностно-активные вещества. Полученный полимер обладает хорошей водостойкостью. Было установлено также, что для повышения когезионной прочности полимера целесообразно в состав вяжущего вводить олигомеры синтетических смол.

По физико-механическим и техническим свойствам лигноперлит не уступает эффективным теплоизоляционным материалам этого класса. Средняя плотность лигноперлитовых плит и скорлуп 130-250 кг/м^3, предел прочности при сжатии 0,2-1 МПа, при изгибе 0,1-0,8, водопоглощение 4-10% по объему, коэффициент размягчения 0,8-0,85, морозостойкость не менее 25 циклов, теплопроводность 0,04-0,08 Вт/(м·К). В зависимости от содержания связующего лигноперлит относится к группам несгораемых и трудносгораемых материалов.

Связующее для лигноперлита состоит на 65-75% из лигносульфонатов содержание связующего в формовочной массе 5-20%. На 1м^3 теплоизоляционного материала расходуется в среднем (сухих веществ), кг, лигносульфонатов 14, фенолоспиртов 2, ГКЖ 1,0-0,8 и ортофосфорной кислоты 3,2. Стоимость 1 т водного раствора связующего 50%ной концентрации 85-127 руб. Это в 2-3 раза меньше, чем стоимость фенолоспиртов. Стоимость сырьевых материалов и топлива для получения лигноперлитовых теплоизоляционных изделий 11-17 руб.,что на 6-12 руб., ниже, чем для минераловатных плит повышенной жесткости.

Лигнин как наполнитель и выгорающая добавка

Установлена возможность применения лигнина в качестве наполнителя асфальтового бетона. Исследован мелкозернистый лигнино-асфальтовый бетон, содержащий 8-9% лигнина и 8-9 битума БНД 90/130. Бетон имел следующие показатели: средняя плотность 2,25-2,35 г/см^3, водонасыщение по объему 2,45-3,1%, набухание 0,45-0,5%, прочность при сжатии при температуре 20 ^{0}С, в сухом состоянии 2,8-3 МПа, в водонасыщенном 2,7-2,9, при температуре 50 ^{0}С

1-1,1; 0 ^{0}С -10,5-11 МПа. Мелкозернистый бетон был уложен на опытном участке автомобильной дороги 3-й категории. Состав смеси, уложенной в верхний слой покрытия, %

Гранитный щебень фракции 20-10 мм	45
Гранитные высевки фракции 5-0 мм	48
Гидролизный лигнин	7
Нефтяной битум БНД 90/130	7

Результаты трехлетних наблюдений за службой покрытия в натурных условиях показали, что асфальтобетон, наполненный лигнином, долговечный материал и не уступает по всем показателям бетону, наполненному эталонным известняковым порошком.

Исследованиями ВНИИСтрома им. П.А. Будникова установлено, что отходы гидролизного и целлюлозно-бумажного производства – лигнин, шламлигнин и скоп пригодны в качестве малокалорийных выгорающих добавок в зольную шихту при производстве аглопоритового гравия. Эти добавки способствуют снижению насыпной средней плотности аглопорита вследствие повышения пористости заполнителя. Кроме того, добавки интенсифицируют обжиг материала на решетках агломерационных машин. Введение в зольную шихту этих отходов в количестве 3-20% массы сухого вещества обеспечивает повышение производительности агломерационных машин. Наиболее эффективна добавка скопа-осадка механической очистки сточных вод целлюлозно-бумажного производства с относительной влажностью 80%, состоящего в основном из волокон растительного происхождения и каолина. В связи с тем, что скоп не транспортабелен, производство аглопорита целесообразно организовать в районах, где имеются целлюлозно- бумажные предприятия и ТЭЦ. Использование скопа в качестве добавки при производстве аглопоритового гравия расширяет диапазон

применения пригодных для такого производства зол ТЭЦ. Это объясняется тем, что введение в шихту скопа приводит к повышению температуры плавления сырьевой смеси. В результате становится возможным использование легкоплавких зол и зол с повышенным содержанием углерода.

Химический состав золы и скопы

Таблица-22

Сырье	Содержание оксидов, %									П.п.п	Удельная поверхность, $см^2/г$	Теплотворная способность, кДж/кг
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	CaO	MgO	SO_3	R_2O			
Зола	50,6	35,09	6,17	1,93	1,12	3,05	0,31	0,58	1,40	1,34	4900	-
Скоп	27,1	20,55	0,51	следы	0,24	0,48	0,51	0,6	0,63	49	-	4187

На опытно-промышленной установке были проведены испытания технологии производства аглопоритового гравия с добавкой скопа. Химический состав приведен в табл.22.

Минеральная часть скопа составляет 51% и содержит до 90% каолина. Содержание золы в шихте изменяли от 70 до 90%, а скопа- от 10 до 30%. Первичное смешивание отдозированных компонентов производилось шнековым конвейером, после чего шихта поступала в двухвальный лопастный смеситель. При перемешивании шихту доувлажняли с помощью распылительных форсунок. Перемешанная и увлажненная шихта поступала на тарельчатый гранулятор (диаметр 3 м, высота борта 0,45 м, скорость вращения 0,2, угол наклона 45 ^{0}). Ввод в зольную шихту скопа до 10-20% массы сухого вещества обеспечивал получение сырьевых гранул заданного зернового состава, которые отвечали необходимым требованиям прочности и температуростойкости. Скоп, обладая низкой кажущейся плотностью,

высокими сорбционными свойствами и пластичностью, улучшает условия комкования зольной шихты и способствует увеличению прочности как влажных, так и сухих сырцовых гранул. При увеличении количества скопа свыше 20% процесс грануляции шихты затрудняется из-за повышения ее пластичности.Полученные гранулы влажностью 30-35% подавали на агломерационную машину с площадью решетки 24 . Высота слоя гранул составила 300 мм, скорость движения ленты 0,5 м/мин. Тепло и газодинамический режим работы машины имел такие параметры: температура сушки 250-300^{0}С, подогрева 650-700^{0}С, зажигания 1000-1050^{0}С, разрежение под решеткой в период обжига 1,5-2 КПа. В зонах сушки и подогрева обеспечивалась полная сохранность гранул. Обжиг был равномерным и способствовал получению качественных аглопоритовых гранул, полностью удовлетворяющих требованиям (табл.23). Удельная производительность машины составляла 0,3-0,5м^3 за 1час с 1 площади решетки.

Физико-механические свойства аглопорита

Таблица-23

Свойства аглопоритового гравия	**Показатели свойств (фракция 10-20мм)**	
	Без добавки скопа	**С добавкой скопа**
Плотность, г/см^3	2,62	2,4
Средняя плотность, г/см^3	1,62	1,16
Насыпная плотность, кг/м^3	750-800	485-550
Пористость зерен, %	38,2	56
Прочность при сдавливания в цилиндре, МПа	2,72	1,7
Межзерновая пустотность, %	55	48,7
Водопоглощение, %:		
За 1 час	24,6	24,1
За 48 час	28,2	28,2
Потери массы, %, при прокаливании	0,18	0,17
При силикатом распаде	0,27	0
Железистом	0,25	0

Испытания этого заполнителя в бетоне показали, что на его основе могут быть получены легкие бетоны марок от 150 до 250 со средней плотностью от 1350 до 1800 кг/м^3, при расходе цемента соответственно от 215 до 435 кг на 1м^3 бетона.

В НИИЖБ Госстроя (г.Москва) проведены исследования огнеупорности аглопоритового гравия из золы ТЭЦ с добавкой скопа. Результаты показали, что огнеупорность заполнителя составляет 1440 ^{0}С и он по своим свойствам соответствует требованиям ГОСТ на заполнители для жаростойких бетона.

Модифицированные технические лигносульфонаты

Бардяные концентраты на протяжении многих лет широко применяются как пластифицирующие добавки в цементы и бетоны. Наиболее широко применяемым пластификатором служит сульфитно-дрожжевая бражка (СДБ). СДБ и близкие к ней химические продукты, содержащие соли лигносульфоновых кислот и молекулярно-адсорбирующиеся сахара, образуют на поверхности зерен цемента и других дисперсных материалов гидрофильные адсорбционные пленки. Такие пленки способствуют образованию вокруг частиц материала водных оболочек, препятствующих слипанию и выполняющих роль гидродинамической смазки.

Эффективность добавок СДБ проявляется на всех основных этапах технологии цемента и бетона. В течение многих лет СДБ используют для снижения влажности сырьевого цементного шлама. При этом достигается более высокая степень насыщения шлама твердым веществом без ухудшения его подвижности. Добавка СДБ в количестве 0,2-0,3% массы сухого сырья снижает влажность шлама на 2,5-3,5% и повышает производительность печей на 3-4%. При гидротранспорте шлама с добавкой СДБ почти в два раза снижается потери напора.При измельчении клинкера совместно с минеральными добавками введение 0,1-0,25% СДБ позволяет получить пластифицированный портландцемент, преимуществами которого является снижение на 5-10%

расхода цемента при неизменной удобоукладываемости и в/ц бетонной смеси, повышение прочности, морозо и коррозионной стойкости бетонов и растворов за счет снижения водоцементного отношения смесей, повышение подвижности, снижение трудоемкости и повышение качества укладки бетонных смесей.

Добавка СДБ улучшает формовочные свойства керамических масс, снижает их пластическую прочность и напряжение сдвига, интенсифицирует сушку изделий, устраняет деформационный брак формуемого сырца.

Благодаря тому, что в последние годы применяются некальциевые основания при переработке древесины, главным образом растворимые натриевые и аммонийные и полурастворимые магниевые, в волокне сохраняется значительная часть гемицеллюлозы. В результате этого выход целлюлозы увеличился с 45-50 до 65-75% от массы древесины. При этом изменился и вещественный состав сульфитных щелоков и структура лигносульфонового комплекса – основного пластифицирующего компонента технических концентратов. Большое значение имеет вид катиона лигносульфонатов, который зависит от применяемого основания при варке древесины. Если ранее для пластификации применялись, в основном, кальциевые лигносульфонаты, то в последнее время появилась натриевые, аммонийные, магниевые и кальциево-натриевые лигносульфонаты. С возрастанием валентности катиона увеличивается молекулярная масса лигносульфонатов, поэтому при одинаковым пластифицирующем эффекте их требуется больше, чем в случае, если лигносульфонат имеет одновалентный катион.

Из других параметров вещественного состава бардяных концентратов значение имеет содержание редуцирующих веществ (сахаров в виде пентоз и гексоз). Эти вещества замедляют процесс схватывания и твердения вяжущих. В последние годы в технических концентратах содержание редуцирующих

веществ уменьшилось, т. е. повысилось качество продукта. По нормативам содержание редуцирующих веществ в СДБ допускается до 12%.

Для приготовления пластификаторов повышенной эффективности (ППЭ) с низким содержанием редуцирующих веществ разработан ряд способов модификации СДБ: формальдегидом; добавкой каустической соды; предложен метод отделения лигносульфонатов от сопутствующих компонентов с последующим их переводом в натриевое основание; разработана технология получения ППЭ при перемешивании водного раствора СДБ в смеси с цементом (добавка НИЛ-20). Лабораторией предложена технология, сущность которой заключается в адсорбировании смолистых редуцирующих веществ из водного раствора СДБ. Адсорбирование проводят в бетономешалке путем перемешивания 10% ного водного раствора СДБ с двухкратной добавкой цемента по 50 кг.

Применяемая пропеллерная мешалка объемом 8м^3 позволяет интенсивно перемешивать СДБ благодаря высокой скорости вращения 160 об/мин. При цикле загрузки, перемешивания и выгрузки готового ППЭ, равном 45 мин в смену, можно приготовить 10 замесов. При среднем расходе 20 л ППЭ на 1м^3 бетона с применением такого количества пластификатора возможно получение 3000 м^3 бетона. Для массового производства пластификатора были построены железобетонные емкости вместимостью 300 м^3, цементный склад с дозаторами и расходными бункерами. Приготовленную на данной установке добавку сливают в отстойники, затем насосом перекачивают в автоцистерны и подают на бетонные заводы.

Снижение расхода цемента в бетонах при введении ППЭ, полученного по описанной выше технологии, приведено в табл.24.

Экономия цемента в бетонах при вводе ППЭ

Таблица-24

Щебень фракции, мм	Снижение расхода цемента, кг/м^3, для бетона марок						
	М 200			М 300			М 400
	1-3	4-6	16-18	1-3	4-6	16-18	1-3
3-10	65	55	-	65	60	-	80
5-20	55	55	92	30	30	45	70
20-40	35	44	-	35	40	-	15
(3-10) +(20-40)	30	30	-	25	25	-	95

Пластификатор ППЭ можно применять в строительстве при укладке бетона в зимних условиях с противоморозными добавками. При изготовлении железобетонных изделий с термообработкой применение ППЭ резко снижает прочность бетона. Эту добавку можно применять только в комплексе с ускорителями твердения бетона.

Контроль качества проще, точнее и быстрее производить по содержанию редуцирующих веществ (затраты времени составляют 20-30 мин.). Допустимое их содержание согласно рекомендациям НИИЖБ составляет 5-7%. Содержание зольного остатка составляет 20-30%, а сухих веществ 11-15%.

Оптимальная добавка составляет 0,5-0,6% массы цемента в пересчете на сухое вещество. Как видно из табл.25, при добавке ППЭ расход воды на 1м^3 бетона сократился на 50 л.

Этим объясняется значительный прирост прочности бетона. Увеличение содержания добавки СДБ с 0,15 до 0,6 % привело к снижению прочности бетона на цементе завода Пунане Кунда (Эстония). При аналогичном увеличение содержания ППЭ, наоборот, наблюдается увеличение прочности бетона.

Состав и прочность бетона с добавками

Таблица-25

Расход материалов на 1 м^3 бетона					ОК, см	Прочность бетона, МПа, в возрасте		
Цемента, кг	Песка, кг	Щебня, фракции 5-10 мм, кг	Воды, л	Добавки, %		7 сут	14 сут	28 сут
318	707	1096	200	0,15 СДБ	5	14,5	15,0	18,5
315	701	1087	175	0,6 ППЭ	5	20,0	23,2	24,0
311	691	1072	150	0,15 СДБ	5	29,5	34,0	35,2
333	743	1037	167	0,6 ППЭ	10	19,8	23,6	25,5
311	701	979	158	0,6 СДБ	21	12,7	17,7	22,0
341	763	1063	171	0,6 ППЭ	21	20,8	30,0	34,3

При изготовлении ППЭ в отстойниках образуются отходы в виде тестообразной смеси, состоящей из концентрированных смолистых редуцирующих веществ СДБ и пылевидного наполнителя (золы ТЭС, цемента). Они составляют 10-11% объема получаемого пластификатора. Эти отходы можно использовать для обнажения фактурного слоя бетонных поверхностей и удаления с них цементной пленки.

В Сибниипроектцементе получена модифицированная добавка на основе СДБ, обработанной пылью цементных печей. Добавка опробована в качестве интенсификатора помола цемента. При использовании модифицированной СДБ (МСДБ) предотвращается ложное схватывание цемента и появление «быстряков», отсутствуют спады прочности и даже наблюдается некоторый ее

рост, производительность цементных мельниц повышается на 15-17%. Перед подачей в мельницы СДБ смешивают в пропеллерной мешалке с печной пылью (можно с известью), при этом соотношение масс сухой СДБ и пыли в пересчете на грамм-ион кальция берут от 1:1 до 1:2, время перемешивания составляет 1-2 ч. При обработке пылью происходит химическое взаимодействие извести с редуцирующими веществами СДБ, а также ионный обмен в лигносульфонатах натрия. В результате повышается структурная связность лигносульфонатов с кальциевым основанием, устраняется вредное влияние редуцирующих веществ на процессы гидратации цемента, несколько понижается адсорбционная способность СДБ, однако интенсификация помола клинкера происходит достаточно интенсивно.

В табл.26 приведены результаты физико-механических испытаний цемента при использовании в качестве добавки при помоле клинкера модифицированной СДБ.

Из приведенных данных видно, что добавка МСДБ в количестве от 0,1 до 0,5% массы цемента способствует пластификации цементно-песчаного раствора (уменьшению В/Ц) и повышению прочности цемента в марочном возрасте твердения.

Содержание редуцирующих веществ и солей лигносульфоновых кислот в СДБ не стабильно. По данным КиевЗНИИЭП, относительно простой и эффективный способ модифицирования СДБ-коагуляция лигносульфонатов и удаление редуцирующих веществ фильтрованием. Частично очищенные продукты подвергают ионному обмену, в результате чего можно получить лигносульфонат натрия с повышенным пластифицирующим эффектом. Введение этой добавки в количестве 0,5% массы цемента позволяет снизить водопотребность бетонной смеси на 18-25% без снижения прочности бетона и сэкономить 10-15% цемента. Наряду с сильным пластифицирующим эффектом

происходит замедление роста начальной прочности бетона, которое обусловлено свойствами лигносульфоната как замедлителя схватывания.

Компенсировать низкий темп набора начальной прочности бетона можно комплексным выводом лигносульфоната и ускорителя твердения (электролита). Целесообразно использовать натрийсодержащие электролиты, являющиеся одновременно и ионообменными реагентами.

Полифункциональные свойства модифицированных лигносульфонатов как разжижителей и замедлителей схватывания можно использовать при изготовлении товарного бетона для монолитного строительства, а также на предприятиях сборного железобетона с однократной оборачиваемостью форм. Отформованные изделия с добавкой требуют предварительной выдержки и последующего мягкого режима тепловлажностной обработки.

Влияние добавок ПАВ на свойства цемента

Таблица-26

Добавки в цемент , %	**Сроки схватывания**		**В/Ц раствора 1:3**	**Прочность, МПа, при**		
				Сжатии через, сут		**Изгибе, через 28 сут**
	Начало, ч/мин	**Конец ч/мин**		**3**	**28**	
0	3-20	4-20	0,38	30,3	42,6	6,64
0,1 СДБ	3-20	4-55	0,36	28,3	41,8	6,27
0,2 СДБ	3-00	8-45	0,32	30,7	40,6	6,23
0,5 СДБ	8-25	21-00	0,28	Разрушились	-	-
0,1 МСДБ	3-05	4-15	0,36	30,5	48,0	6,73
0,2 МСДБ	2-55	4-35	0,352	30,9	47,3	6,51
0,5 МСДБ	3-05	4-15	0,34	29,2	47,0	6,51
1 МСДБ	2-25	6-30	0,32	27,9	45,4	6,50

В КиевЗНИИЭП разработан также способ получения модифицированных лигносульфонатов на основе СДБ, обработанной неорганическими соединениями. Получены добавки М-4, МЛК-1 и МЛК-2, обладающие стабильными во времени физико-химическими свойствами в сравнении с исходными продуктами и эффективно влияющие на показатели бетона: подвижность, прочность, морозостойкость, водонепрницаемость.

Пластификатор М-4 исследован на Харьковском комбинате «Стройдеталь». Бетон готовили на основе быстротвердеющего цемента марки М400, песка с $М_{кр}$=1,14 и щебня фракции 5-20 мм. Изделия пропаривали по режиму 4+3+9+3ч при температуре прогрева 75^0С. Оптимальное количество добавки М-4 (МЛК-1 И млк-2) в бетонную смесь составляет 0,3% массы цемента. Прочность равноподвижного пропаренного бетона после тепловой обработки повышается на 4-15%, а через 28 суток твердения на 8-24% в сравнении с прочностью бетона без пластификаторов. Водонепроницаемость бетона с пластификаторами повышается не менее, чем на марку, морозостойкость возрастает до 100-200 циклов в зависимости от количества дополнительно вовлекаемого воздуха, что в свою очередь определяется крупностью щебня и количеством песка.

Внедрение добавок на указанном комбинате дало экономический эффект 0,78-1,11 руб. на $1м^3$ бетона. Только по одному виду изделия (дорожные железобетонные плиты с повышенными требованиями по морозостойкости) комбинатом получен годовой экономический эффект 11,2 тыс.руб.

5.5. Применение отходов и попутных продуктов производства полимерных материалов

Использование попутных полимерных продуктов

Одно из традиционных направлений утилизации полиолефинов (продуктов полимеризации углеводородов)- это использование их в композиции с битумом с целью модифицирования свойств асфальтовых

покрытий. Но, обладая рядом ценных свойств как связующее каменной основы и имея невысокую стоимость, битумы, в состав которых входят полярные соединения, отличаются недостаточной водостойкостью, имеют невысокие прочностные показатели. Все это в значительной степени ухудшает свойства асфальтовых покрытий на основе битумов и сокращает сроки их эксплуатации.

Модифицированные композиции получают, смешивая битум с отходами полиолефинов при температурах 40-100^{0}С и выгружая смесь в специальные формы, где она охлаждается.

Максимальное количество полиолефиновых отходов в композициях достигает 30% массы битума. При более высоком их содержании может произойти расслоение системы.

Свойства асфальто-полимерных композиций

Таблица-27

Состав композиции, %			**Прочность при растяжении R_p, МПа, при ^{o}С**			**Термостабильность R_{50}/R_o x100**	**Водонасыщение, %**
Битум	**Отходы ПС**	**Минеральный материал**	**50**	**20**	**0**		
8	0	92	1,6	2,3	11,1	14,5	0,80
7	1	92	2,7	3,7	8,1	33,2	0,95
7	4	89	7,1	9,2	12,8	65,1	1,00
4	8	88	11,6	11,7	23,0	50,4	1,00

Отходы полистирольных пластиков (ПС), введенные в битумные композиции в небольших количествах, оказывают аналогичное влияние на основные свойства композиций. Если сравнить свойства таких композиций со свойствами стандартных битумно- минеральных смесей (табл.27), можно заметить, что добавка полистирольных отходов способствует существенному увеличению прочностных показателей при температурах 0 ^{0}C, 20 ^{0}C и 50 ^{0}C, термостабильности и водостойкости.

Использование отходов синтетического каучука и латексов

В НИИПОЛИМЕРЕ изучены различные структурированные полимерные отходы, полученные при производстве латексов и каучуков, а также композиционные материалы, полученные с применением этих продуктов и их смесей. Отходы выделялись из латексных сточных вод после усреднения их состава в накопительных емкостях и перерабатывались на шнековых машинах для придания им товарного вида.

Структурированные полимерные отходы стабильны по составу и основным свойствам и совместимы с полимерными композициями. Степень структурированности их по содержанию гель-фракции составляет 66-85%, они обладают малой окисляемостью и большой термоустойчивостью (до 250 ^{0}C), содержание мономеров в них находится на уровне того же показателя как для кондиционного каучука.

Отходы каучуков и латексов имеют достаточно высокие показатели прочности (до 4,6 МПа), эластичности (относительное удлинение до 70%). Особенно прочны пленки бутадиенстиролнитрилкарбо-кислотного каучука, у которого прочность достигает 15 МПа при относительном удлинении 50%. Морозостойкость его достигает минус 45^{0}C.

Полимерные отходы вводили в составы, предназначенные для получения кровельно-гидроизоляционных и герметизирующих материалов и для покрытия

полов животноводческих помещений. Температура переработки полимерных композиций для указанных материалов ниже температурного интервала термодеструкции и составляет: для герметиков 100^{o}С, для гидроизоляции 170-180^{o}С, для покрытий полов до 170 ^{o}С.

При приготовлении сырьевой смеси для получения воздухозащитной ленты герлен дефицитное и дорогостоящее сырье-бутадиенстирольный термоэластопласт ДСТ-30 можно полностью заменить отходами полимерной крошки латекса. Опытные смеси готовили в резиносмесителе в течение 6-7 мин при t=100 ^{0}С, затем их обрабатывали 4 мин на вальцах и формовали на каландрах при температуре валков 85-90 ^{0}С со скоростью 10-12 м/мин. Полученный на основе отходов герметик обладал физико-механическими свойствами, близкими к свойствам герметика, содержащего ДСТ-30: прочность при разрыве 0,43-0,53 МПа, относительное удлинение при разрыве 313-350 %, усадка 2 %. Полимерные композиции хорошо перерабатываются при обычной технологии на существующем оборудовании.

При разработке состава для покрытия полов животноводческих помещений вместо кондиционных каучуков СКБ-35 РЩ, СКБ-СРС можно вводить полимерные отходы: СКН-18, СКД-1, смесь отходов латексов СКС-65ГП, СКС-30 ОХ, БК. Покрытия пола, получаемые методом вулканизации на гидравлических прессах, получали как на частично вулканизирующихся структурированных отходах, так и на неструктурированном каучуке СКП-3.

При замене каучуков полимерными отходами качество получаемых покрытий для полов не снижалось: истираемость составляла 107-140 мкм, водопоглощение через 24 ч - 0,15-0,28%, деформация полная 2,3-2,4 мм, остаточная 0,21-0,24.

На основе высокоструктурированных отходов можно получить эластичные высокопрочные пленочные гидроизоляционные материалы.

Пленочные материалы, полученные в НИИполимере, содержали помимо 45% полимерных отходов, полиэтилен 15, полиизобутилен 10 и пластификатор-битум до 30%, который служил также стабилизатором каучуков. Пленочные материалы были получены вальцево-каландровым способом с предварительной пластификацией на вальцах полимерных отходов (температура переработки 120-130 ^{0}С в течение 10 мин). Они обладают высокой прочностью, относительным удлинением, выдерживают температуру до минус 60 ^{0}С, что позволяет применить их на стройках Крайнего Севера.

Применение полимерных отходов производства каучуков и латексов взамен кондиционных материалов дает большой экономический эффект благодаря доступности и низкой стоимости сырья. Замена термоэластопласта ДСТ-30 в герметике герлен дает экономию 0,4 руб. на 1м^2 ленты. В производстве плит для покрытий пола животноводческих помещений при замене каучука СКБ полимерными отходами экономия составляет 2,72 руб. на 1 т.

На основе битумов, модифицированных полимерной крошкой латексов, разработаны составы для покровного слоя эластичного рубероида и технология их получения. В пластифицированную крошку вводят битум, композит перемешивают при 120-130 ^{0}С и получают каучукобитумный гранулят. Далее гранулят вводят совместно с наполнителем и битумом в турбомешалку, где он растворяется в битуме при перемешивании. Дополнительная гомогенезация массы проводится в роторно-эксцентриковом диспергаторе, откуда готовая масса при 20 ^{0}С направляется в ванну для нанесения на рубероид покровного слоя.

Исследованиями установлено, что при введении модификатора в битуме происходит структурирование с образованием трехмерных структур и возрастанием содержания твердых, нерастворимых в бензоле продуктов.

Скорость их образования в различных опытах одинаковая, что свидетельствует об устойчивости модифицированных битумов к старению.

На основе полимер-битумных композиций с применением отходов производства латексов получен также новый битумный листовой кровельный материал с улучшенными свойствами. Приготовить композицию битума с полимерной крошкой латекса можно в роторно-эксцентриковом смесителе или на вальцах. Смешение в роторно-эксцентриковом аппарате вместимостью до 60 л производится при частоте вращения 50 об/мин, температуре 170-180 ^{0}C в течение 15-20 мин с последующим вальцеванием массы (зазор между валиками 2 мм, температура 130 ^{0}C, время 2 мин). Готовят композицию пооперационно: пластификация полимерно-латексной крошки на вальцах в течение 10 мин при 130 ^{0}C, добавление битума, перемешивание в течение 10 мин при той же температуре (120-140^{0}C).

Разработана технология получения кровельного материала-пластин КБМ-3 на основе нефтяного битума 70-80 и латексной крошки 20-30% по простой схеме: смешивание-вальцевание-обрезка-упаковка. Масса изготавливалась в резиносмесителе РА-70 при темпераруре 160-180 ^{0}C в течение 12-15 мин. Пластины толщиной 3-4 мм, размером 2,0х2,0 м вальцевали на фрикционных вальцах без подогрева в течение 1-2 мин. Материал КБМ-3 обладает высокими физико-механическими показателями:

Прочность при разрыве, МПа:	
в продольном направлении	1,2-1,8
в поперечном	0,7-1,1
Относительное удаление, %	
в продольном направлении	100-150
в поперечном	200-300
Морозостойкость, ^{o}C	30

Новый кровельный материал можно получить на существующем оборудовании технологических линий, предназначенных для производства пленочных материалов. Экономическая эффективность от применения битумов, модифицированных отходами производства СК и латексов, составляет до 500 тыс.руб. в год при выпуске 100 тыс/ пластин кровельного материала КБМ-3.

На отходы производства синтетических каучуков в виде твердого каучукоподобного продукта разработаны нормативные документы.

Применение отходов производства пластмасс

Существует несколько направлений использования полимерных отходов в строительстве: получение тепло-и звукоизоляционных плит, создание герметиков, применяемых в строительстве зданий и гидротехнических сооружений и других отраслях строительства.

Для получения строительных плит берут отходы полимерного производства и песок в соотношении 1:1. Песок просеивают, нагревают до 50 ^{0}С, добавляют к смеси полиэтилена (ПЭ) и полистирола (ПС), смешивают при 150 ^{0}С течение 0,5 ч и массу прессуют.

По аналогичной технологии получают также материалы из отходов пластмасс в смеси с мелом, стекловолокном, асбестом и другими минеральными наполнителями. Все компоненты подсушивают при 120^{o}С в течение 2 ч, затем пластифицирует в смесителе при 250-300 ^{0}С в течение 15 мин, выгружают при 180 ^{0}С в форму и прессуют. Полученные композиции обладают хорошими прочностными показателями и высокой стойкостью к истиранию, что позволяет использовать их при изготовлении плит для полов. Чтобы улучшить внешний вид изделий при смешивании обычно добавляют такие пигменты, как оксиды железа и хрома, желтый крон, диоксид титана и др.

Один из способов получения строительных материалов с применением отходов заключается в расплавлении полимеров, смешивание их с последующей разливкой в формы и охлаждением. Изделия обладают высокой прочностью и стойкостью против горения. Высокая водостойкость большинства полимерных отходов, в первую очередь полиолефиновых, позволяет широко использовать их в различных композициях, применяемых для герметизации швов между панелями зданий, а также для покрытия частей сооружений, работающих под водой или в условиях повышенной влажности.

Двухкомпонентные композиции с низкомолекулярными отходами полиэтилена (ПЭ) в количестве до 10% (по массе) обладают повышенной водостойкостью и хорошими прочностными показателями (табл.28), что позволяет применять их для получения гидроизоляционных покрытий.

Свойства композиций на основе битума БН 70/30

Таблица-28

Состав композиции,%		**Вязкость ПЭ при 40 °С, Па·с**	**Твердость (пенетрация),мм**	**Растяжимость см, при**		**Температура хрупкости, °С**	**Температура размягчения, °С**
				25 °С	**0°С**		
Битум	ПЭ						
100	-	-	2	5	1,1	-8	72
90	10	4,3	1,7	1,6	3,2	-15	107
90	10	2,78	1,7	1,7	3,4	-14	106

Композицию с использованием побочного продукта синтеза полипропилена – атактического полипропилена (АПП) в количестве 60-90% совместно с 40-5% термической сажи применяют при получении

герметизирующих лент путем экструзии. Хорошая водостойкость АПП позволяет также использовать его в композициях, на основе которых получают кровельный рубероид.

Разработаны методы получения строительных изделий, когда отходы полимеров вводят на стадии полимеризации другого маномера. Так, отходы ударо-прочного полистирола растворяют в метилметакрилате в соотношении 1:1,5, разливают в формы и полимеризуют в них, добавив по 3 части по массе пероксида бензоила и диметиланилина. Образующаяся композиция, по данным В.М.Гальперина и Н.В.Мосиной, может иметь хорошие физико-механические показатели:

Разрушающее напряжение, МПа:

При растяжении	31-36
При изгибе	24,6-31,2
При сжатии	44,5-72,0
Ударная вязкость, кДж/	21-27
Теплостойкость по Мартенсу, ^{o}C	42
Водопоглощение за 24ч, %	0,07

Имеется опыт использования отходов стекловолокна для изготовления листовых стеклопластиков. На заводах объединения изготавливаются с использованием отходов стекловолокна холсто-прошивные полотна, предназначенные для изоляции трубопроводов, тепловых и холодильных агрегатов. Отходы стекловолокна играют роль армирующего материала, упрочняющего холсто-прошивное полотно. Упрочнение холсто-прошивного материала производится стеклянной или капроновой прошивной нитью. Достигаемое при этом усилие на разрыв полосы армированного материала

равно 20 Н. В качестве полимерного связующего используется водорастворимое фенольное связующее марки СЮ 511.

Процесс изготовления листового стеклопластика на основе холсто-прошивного полотна заключается в пропитке и сушке пропитанного полотна в шахте вертикальной пропиточной машины. Пропитанное и высушенное полотно нарезают и пакетируют специальной, работающей совместно с вертикальной, установкой. Подготовленные пакеты прессуют при давлении 1,4 МПа и обрезают на гильотинных ножницах.

Свойства листового стеклопластика, полученного на основе армирующего материала из отходов стекловолокна и водорастворимого связующего, приведены в табл.29.

Физико-механические свойства стеклопластиков

Таблица-29

Стеклопластик	**Плотность, г/см^3**	**Разрушающее напряжение при статистическом изгибе, МПа**	**Ударная вязкость, кДж/м^2**	**Водопоглощение, %**
Листовой	1,4	85	11	7,8
На основе холстов и композиции смол	1-1,9	65	Не нормируется	8,5

Получаемый листовой стеклопластик имеет более высокие показатели физико-механических свойств по сравнению с обычными стеклопластиком на основе стеклохолстов и композиции смол. Экономический эффект на 1 т материала составляет 108 руб.

В Казанском ПО «Органический синтез» ежегодно скапливается до 150-220 т отходов низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ), который при нормальной температуре характеризуется следующими показателями свойств: молекулярная масса 1500-2500; плотность 0,86-0,88 г/см^3; температура плавления 70-80 ^{0}С; морозостойкость не более минус 7 ^{0}С; содержание глицерина 0,2%, число омыления 3 кг КОН на 1 г вещества, стабильность 2-3 года, цвет от белого до светло-серого. Материал не растворяется и не смешивается ни с холодной, ни с горячей водой. В воде при температуре выше 7 ^{0}С НМПЭ размягчается и образует на поверхности пленку. Для получения однородной бетонной смеси добавку вводили с водой затворения. НМПЭ исследован в МИСИ им. В.В.Куйбышева с целью использования в качестве комплексной добавки, обладающей гидрофобнопластифицирующими свойствами и позволяющей придать бетону химическую, водо, морозостойкость, а также увеличить механическую прочность.

Исследования показали, что НМПЗ можно вводить в бетон в виде эмульсии. В опытах использовали ультразвуковой метод контроля, который исключает необходимость применения стабилизирующих веществ и упрощает технологию.

Были исследованы свойства эмульсии, полученной на ультразвуковом диспергаторе АД 0-1. При увеличении содержания в эмульсии НМПЭ в количестве 0-5% плотность ее уменьшается до 0,993 г/см^3, а величина pH возрастает от 7,9 до 9,9. Размер частиц НМПЭ в эмульсии составляет 0,5-5 мкм.

Эмульсия НМПЭ имеет положительный заряд электрокинетического потенциала. Во избежание коагуляции ее можно применять для бетонных смесей на цементах, также имеющих положительный потенциал (портландцемент, шлакопортландцемент).

Пластифицирующее действие НМПЭ обусловлено в основном, эффектом смазки. Молекулы полимера уменьшают трение между частицами вяжущего и заполнителя, что и придает бетону высокую подвижность и предотвращает расслоение. Эмульсия не замедляет процесс твердения бетона.

Влияние эмульсии НМПЭ установлено на примере изготовления стиропоробетона. Раствор 5%ной водной эмульсии НМПЭ вводили вместо воды затворения в бетономешалку. Изделия подвергали пропарке по режиму:2+6+2,5 ч. При температуре около 80^{o}С частицы НМПЭ переходят в вязко-текучее состояние, кольматируя поры и капилляры бетона. При остывании бетона НМПЭ возвращается в первоначальное состояние придавая бетону гидрофобные свойства и водостойкость. Так, введение НМПЭ в количество 2-4% массы цемента позволило уменьшать водопоглощение с 32-34 до 16-18% и увеличить водостойкость. 0,78-0,95 для бетонов объемной массой 400-1000 кг/м^3.

Пластифицирующая способность эмульсии НМПЭ позволила снизить В/Ц бетонной смеси и добиться значительного увеличения прочности. Например, для стиропоробетона объемной массой 400 кг/м^3 прочность составила 2,5 МПа против 1,5 МПа для бетона без добавки. Долговечность полимера в бетоне обеспечивается в течение длительного времени, так как он защищен от воздействия ультрафиолетовых лучей массой бетона. Бетон с добавкой эмульсии НМПЭ рекомендуется применять в диапазоне температур от -70 до +70^{o}С.

Использование кубовых остатков, содержащих продукты перегонки и осмоления

Существенную роль в повышении эффективности производства сборного железобетона играют комплексные добавки полифункционального действия, особенно недефицитные реагенты, которые можно получать на основе вторичных продуктов химических производств. Одним из таких продуктов

является плав дикарбоновых кислот (ПДК), а также его модификации. ПДК представляет собой кубовые остатки производства адипиновой кислоты. ПДК, это твердое вещество чешуйчатого вида, которое растворяется в воде при 40-50^{o}С с показателем pH водного раствора около 3,45-4,20. ПДК эффективный пластификатор бетонных смесей и интенсификатор твердения бетона. Модификациями ПДК являются ощелачиваемые соединения (ПДКО) с показателем pH раствора, равным 7,1-7,7, а также комплексы с высокопластифицирующей способностью типа ПДК+СДБ, ПДКО+СДБ в определенных соотношениях.

Применение добавок типа ПДК позволяет изменить и направленно регулировать технологические и технические свойства цементных композиций. Добавки пептизируют суспензии, способствуют изменению пластической прочности цементного теста и подвижности бетонной смеси во времени, повышению водоудерживающей способности и снижению расслаиваемости бетонорастворных смесей.

Влияние добавок на технологические свойства растворимых смесей

Таблица-30

Вид добавки	**Количество добавки,% массы цемента**	**Водоотделение**	**Водоудерживающая способность**	**Расслаиваемость, см**
-	-	0,050	16,33	28,7
ПДК	0,6	0,035	22,9	18,5
ПДК	1,0	0,031	24,3	16,0
ПДК+СДБ	1,0+0,15	0,021	25,5	18,8
ПДКО	1,0	0,031	21,3	18,2
ПДКО+СДБ	1,0+0,15	0,019	33,4	17,3

Эти добавки несколько замедляют сроки схватывания цементов, но не снижают их активности. Увеличение количества добавок типа ПДК от 0,2 до 0,8% удлиняет период структурообразования.

В табл.30 приведены данные о влиянии добавок ПДК и их модификаций на основные технологические показатели растворных смесей состава 1:3 с ОК=8 см. Величина водоотделения представлена в виде отношения H/h, где H-высота слоя воды, отделившейся из цементно-песчаного раствора, помещенного в мерный цилиндр; h-высота мерного цилиндра.

Из данных табл.30 видно, что добавки типа ПДК значительно уменьшают водоотделение и расслаиваемость смесей и повышают их водоудерживающую способность. Установлено также, что бетоны с добавками ПДК, ПДКО И ПДК+ СДБ наиболее удобоукладываемые, так как деформации сдвига в смесях с добавками развиваются более интенсивно по сравнению со смесями без добавок.

В условиях централизованного приготовления бетонов, их длительного транспортирования и применения на рассредоточенных объектах особенно важно получить бетонные смеси с повышенной жизнеспособностью без снижения прочности. Это достигается введением добавок типа ПДК, обеспечивающих требуемую подвижность и удобоукладываемость в течение заданного времени.

На рис. 1 приводятся данные по изменению подвижности бетонной смеси во времени. Смеси с добавками ПДК, ПДКО, ПДК+СДБ медленнее теряют подвижность по сравнению со смесями без добавок.

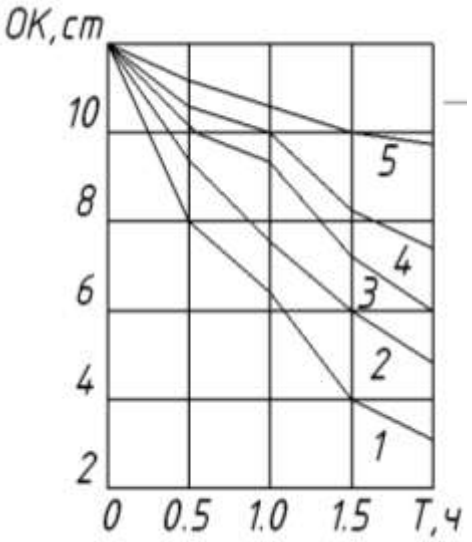

Рис. 1. Изменение подвижности бетонной смеси во времени:

1-без добавок; 2-0,6% ПДКО; 3-0,6% ПДК; 4-0,6% ПДК+0,15% СДБ; 5-1% ПДК+0,2% СДБ.

Наименьшая потеря подвижности бетонной смеси наблюдается при введении комплексной добавки, состоящей из 1% ПДК+0,2% СДБ, что обеспечивает первоначальную подвижность и удобоукладываемость смеси в течение 1,5-2 ч с момента приготовления. В табл.31 приведены данные о влиянии ПДК и его модификаций на свойства тяжелого бетона марки М200, изготовленного на среднеалюминатном портландцементе марки М400.

При введении 0,4-1% ПДК подвижность бетонной смеси увеличивается более чем в 3 раза. Рост прочности бетона до 7 суток нормального твердения несколько замедляется, а к 28 сут. увеличивается до 20% в сравнении с аналогичным бетоном без добавки. Ввод 0,4-0,6% ПДКО способствует повышению пластификации бетонной смеси при одновременном увеличении прочности бетона к 28 суткам твердения на 19-25%. Наиболее эффективны добавки ПДК+СДБ и ПДКО+СДБ. Их применение позволяет увеличить подвижность смеси в 5-6 раз при одновременном повышении прочности бетона, т.е.такие комплексные добавки можно отнести к группе суперпластификаторов. Применение добавок типа ПДК в равноподвижных смесях повышает прочность бетона на 30-40%.

Свойства бетона, содержащего дикарбоновые кислоты

Таблица-31

Вид добавки, содержащей дикарбоновые кислоты	Количество добавки, %, массы цемента	В/Ц	Подвижность, см	Прочность бетона при сжатии, % R28 нормального твердения, в возрасте, сут			
				1	3	7	28
-	-	0,67	3	13	43	60	100
ПДК	0,4	0,67	6	11	36	57	115
ПДК	0,6	0,67	8	9	38	58	120
ПДК	1,0	0,67	10	6	30	50	118
ПДК	0,6	0,06	3	12	40	70	127
ПДКО	0,4	0,67	6	14	45	59	119
ПДКО	0,6	0,67	9	12	44	64	125
ПДКО	1,0	0,67	12	9	35	56	120
-	-	0,65	4	16	50	70	100
ПДК+СДБ	0,4+0,15	0,65	17	10	42	66	105
ПДК+СДБ	0,6+0,15	0,65	20	9	48	72	100
ПДК+СДБ	1,0+0,15	0,65	21	4	45	68	108
ПДКО+СДБ	0,6+0,15	0,65	18	-	-	76	120
ПДКО+СДБ	0,6+0,15	0,56	4	-	-	80	135

На рис. 2 показана зависимость роста прочности бетона во времени при различном содержании цемента. При введении 0,8% ПДК прочность бетона в раннем возрасте повышается незначительно. При дальнейшем твердении бетона в нормальных условиях в течение 28, 90 и 120 сут наблюдается более интенсивный рост прочности бетона с добавкой.

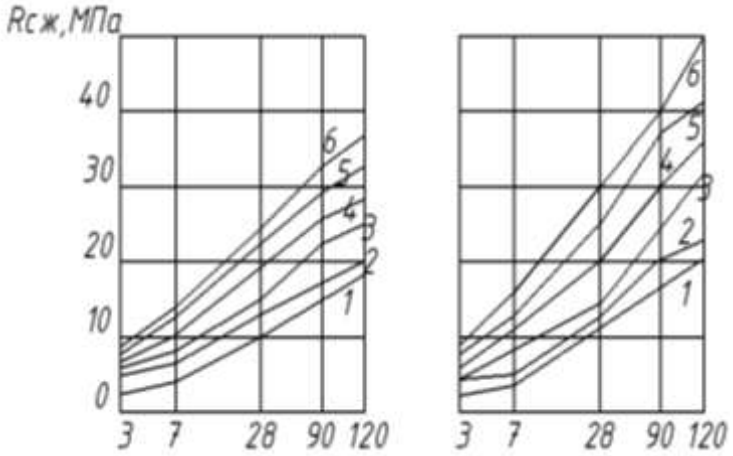

Рис. 2. Рост прочности бетона во времени при твердении в нормальных условиях:

а-бетон без добавке (ОК=12-13 см); б-бетон с добавкой 0,8 ПДК (ОК=17-19 см); 1,2,3,4,5,6-бетоны с содержанием шлакопортладцемента марки 300 соответственно 300,350,400,450,500 и 550 кг/м^3.

Использование ПДК и его модификаций позволяет снизить расход цемента в равнопрочных бетонах, получить высокопластичные смеси при изготовлении густоармированных и тонкостенных конструкций. Добавки необходимо вводить в бетонную смесь с водой затворения по общепринятой технологии.

Одним из попутных продуктов производства капролактама является раствор солей дикарбоновых кислот ПАЩ-1, который содержит 18-24% адипата натрия и применяется в качестве пластификатора бетонных смесей. Проведеные исследования по определению влияния добавки ПАЩ-1 на свойства разогретой бетонной смеси и бетона из такой смеси. Введение ПАЩ-1 в количестве 0,1-0,2% массы цемента повышает подвижность разогретой бетонной смеси на 3-5см, а также замедляет снижение подвижности смеси в последующие 30 мин выдержки в сравнении с бетонной смесью без добавки или добавками суперпластификаторов, разогретой до такой же температуры. Водопоглощение, водонепроницаемость и морозостойкость такого бетона не

ухудшается. Добавка ПАЩ-1 не оказывает разрушающего воздействия на арматуру и не влияет на деформативные свойства бетона (табл.32).

Кафедрой строительных материалов КИСИ разработаны полифункциональные химические добавки в цементные бетоны на основе кубовых остатков, содержащих хлористый аммоний и аминоуксусную кислоту (гликокол); маточных растворов щавелевокислого аммония и щавелевой кислоты. Рекомендуемый состав комплексных добавок в пересчете на сухую массу (% от массы цемента): аммоний хлористый 0,9-1,1; гликокол 0,3-0,4; аммоний щавелевокислый 0,1-0,12 или аммоний хлористый 0,9-1,1; гликокол 0,3-0,4; щавелевая кислота 0,11-0,13.

Комплексные добавки пластифицируют бетонные смеси, ускоряют твердение бетонов на ранних стадиях и повышает их марочную прочность на 20-25%. Добавки повышает также морозостойкость изделий. Установлено уплотняющее действие добавок на бетон благодаря их пластифицирующему эффекту, а также способности щавелевокислого аммония и щавелевой кислоты связывать гидроксид кальция в нерастворимые комплексы, кольматирующие поры цементного камня. Повышенная плотность, а также компенсирующий эффект щавелевой кислоты в отношении агрессивного действия хлоридов способствует защите стальной арматуры в бетоне от коррозии.

На Днепродзержинском и Северодонецком ПО «АЗОТ» при производстве аммиака, флотореагентов, аминов, уксусного ангидрида и других продуктов образуется смолообразные кубовые остатки. Частично (11%) они используют в автодорожном строительстве в качестве связующего материала. На основе кубовых остатков можно готовить отвердитель для эпоксидных смол. Например, в композициях на основе смолы ФАЭД-20, применяемых для гидроизоляции и антикоррозионной защиты подземных частей гидротехнических сооружений, для ремонта и омоноличивания бетонных конструкций, в качестве отвердителя обычно используют полиэтиленполиамин

(ПЭПА). Однако, это дефицитный материал, обладающий высокой стоимостью. Заменителем ПЭПА могут служит отходы производства – кубовые остатки сложных аминов, которые недефицитны и относительно дешевы.

Влияние пароразогрева бетонной смеси и добавки ПАЩ-1 на длительность пропаривания и свойства бетона

Таблица-32

Состав бетона, кг/м^3					Марка бетона	Подвижность смеси, см			Длительности тепловой обработки, Ч	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут	
Ц	П	Щ	В	ПАЩ-1, % массы цемента		После приготовления	После разогрева	Перед уплотнением		1	28
275	640	1330	161	-	200	2-3	-	1-2	2+4+8+2+	14,9	20,4
260	651	1343	152	0,15	200	-	4-5	1-2	0+3+7+2	16,0	21,1
258	655	1345	167	-	100	5-6	-	3-4	2+4+8+2	7,3	10,2
258	655	1345	167	0,20	100	-	9-10	3-4	0+1+7+2	8,0	10,9

Количество отвердителя, необходимое для полимеризации композиций, составляет 30% массы вяжущего. Для повышения адгезии композиционных

составов целесообразно также вводить в состав полимерные вяжущих ускоритель – бензосульфокислоту. Количество ускорителя принимают 3-5% массы вяжущего.

Составы с кубовыми остатками и ускорителем в течение первого месяца водного хранения теряют до 30-40% достигнутой адгезионной прочности, которая через месяц составляет до 3,5 МПа. Однако, в последующее время адгезия композиции к бетону повышается и к 180 суткам достигает 85-90% исходных показателей.

Рассмотренный выше состав был опробован при ремонте бетонных облицовок одного из гидротехнических сооружений. Замена ПЭПА отвердителем на основе отходов производства снижает стоимость вяжущих композиций на 8-10%.

5.6. Применение попутных продуктов нефтехимической промышленности, добычи, обогащения и химической переработки твердого топлива

Применение попутных продуктов углеобогащения

В производстве строительных материалов и изделий могут быть использованы отходы от добычи и обогащения бурого и каменного углей, антрацита, горючих сланцев и торфа. Побочными продуктами при добыче и обогащении углей является шахтные породы, вскрышные породы углеразрезов и отходы углеобогащения.

При подготовке углей к коксованию образуется большое количество попутных продуктов углеобогащения в виде отвальных пород и флотошламов. Попутные продукты обогащения углей Донбасса представлены горными породами, в состав которых входят глинистые минералы, алевролиты, песчаники, пирит, карбонаты кальция.

Флотошламы состоят из углистого вещества и кристаллического минерального вещества, представленного глинистыми минералами, карбонатами, сульфатами кальция и магния, кварцем и т.д. Главный глинистый компонент – каолинит, который обогащен углистыми примесями. В количественном отношении флотошламы представлены, %: глинисто – гидрослюдистыми минералами 55-60; сульфатами 10; кварцем 3-5; прочими 3-5. Данные химического анализа шламов флотации свидетельствуют о значительных колебаниях химического состава в сравнении с остальной породой. В зависимости от использования пород углеобогащения к ним предъявляют различные требования по одному или по комплексу показателей. Так, в одних случаях важнейшим показателем является остаток угля в породе, а в других – зерновой состав, температура плавления и т. д.

Породы углеобогащения – ценный вид минерального сырья для производства керамических материалов и пористых заполнителей бетона. По химическому составу они близки к глинистому сырью. Вредной примесью в них является сера в виде сульфатов и сульфидов металлов. Все отходы углеобогащения содержат остатки невыделенного угля.

Пластичность пород углеобогащения низка, теплотворная способность их колеблется от 3300 до 12000 кДж/кг.

В производстве стеновой керамики отходы углеобогащения используют в качестве отощающей или выгорающей топливосодержащей добавки. Кусковые породы дробят, а отходы в виде шлама с размером частиц до 1 мм подсушивают до остаточной влажности 5-6%. При получении кирпича методом пластического формования в шихту добавляют до 10-30% отходов. При этом связующая способность керамической шихты и сопротивление ее сжатию возрастает до 20%. При более высоком содержании в шихте продуктов углеобогащения связующая способность глинистого сырья уменьшается. Введение оптимального количества топливосодержащей добавки в результате

более равномерного обжига улучшает прочностные показатели изделий на 30-40%, способствует экономии топлива до 30% и повышению производительности печей. При производстве кирпича, например, добавка попутных продуктов в количестве 3-15% повышает его марочность, сокращает срок сушки, улучшает обжиг кирпича, особенно в туннельных печах и повышает съем кирпича с 1 $м^3$ печного канала, а также уменьшает расход топлива.

Рекомендуется следующая технология использования попутных продуктов обогащения в производстве кирпича. Сначала их измельчают на бегунах и разделяют на фракции, мм: 5-3; 3-1,25; 1,25-0,5; 0,5-0,25 и менее. В зависимости от свойств основного глинистого сырья в шихту вводят разное количество этих продуктов.

Так, для малопластичных глин Днепродзержинского комбината строительных материалов, умеренно пластичных глин Никопольского кирпичного завода и высокопластичных глин Павлодарского завода стеновых материалов, имеющих коэффициент чувствительности к сушке, соответственно, 0,41; 1 и 1,45, наиболее эффективны добавки отвальных пород следующего гранулометрического состава, %: 1-3 мм до 20; 1-0,25-50; менее 0,25 мм-30.

В малопластичное сырье вводят 10% породы, в умеренное и высокопластичное до 15. При вводе породы в мало и умеренно пластичное сырье отпадает необходимость в применении отощающих добавок.

В табл.33 приведены физико-механические характеристики кирпича из шихты оптимального состава с добавками попутных пород углеобогащения и на основе шихты без добавок.

На углесодержащую фракцию для производства кирпича действует нормативы. В них установлены три сорта отходов в зависимости от

максимальной крупности зерен: 1-й до 80; 2-й до 10; 3-й до 3 мм. Стоимость 1 т отходов каждого сорта, соответственно, 0,35; 0,45 и 0,60 руб.

Прочность кирпича с добавками попутных продуктов углеобогащения и без добавок

Таблица-33

Предприятие	Предел прочности кирпича, МПа на основе					
	Шихты с добавками			Шихты без добавок		
	сжатие	изгиб	марка	сжатие	изгиб	Марка
Днепродзержинский комбинат стройматериалов	12,9	4,0	125	8,0	3,8	75
Никопольский кирпичный завод	18,6	5,4	150	12,0	4,1	100
Павлодарский завод стеновых материалов	23,9	7,9	200	7,8	6,3	75

Породы углеобогащения содержат больше глинозема, чем некоторые другие глины. Глинистое вещество в них представлено обычно каолинитом и гидрослюдами. Тонкодисперсные породы углеобогащения проявляют свойства глин, малочувствительных к сушке.

Технологическая схема производства стеновых изделий пластического формования включает: узел помола исходной породы (крупные куски нужно измельчать), узел формовки сырца на ленточном вакуумном прессе, сушку его в щелевой однорядной сушилке или сушилке с реверсивным движением теплоносителя и обжиг в туннельной печи в окислительной атмосфере с целью максимального выгорания коксового остатка (рис. 3).

При полусухом формовании помол исходной породы, прессование материала и обжиг сырца производит без предварительной подсушки в туннельной печи.

Рис.3.

Углесодержащие породы добычи и обогащения углей-эффективное сырье для производства пористых заполнителей и, в первую очередь, аглопорита. Для

нормального спекания шихты в породах должно содержаться около 10% топлива в пересчете на условное. При большем содержании топлива в шихту вводят суглинки, улучшающие процесс грануляции и спекания шихты.

Из некоторых видов отходов обогащения угля можно производить не только аглопорит, но и керамзит.

Сланцевые отходы и их утилизация

Отход обогащения горючих сланцев-сланцевая порода, в состав которой входят те же минеральные компоненты, что и в составе сланцев. Содержание органического вещества (керогена) колеблется от 2 до 20%, плотность породы 2,2-2,6 г/см^3. Химический состав отходов не постоянен, что затрудняет использование их в качестве карбонатного сырьевого материала.

Установлена возможность использования сланцевой породы как наполнители полимерных материалов, в частности, поливинилхлоридного и резинового линолеума, а также мастик. Отходы заменяют дефицитные древесную и пробковую муку, мел, барит, каолин, тальк и др. материалы. Композиции на сланцевой основе хорошо перерабатываются на обычном технологическом оборудовании.

Опытно – промышленные работы показали, что кероген и оксид кремния, входящие в состав сланцевой породы, улучшают качество изделий, снижают их стоимость и массу, позволяют сократить удельные расходы сырья на 6-10%. В большинстве случаев содержание керогена снижает твердость изделия, что дает возможность уменьшить расход каучуков, смол и пластификаторов на 2-4%. Сравнительные физико-механические характеристики некоторых видов полимерных строительных материалов на основе традиционных наполнителей и сланцевой породы приведены в табл.34.

Физико – механические характеристики линолеума на основе различных накопителей

Таблица-34

Показатели	Однослойный		Промазной на тканевой основе	
	Обычный наполнитель	Сланцевая порода	Обычный наполнитель	Сланцевая порода
Масса 1 $м^2$, кг	3,2	2,88	2,2	2
Истираемость, мкм	180	100	60	50
Усадка %: в продольном направлении	0,3-0,5	0-0,2	0,2-0,5	0
в поперечном	0,2-0,3	0	0,2	0
Прочность связи между слоями, Н/см	-	-	3,7	8,1

Экономическая эффективность от использования сланцевой породы в производстве 1 тыс. $м^2$ линолеумов составляет 250 руб. Благодаря применению сланцевой породы в качестве наполнителя полимерных материалов почти в 2-2,5 раза сокращается выделение вредных веществ в окружающую среду. Сушка и помол породы могут быть совмещены в шарово-трубных мельницах, используемых, например, для сушки и помола сырья в цементной промышленности. Температурный режим сушки должен обеспечивать влажность сланцевой породы около 1% для предотвращения потер органического вещества.

Согласно нормативным требованиям некоторые свойства молотой сланцевой породы лимитируются:

Содержание условного органического	
вещества в пересчете на сухой продукт, % по массе	10-18
Остаток на сите, %	
№ 014	не более 3
№ 008	не более 15
Содержание влаги, % по массе	не более 1

Исследования пожарно-и взрывоопасных свойств сланцевой породы показали, что пыль прибалтийских сланцев относится к взрывоопасной, если в классе 40-100 мкм содержится более 47,5% органического вещества. При максимальной концентрации 750 г в 1 $м^3$ воздуха сланцевая порода не образует воспламеняющихся аэрозолей. Температура тления сланцевой породы обусловлена содержанием в ней керогена и равна 385 ^oC. Однако чистый кероген сланцевой породы подвергается термическому разложению при 175-180 ^oC. Практически при использовании сланцевой породы в качестве наполнителя в среднем пористом слое релина, промазном ПХВ-линолеуме и других материалах технологический процесс протекает при температуре 170-210^oC и термического разложения не происходит. Это объясняется тем, что известняковая оболочка сланцевой породы предохраняет кероген от термического распада.

Использование попутных продуктов ректификации каменноугольных смол и сырого бензола

Один из отходов коксохимического производства-фусы, получаемые в процессе очистки каменноугольных смол. В состав фусов входят жидкая каменноугольная смола и твердые включения угольных частиц. Размер твердой фазы фусов 0,1-5 мм. Плотность фусов при температуре 20^oC - 1,3-1,4 г/$см^3$.

На основе фусов возможно приготовление материалов для защитных покрытий бетонных, железобетонных и металлических изделий. Такие покрытия получают при растворении фусов в уайт-спирите, растворителях Р-4 и др. с добавлением поливинилхлоридной смолы и последующем отстаивании в течение около получаса.

Рекомендованы следующие составы защитных покрытий, % по массе: 1: фусы 35-70, растворитель 30-65; 2: фусы 30-75; поливинилхлоридная смола 3-5; растворитель 22-65.Защитные покрытия можно наносить кистью или окунанием изделий.

Разработанные покрытия обладают хорошей адгезией к бетону и металлу, устойчивой гидрофобностью, высокой прочностью и водостойкостью. Стоимость покрытий по сравнению с существующими (например, на основе каменноугольного пека), меньше на 10-20%, а время полного высыхания сокращается в 2 раза. Сплошность защитного покрытия на основе фусов достигается при 3-слойном нанесении состава, а покрытия на основе пека-при 6-слойном нанесении.

Проведенные на Криворожском коксохимическом заводе испытания показали, что защитные покрытия на основе фусов отвечает требованиями, предъявляемым к гидроизоляционными покрытиями. При этом не только снижается стоимость покрытия, но и возможна полная утилизация отходов.

Другим отходом коксохимического производства является кубовые остатки ректификации сырого бензола. Исследована возможность их использования в качестве составного компонента совмещенного связующего на основе фурфуролацетонового мономера (мономер ФА). Кубовые остатки содержат 25-30% стиролинденовых сополимеров, а также тройных сополимеров с метилстиролом, диметилинденом и кумароном. Они представляют собой жидкость темно-коричневого цвета плотностью 1,067 г/см^3, с вязкостью по вискозиметру ВЗ-4 при температуре 202 ^{o}С. Ввод в

состав мономера ФА добавки кубовых остатков увеличивает относительное удлинение образцов при разрыве при практически неизменной прочности на растяжение. Оптимальное количество добавок составляет 50% от массы мономера ФА. На основе совмещенного связующего установлены оптимальные составы полимербетона из боя огнеупорной керамики, % по массе: щебень 40-42; песок 30-31; минеральная мука 15,3-16,5; мономер ФА 6-12; кубовые остатки 3-4; отвердитель-беносульфокислота 1,5-2,7.

Бетоны на основе остатков характеризуются такими физико-механическими свойствами: плотность 1800-1820 кг/м^3, предел прочности при: сжатии 67,7-68,2; изгибе 19,2-21,2; растяжении 7-7,1 МПа; модуль упругости 19300-19500 МПа, теплопроводность 0,732-0,754 Вт/м·К, удельная теплоемкость 0,607-0,614 кДж/(кг·К). Полимербетоны с использованием фусов обладают коррозионной устойчивостью в растворах серной и соляной кислот, а также в сернокислотном травильном растворе, содержащем 20-22% серной кислоты, при температуре 95^{o}С. Их можно применять для изготовления травильных емкостей, резервуаров для цехов ректификации коксохимических заводов.

Коксохимические заводы выбрасывают в отвалы в больших количествах наряду с фусами и кислую смолку, получаемую при переработке сырого бензола.

Кислая смолка – вязкая жидкость темно-коричневого цвета, растворима в теплой (30-40^{o}С) воде. По химическому составу – это смесь смолистых веществ (продуктов окисления на воздухе непредельных углеводородов), способных полимеризоваться при 120-140^{o}С. Ее плотность 1,08-1,2 г/см^3, содержание свободной серной кислоты 10-30%, содержание бензольных углеводородов 25-40%, полимеров 40-60%.

Исследования показали, что кислая смолка является хорошим интенсификатором помола. Тонкость помола, в частности,

шлакопортландцемента повышается на 19%. При введении в состав цемента всех исследованных отходов водопотребность цементного теста возрастает, а сроки схватывания замедляются.

При твердении цементного камня в воде и в воздушно-влажных условиях добавки оптимальных количеств кислой смолки (0,5-1%) могут быть рекомендованы в качестве активизатора твердения цемента в ранние сроки. Как показали опыты, прочность цементного камня увеличивается через 7 суток на 18-37%, в 28-суточном возрасте значения прочности приближается к контрольным показателем или превышают их на 8-10%.

Кислая смолка – активная вспучивающая добавка, так как содержит не менее 50% углеродистого вещества. Экспериментальная проверка показала, что ввод 1-3% кислой смолки в керамзитовую массу позволяет получить керамзит класса А плотностью 250-450 кг/м^3 по пределу прочности на сжатие (табл.35). Использование кислой смолки взамен солярового масла обеспечивало его экономию только по заводу керамзитового гравия ПО Запорожстройматериалы не менее 1,5 тыс.т в год. Из данных табл.35 видно, что кислая смолка не только органическая, но и химически активная добавка.

Содержащаяся в ней серная кислота не приводит к увеличению содержания SO_3 в керамзите сверх нормативных требований.

Применение кислой смолки в производстве керамзита в зависимости от ее состава требует конкретного уточнения ее коррозионного действия на металлооборудования, а также влияния на санитарные условия труда.

Доказана возможность изготовления из кислой смолки после ее нейтрализации дорожных дегтей. Свойства такой нейтрализованной смолки близки к свойствам дорожного каменно-угольного дегтя марок Д-4, Д-5, Д-6. Эффективно введение в нейтрализованную смолку 15-25% жидкого битума. Битум на таком вяжущем при +50 ^{o}C обладает прочностью 1,5-1,6 МПа, при

+20^{o}C-3,5-4 МПа, коэффициентом теплостойкости 2,25-2,45 и водостойкости 0,82-0,83.

Влияние кислой смолки на показатели качества керамзита

Таблица-35

Добавки, %	Коэффициент вспучивании	Насыпная плотность, кг/м^3	Коэффициент деформативности зерен	Водопоглоще-ние в течение 1ч, %	Механическая прочность на сжатие, МПа
Кислая смолка:					
1,0	5,5	440	1,36	23,6	2,1
1,5	5,7	410	1,38	23,9	2,08
2,0	6,0	390	1,22	24,1	1,6
2,5	6,3	330	1,26	24,6	1,28
3,0	6,8	238	1,20	24,9	0,67
Соляровое масло:					
3,0	4,46	495	1,18	19,35	2,51

Использование отходов нефтехимии для производства керамзита

Более 80% керамзитовых предприятий корректируют состав шихты введением в нее различных добавок или опудривают сырцовые гранулы минеральными порошками.

По технологическому назначению добавки подразделяются на улучшающие свойства керамзита (снижающие среднюю плотность и повышающие прочность) и расширяющие интервал вспучивания. Наряду с решением основных задач в ряде случаев при введении добавок улучшаются свойства сырца и снижается оптимальная температура вспучивания.

Эффективная добавка в шихту при производстве керамзита – отработанная глина контактной очистки масел. Количество органических веществ в ней составляет 35-40%.

Исследования показали, что при содержании в шихте 0,5-1% (в пересчете на органическое вещество)органо- минеральных добавок - отходов нефтепереработки – средняя плотность зерен керамзита в куске снижается с 0,95 до 0,5 г/см^3. На основе этого сырья в промышленных условиях устойчиво получается заполнитель марок 450-500. Использование органо-минеральных продуктов – отхода катализаторного производства и отработанной глины – позволяет также повысить прочность керамзита за счет формирования более равномерной мелкопористой структуры.

Смеси из попутных продуктов заводов нефтепереработки совместно с пиритными огарками позволяют получить органо-железистые добавки с целью снижения температуры вспучивания и уменьшения средней плотности керамзита.

Большинство добавок не требует специальной подготовки перед использованием. Отработанную глину контактной очистки масел и искусственные органо- минеральные композиции рекомендуется вводить в состав шихт в виде суспензий в количестве 1,2-2,5% в пересчете на сухую массу.

Часто заводы керамзитового гравия работают на суглинистом сырье, обладающем слабой способностью вспучиваться (коэффициент вспучивания 1,8-2) интервале температур 1160-1180^{o}С, что затрудняет процесс обжига и получения керамзита, отвечающего требованиям стандарта. В качестве добавок, активизирующих вспучивание суглинков, исследованы отработанная глина контактной очистки масел, отход катализаторного производства, отработанный катализатор. Первые два вида добавок представлены органо-минеральными продуктами с различной степенью насыщения органическими веществами (15-

40% по массе). Минеральная часть отхода катализаторного производства включает алюмосиликаты и алюмоферриты, а обработанной глины – пластичное глинистое вещество, активизированное в процессе термообработки. Обработанный катализатор – огнеупорной порошок – применялся в качестве опудривателя; а органо-минеральные добавки вводились в шихту. Отход катализаторного производства применяли в мелкозернистом состоянии, из отработанной глины готовили водную суспензию при соотношении глины к воде, равном 3:2, что обеспечивает равномерное распределение добавки в формовочной массе.

Ввод органо-минеральных добавок в суглинки способствует увеличению пластичности масс на 3-4 единицы и снижению формовочной влажности на 2-3%. Выгорание органических включений происходит в интервале температур 400-800^{o}C, что обусловливает создание восстановительной среды, обязательной в этот период обжига. При оптимальной температуре вспучивания 1180^{o}C и содержании в шихте 0,5-1% по массе органических веществ средняя плотность керамзита снижается с 0,9-1 до 0,48-0,57 г/см^{3}, коэффициент вспучивания возрастает до 3-3,4.

Технология производства керамзита с добавками проверена на Омском заводе керамзитобетонных изделий. Шихту перерабатывали по пластической

схеме производства. Сырцовые гранулы обжигали в однобарабанной вращающейся печи. Для них характерно высокое содержание мельчайших пор радиусом 0,2-0,5 мкм. Благодаря однородной пористости прочность их при раскалывании увеличилась на 20-35% в сравнении с контрольным материалом. Качественно изменился характер пористости керамзитового гравия. Эффективный радиус пор составил 0,1-0,19 мкм, в то время как у контрольных гранул без добавок он достигал 1 мкм. Мелкопористая однородная структура керамзитового гравия является оптимальной и обеспечивает повышение прочности.

Наиболее эффективной добавкой оказалась отработанная глина. При ее введении получен керамзит фракции 5-10 мм и смеси фракций 5-10 и 10-20 мм высшей категории качества (табл.36) замкнутая мелкопористая структура керамзита способствует низкому водопоглощению при высокой общей пористости материала.

Снижение себестоимости керамзитового гравия с учетом транспортирования, хранения и специального приготовления добавок на керамзитовых заводах составляет 10-15%.

Влияние органо-минеральных добавок на свойства керамзита

Таблица-36

Свойства керамзитового гравия (фракции 10-20 мм)	**Показатели свойств гравия**		
	Без добавок	**С добавкой отработанной глины**	**С добавкой отхода катализаторного производства**
Насыпная плотность, кг/м^3	600	410	450
Прочность при испытании в цилиндре, МПа	2,51	2,08	1,89
Водопоглощение, %	19	15,1	18

Из рекомендованных сырьевых смесей, включающих попутные продукты нефтехимии, на ряде предприятий Омска, Братска, Новокузнецка выпущены опытно-промышленные партии керамзита. Достигнуто снижение средней плотности керамзита с 550-700 до 410-550 кг/м^3, а в ряде случаев одновременно

и повышение прочности на 10-15%. На 20-24% снижен расход основного сырья, на 15-17% расход топлива на 1 $м^3$ заполнителя, на 10-15% повышена производительность обжиговых агрегатов.

Экономический эффект от внедрения корректирующих вспучивающих добавок составляет 0,7-0,98 руб./$м^3$ керамзита. В комплексе с опудриванием он возрастает до 1,3-1,5 руб.

Нефтеперегонные заводы располагают отходами от первичной очистки нефти – нефтешламами, которые представляют собой эмульсию с содержанием до 40-60% нефтепродуктов, 35-50% воды и 2-20% механических примесей. Их можно использовать в качестве выгорающей добавки при получении керамзитового гравия, кирпича и керамических плиток, а также в качестве дополнительного технологического топлива для вращающихся клинкерообжигательных печей цементного производства. Перед использованием шлам обезвоживают отстаиванием в емкостях. С использованием нефтешлама можно получить керамзитовый гравий плотностью 540-500 кг/$м^3$ (смесь фракций 5-10 и 10-20 мм), который по прочности удовлетворяет первой категории качества. Вследствие более низкой стоимости нефтешлама, в сравнении с другими видами добавок экономическая эффективность от его применения составляет 0,3-0,4 руб./$м^3$ керамзитового гравия.

Изучено влияние нефтешламов отхода Херсонского нефтеперерабатывающего завода в качестве вспучивающих добавок в глинистое сырье. На Запорожском заводе стеновых материалов получен керамзитовый гравий марок 450-500 по прочности, соответствующий первой и высшей категории качества. По своим качественным показателям гравий, полученный с использованием нефтешлама, не уступает керамзиту с добавкой солярового масла.Расширение области использования нефтешламов приведут к значительной экономии топлива.

ГЛАВА 6.МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

6.1. Общая характеристика отходов

Ежегодно из земли извлекается около 100 млрд.т различного минерального сырья. После выделения из него наиболее ценных компонентов большая его часть поступает в отвалы.

В процессе добычи и переработки железных руд, цветных металлов, химического сырья, каменного угля и горючих сланцев получают побочные продукты двух типов: в виде вскрышных и других пустых пород, добываемых при ведении горных работ, и отходов горно-обогатительных комбинатов. По ориентировочным подсчетам в СНГ ежегодно образуется до 3 млрд. т. только вскрышных пород, представляющих ценное сырье для промышленности строительных материалов. Наибольшее количество попутно добываемых пород и отходов обогащения связано с добычей и переработкой железных руд. Только в Криворожском бассейне ежегодный выход попутно извлекаемых пород составляет около 50 млн. $м^3$. На железорудных предприятиях объем удаляемых пустых пород достигает 400 млн. $м^3$, в том числе скальных пород более 70%. Кроме того, отходы после обогащения руды составляют более 200 млн. т.

Рациональная область применения побочных продуктов горно-добывающих предприятий – это промышленность нерудных строительных материалов. Достигаемый экономический эффект обусловлен экономией капитальных вложений на производство нерудных материалов, сокращением объемов отвалов и затрат на транспортировку отходов, ликвидацией потерь в народном хозяйстве, связанных с отчуждением земельных угодий под отвалы и последующей их рекультивацией.

Для производства нерудных строительных материалов пригодны: попутно добываемые породы, сухие и мокрые отходы обогащения при добыче

и переработке железных руд, флюсов и огнеупоров, цветных металлов; отходы обогащения в тяжелых суспензиях горючих сланцев; высевки при производстве строительного щебня из изверженных, метаморфических и осадочных пород; попутно добываемые породы и отходы обогащения при производстве асбеста и другие.

При добыче железных руд бурый железняк, содержащий 35-55% железа обычно в виде лимонита $2Fe_2O_3+3H_2O$, обогащают промыванием водой. Мелкие частицы песка удаляют с помощью специальных барабанов и отсадочных машин.

Магнитный железняк содержит 50-72,5% железа в виде магнетита Fe_3O_4. Его обогащают электромагнитным способом в сепараторах. Если руда содержит крупные и средние вкрапления магнетита, те ее дробят до кусков диаметром 25-30 мм и подвергают сухой магнитной сепарации в специальных полых барабанах, вращающихся вокруг осей с электромагнитами. Магнетит, притягиваясь к поверхности барабана, отделяется от пустой породы.

Магнитный железняк с мелкими вкраплениями измельчают до частиц диаметром около 3 мм и направляют на мокрую магнитную сепарацию, где хвосты уносятся струей воды.

Побочными продуктами добычи железных руд являются кварцитовые и близкие к ним породы, наличие которых в общем объеме разработок полезных ископаемых достигает 50%.

Железистые кварциты преимущественно состоят из оксидов железа и кремнезема. Непригодные для обогащения железистые кварциты и другие скальные породы вывозятся в отвалы. Однако из них можно изготавливать крупный заполнитель для особо тяжелого бетона, а также балластный материал для железнодорожного строительства.

Гранулометрический состав отвальных железистых кварцитов и других скальных пород колеблется в широких пределах. Истинная плотность их обычно составляет 2,8-4,6 г/см^3, средняя плотность 2600-4100 кг/м^3, водопоглощение 0,2-8%, морозостойкость достигает 200 циклов.

По химическому составу отходы горнообогатительных комбинатов можно разделить на три группы, %: кварцевые (SiO_2).силикатные (SiO_2.Fe_2O_3) и железистые (Fe_2O_3).Отходы последней группы получают при обогащении железистых кварцитов низкой степени метаморфизма. Из-за высокой дисперсности и плотности, составляющей 3000 кг/м^3, их не рекомендуют как заполнитель бетона. Кварцевые отходы образуются при обогащении железистых кварцитов средних степеней метаморфизма, а силикатные – высоких. Отходы этих групп практически не содержат глинистых минералов и имеют форму зерен, отличную от шарообразной, с шероховатой поверхностью.

Обогащенные кварцевые хвосты имеют среднюю плотность 1550-1900 кг/м^3, модуль крупности их обычно равен 1,5-2.

Значительная часть перерабатываемой горной породы направляется в отвалы в виде кварцево-железистых шламов. Эти отходы представляют собой тонкодисперсный порошок, содержащий 10-30% фракции крупнее 0,14 мм. В состав шламовых отходов предприятий, например Криворожского бассейна, входит 60-80% кварца и 13-18 железа. В небольших количествах входят оксиды алюминия, кальция, щелочных материалов, марганца и др. По гранулометрическому составу шламы близки к днепровскому речному песку, отличаясь от него несколько более высокими значениями пустотности, истинной и средней плотности.

Для использования шламов в бетонах эффективным является их фракционирование, осуществляемое с помощью гидравлических классификаторов. Работа таких классификаторов основана на различной скорости падения частиц разной массы в восходящем потоке воды.

Попутными продуктами добычи и переработки многих полезных ископаемых являются породы состоящие, в основном, из силикатов магния. К ним относятся разновидности серпентинов – антигориты, хризотилы и другие.

Наиболее значительный выход силикатов магния в виде отходов характерен для асбестовых обогатительных фабрик. При обогащении асбестосодержащих пород извлекается только около 8% сортового асбеста, а остальные 92% являются отходами. Наибольший интерес силикатно-магниевое сырье представляет для производства автоклавных материалов.

Для производства строительных материалов из вскрышных пород ценность представляет карбонатное и глинистое сырье. При открытой разработке железорудных месторождений карбонатное сырье чаще представлено маломергелистыми меловыми породами с содержанием 45-50% $CaCO_3$ и мергелистыми породами, содержащими 64-85% $CaCO_3$. Эти породы можно применять в производстве извести, цемента, минеральной ваты.

Область применения глинистых вскрышных пород разнообразна. В зависимости от физических свойств, химико-минералогического и вещественного составов глинистое сырье пригодно для производства керамических изделий, аглопорита, керамзита, цементного клинкера.

6.2. Нерудные материалы на основе железистых кварцитов и сопутствующих им пород

Различный химический состав, физические параметры и свойства отходов, образуемых при добыче и обогащении руд, обусловливают и разнообразие получаемых на их основе строительных материалов. Основным направлением утилизации этой группы отходов является производство нерудных материалов, прежде всего заполнителей бетонов и растворов, дорожно-строительных материалов, бутового камня и др.

Щебень.Железисто-кварцитовый щебень применяют для устройства подстилающих слоев и дорожного основания, а также в качестве крупного заполнителя цементных и асфальтовых дорожных бетонов. По своим физико-механическим свойствам железисто-кварцитовый щебень удовлетворяет требованиям к материалу для балластного слоя железнодорожных путей. Если пути оборудованы системой сигнализации, централизации и блокировки, то применение железисто-кварцитового щебня возможно только после исследования его магнитных свойств. Подобные исследования также необходимы при применении щебня из железистых кварцитов в гидротехническом бетоне повышенной морозостойкости.

Щебень из попутных пород при добыче железной руды получают на дробильно-сортировочных установках, а также с помощью сухой магнитной сепарации. Дробильно-сортировочная установка для получения щебня из железистых кварцитов действует по следующей схеме. Ступенчатое дробление некондиционной руды выполняется на конусных дробилках с последующим разделением на фракции 0-20 и 20-40 мм. Из первой фракции грохочением отделяют фракцию 0-5 мм, которую отправляют на обогатительную фабрику для переработки в концентрат, а фракция 5-20, 20-40 мм пропускают через магнитный сепаратор, где от щебня отделяется руда.

Из железистых безрудных кварцитов можно получать щебень с марками прочности М-1100-М-1200. При средней плотности кварцитов около 3100 кг/м^3 насыпная плотность щебня, различна и зависит от зернового состава и содержания железистых минералов. Для фракции 5-10 мм она составляет 1450-1700; для фракции 20-40мм1400-1600 кг/м^3. Железисто-кварцевой щебень по содержанию пылевидных и глинистых частиц, лещадных и игловатых зерен, водопоглощению отличается от гранитного. Его морозостойкость составляет 150-300 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Бетоны на железисто-кварцевом и гранитном щебнях близки по свойствам, но бетонам на железисто-кварцевом щебне свойственна более низкая истираемость.

Применение в строительстве щебня из отходов добыче и обогащения руд дает значительный технико-экономический эффект. Так использование щебня из кварцитовых пород Криворожского бассейна дает экономию на 1 $м^3$ 2-2,5 руб., а в условиях Курской магнитной аномалии экономический эффект составляет более 5 руб. на 1 $м^3$ продукции. Себестоимость же 1 $м^3$щебня из попутных пород примерно на 40% ниже себестоимости гранитного, что обеспечивается снижением трудовых и материальных затрат, необходимых на строительство и освоение специальных карьеров, выполнение буровзрывных, вскрышных и добычных работ, погрузку и транспортирование сырья, переработку и дробление горной массы, использованием существующих в основном производстве транспортных коммуникаций, сетей электроснабжения.

Песок. Почти половина общей массы железной руды при обогащении образует отходы (хвосты), представляющие собой кварцево-железистый песок, состоящий из частиц размером 0,14-0,63 мм. Наличие в составе этих отходов большого количества соединений железа обусловливает их более высокую плотность, чем природного песка.

Экспериментально разработана технология обогащения отходов, позволяющая получить искусственные пески, однородные по химико-минералогическому составу и качеству. Обогащенные и фракционированные отходы получают отделением глинистых и пылевидных частиц и зерен крупностью менее 0,14 мм и разделением на фракции. Они должны содержать не менее 55% кремнезема и не более 15% соединений железа.

Магнетит Fe_3O_4 и гематит Fe_2O_3, содержащиеся в железистых кварцитах, относятся к потенциально реакционноспособным. Поэтому возможность применения их в качестве заполнителей с такими минералами должна быть

установлена специальными исследованиями. Однако опыты показали, что образующийся в процессе твердения бетона аморфный гидроксид железа экранирует расположенные на поверхности заполнителей железосодержащие минералы, практически исключая их участие в дальнейшем синтезе новообразований. Об этом свидетельствует и отсутствие коррозионных явлений в конструкциях из бетона на заполнителях из железной руды.

Основным критерием при оценке качества мелкого заполнителя является его влияние на водопотребность смеси и прочность бетона. При одинаковым гранулометрическом составе водопотребность песка из отходов несколько больше, чем природного, что объясняется повышенной шероховатостью поверхности его зерен. Чем крупнее породообразующие зерна, т. е. выше степень метаморфизма породы, тем больше шероховатость и водопотребность крупных зерен песка. Однако с уменьшением размеров зерен кварцево-железистых песков до размеров породообразующих заполнители приобретают, в основном, мономинеральный состав, форму породообразующих минералов и гладкую поверхность, а их водопотребность аналогична зернам природного песка. С уменьшением модуля крупности природного песка и увеличением содержания в нем глинистых и илистых примесей возможно его замена на искусственный, аналогичного гранулометрического состава.

Целесообразно применение мелкозернистых отходов в качестве заполнителей песчаного бетона, так как предел прочности при сжатии, модуль упругости, сцепление с арматурой, водопроницаемость и морозостойкость такого бетона выше, чем бетона на природном песке. Использование кварцево-железистых песков в качестве мелкого заполнителя увеличивает среднюю плотность песчаного бетона на 100-250 кг/м^3, а обычного на 50-100 кг/м^3.

Железистые минералы улучшают при нормальном твердении адгезионные свойства поверхности заполнителей, поэтому кварцево-железистые пески эффективнее использовать в бетонах, твердеющих в

естественных условиях. В бетонах с крупным заполнителем адгезионные свойства мелкого заполнителя мало влияют на прочность бетона. Однако с увеличением его удельной поверхности повышается водопотребность бетонной смеси и ухудшается сцепление раствора с крупным заполнителем. В связи с этим замена в крупнозернистых бетонах местного природного песка искусственным возможна только при меньшей водопотребности последнего или при соответствующем экономическом обосновании.

При одинаковых исходных условиях введение различных добавок (ПАВ и др.) продуктивнее в мелкозернистую бетонную смесь на искусственном песке, чем на природном, так как существенно улучшает ее удобоукладываемость. Однако при этом уменьшается прочность бетона, что объясняется ухудшением адгезионной способности железосодержащих минералов. Поэтому более эффективны добавки суперпластификаторов.

В качестве строительного песка применяют также отсевы, получаемые при дроблении на щебень кварцитовых пород.

Отходами горно-обогатительных комбинатов можно полностью заменить обычные кондиционные заполнители в тяжелом бетоне и обеспечить достижение его проектных свойств без перерасхода цемента. Негативные особенности бетонных смесей на мелком заполнителе из отходов обогащения руд, например, пониженную пластичность и водоудерживающую способность, можно ликвидировать введением пластифицирующих поверхностно-активных веществ.

Остроугольная форма и рельефная поверхность зерен обеспечивает более высокое сцепление искусственных песков, чем речных. Так, исследованиями установлено, что прочность бетонов при неизменных составах на мелких заполнителях из отходов обогащения Криворожских горно-обогатительных комбинатов на 20% выше прочности бетона, приготовленного на днепровском песке. Бетоны на искусственных песках имеют также пониженную

деформативность. Например, в условиях Криворожского бассейна фракционированные отходы горно-обогатительных комбинатов в 6-10 раз дешевле привозного песка. При их применении себестоимость 1 $м^3$ железобетонных изделий снижается на 10%.

Попутные продукты, получаемые при обогащении руд, могут полностью заменить также кварцевый песок в строительных растворах. Они особенно эффективны в штукатурных растворах, где нежелательно присутствие частиц заполнителя крупнее 2,5 мм. Высокая плотность некоторых составов таких растворов позволяет применять их в рентгенозащитных штукатурках.

В строительных растворах также применяются шламы обогащения железной руды. Растворы с заполнителем из шламов, благодаря остроугольной форме и повышенной шероховатости зерен, обладают более высокой прочностью, чем растворы на мелких песках. Увеличение прочности компенсирует возможное увеличение расхода цемента при замене кварцевого песка отходами обогащения. Средняя плотность растворов на заполнителях из шламов обогащения примерно на 22% больше средней плотности растворов на кварцевом песке.

На основе мелких фракций шламов обогащения железной руды совместно с молотым гранулированным шлаком может быть получено бесклинкерное вяжущее. Оптимальное содержание молотого гранулированного шлака в нем составляет 40-60% и зависит от минералогического состава кварцитовых отходов и шлака. Активность шлакошламового вяжущего при нормальном твердении через 28 суток достигает 10 МПа и более. Из него можно изготавливать строительные растворы для закладки горных выработок при добыче руды. Это вяжущее можно также применять в дорожном строительстве и для укрепления отходов обогащения при сухом их складировании.

6.3. Автоклавные материалы

Попутно добываемые породы и отходы обогащения горнорудной и других отраслей промышленности могут быть широко использованы в производстве автоклавных строительных материалов. Исследования, проведенные в последние годы, показали, что для производства автоклавных строительных материалов целесообразно использовать не только кварцевые пески, но и супеси, суглинки, лессы, некоторые виды глин, полевошпатовые и глинистые пески, ряд других горных пород.

Перспективным источником сырья для предприятий по производству автоклавных строительных материалов служат отходы обогащения железных и других руд. Хотя эти породы имеют, как правило, меньшее содержание кремнезема, чем природные кварцевые пески из-за низкого содержания глинистых частиц и слюды, а также ввиду реакционной способности оксидов металлов, они пригодны для получения силикатного кирпича, ячеистых бетонов и других автоклавных материалов.

По предварительной оценке, отходы обогащения руд можно считать пригодными в качестве активного заполнителя силикатного кирпича при содержании SiO_2 не менее 50%. Для приготовления ячеистых бетонов в качестве кремнеземистого компонента применяют тонкодисперсные отходы обогащения руд, содержащие не менее 60% SiO_2, железистых минералов – не более 20%, сернистых соединений в пересчете на SO_3 – не более 2%, пылевидных глинистых частиц – не более 3%, слюды – не более 0,5%. Удельная поверхность отходов обогащения руд в шламе для ячеистого бетона должна быть 1500-2000; 2000-2300; 2300-2700 и 2700-3000 $см^2/г$, при средней плотности бетона соответственно 800, 700, 600 и 500 $кг/м^3$.

Установлено, что зависимость прочности при сжатии ячеистых бетонов от концентрации отходов обогащения железистых кварцитов проходит через максимум при замене 50-60% песка. Это позволяет снизить среднюю плотность

ячеистого бетона, например, с 700 до 600 кг/м^3 при сохранении класса по прочности. При увеличении содержания отходов обогащения в кремнеземистом компоненте свыше 60% наблюдается снижение прочности ячеистого бетона и возрастание плотности, несмотря на увеличение количества газообразователя. Ячеистые бетоны неоптимального состава имеют также и худшие коррозионно-защитные свойства.

Значительно снизить затраты на помол, упростить технологию производства изделий и уменьшить их стоимость позволяет использование отходов обогащения, удаленных из обогатительных фабрик в виде тонкодисперсных шламов. Так, при применении такого шлама изготавливаются панели из автоклавного газошламосиликата с пределом прочности при сжатии до 7 МПа и средней плотностью 900 кг/м^3.

Ячеистая смесь приготовляется в передвижной самоходной газобетономешалке. Применяется смешанное вяжущее – молотая негашеная известь с цементом. В газобетономешалке последовательно перемешиваются отдозированные количества шлама, воды, извести и цемента. Алюминиевая пудра предварительно перемешивается с поверхностно-активными веществами в пропеллерной мешалке и подается в газобетономешалку в виде суспензии. На посту разлива газошламосиликатной смесью заполняют предварительно очищенные и смазанные формы на ¾ их объема, куда укладываются арматурные каркасы с антикоррозионным покрытием.

Вспучивание смеси продолжается около 30 мин. После 2 часовой выдержки формы переносятся на машину для срезки горбушки, затем на вагонетки и с помощью электропередаточного моста загружаются в автоклав. После автоклавной обработки производятся разгрузка автоклава и распалубка изделий.

Для производства строительных материалов приемлемы отходы добычи и обогащения не только железных, но и других руд. В Ленинградском

инженерно-строительном институте разработана технология изготовления разнообразных строительных материалов на основе титано-магнетитовых пород. В тонкоизмельченном состоянии эти породы обладают слабой гидравлической активностью, а после автоклавной обработки из них можно получить изделия высокой прочности. На основе отходов обогащения титано-магнетитовых руд в композиции с известью получены вяжущие с прочностью на сжатие при воздушном хранении 7-10 МПа, а после запаривания 30-35 МПа, автоклавный газобетон со средней плотностью 600-1000 кг/м^3 и прочностью 6,5-10,5 МПа.

В Киевском инженерно-строительном институте установлена возможность применения для производства многих видов местных строительных материалов отходов, образуемых при флотации алунитовых руд. Их целесообразно использовать в качестве мелкозернистой добавки к шихте при производстве силикатного кирпича, а также некоторых других строительных материалов.

Разработана технология получения автоклавных материалов типа асбестоцемента из асбестовых отходов. Термически обработанные при 700-900 ^{o}C отходы асбестовых обогатительных фабрик частично или полностью заменяют в таких материалах портландцемент. Для получения изделий асбестовые отходы после обжига и помола до остатка на сите №008 не более 10% смешивают с предварительно распушенным асбестом и водой. Из полученной пульпы формуются и раскраиваются листы, поступающие затем на автоклавную обработку. Прочность на изгиб прессованных изделий через 1 сут достигает 23,4 МПа, а через год-31 МПа при средней плотности 1600-1800 кг/м^3 и водопоглощении 16-24%. Особенностями материала из асбестовых отходов являются высокая коррозионная стойкость и жаропрочность.

ГЛАВА7. ПРИМЕНЕНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ И ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

7.1. Общая характеристика

Объем горных работ на рудниках и карьерах, где добываются нерудные и неметаллорудные материалы, сырье для цементной и известковой промышленности, составляет около 2,3 млрд.т в год. Почти третья часть его (700-800 млн.т) приходится на долю вскрышных и попутно добываемых пород. Только при производстве нерудных строительных материалов отходы составляют 300-350 млн. т. в год.

При добыче облицовочного камня, переработке на щебень горных пород, обогащении асбеста, производстве извести образуется отходы в виде отсевов, каменной муки, негабарита. Многообразие видов горных пород, их состава, технологических особенностей получения основных продуктов обусловливает и многообразие качественных характеристик отходов нерудных строительных материалов.

Наиболее массовым отходами является отсевы (высевки), образуемые при производстве строительного щебня и представляющие собой песчано-щебеночную смесь с максимальной крупностью щебня 10 мм и содержанием примесей до 10-25%. При производстве щебня из природного камня объем отсевов дробления изверженных пород составляет около 18%.

В СНГ имеются большие залежи природных пористых горных пород (туф, известняк, ракушечник) и рыхлые породы вулканического происхождения (пемза, пепел и др.). Сплошные массивные горные породы используют для производства стенового пильного камня или облицовочных плит. При современном уровне их производства в объеме около 20млн. $м^3$ отходы от их добычи позволяют получить ежегодно до 60 млн. $м^3$ пористого щебня и песка.

При добыче пильного камня технологическими отходами является каменные опилки с фракцией 0-5 мм, куски различной величины и негабаритный камень. Количество отходов может превышать 50% объема разрабатываемого пласта.

Исследования, выполненные в нашей стране и за рубежом, показали, что в качестве заполнителя можно использовать дробленый, бывший в употреблении бетон или бетон некондиционных изделий. Бетон на таких заполнителях характеризуется высокими техническими свойствами и имеет низкую стоимость. Применение дробленого бетона позволяет утилизировать отходы промышленности сборного железобетона и неизбежные отходы на строительной площадке, рационально использовать отслуживший бетон.

Цементная пыль в производстве цемента появляется в результате переработки тонкодисперсных минеральных материалов. Общее количество улавливаемой пыли на цементных заводах составляет до 30% всего объема выпускаемой продукции. До 80% всего количества пыли выбрасывается с газами из клинкерообжиговых печей. Пыль, выносимая из печей, является полидисперсным порошком, содержащим при мокром способе производства 40-70, а при сухом до 80% фракций размером менее 20 мкм. Минералогическими исследованиями определено, что в составе пыли содержится до 20% клинкерных минералов; из них двухкальциевого силиката β и γ модификаций 8-10, двухкальциевого феррита и 4 кальциевого алюмоферрита 10-12, свободного оксида кальция 2-14, щелочей 1-8%. Основная масса пыли состоит из смеси обожженной глины и неразложившегося известняка. Состав пыли существенно зависит от типа печей, вида и свойства применяемого сырья, а также способа улавливания.

Наиболее дисперсная и высокощелочная пыль осаждается в электрофильтрах. Удельная поверхность пыли в электрофильтрах достигает 5000-8000 $см^2/г$, а пыли в осадительных камерах 1000-4000 $см^2/г$, что зависит от

природы обжигаемого сырья и режима обжига, в частности, температуры и скорости газового потока. Содержание щелочных оксидов в пыли, уловленной электрофильтрами, колеблется от 3 до 25%.

Асбестоцементные отходы подразделяются на сухие и мокрые: к первым относятся бой асбестоцементных изделий, обрезки листов и труб, стружка от механической обработки труб; ко вторым – осадки в водоочистительных аппаратах.

Состав сухих отходов такой же, как у асбестоцементных изделий. Мокрые отходы в основном состоят из гидратированных и карбонизированных зерен цемента с примесью мелких волокон асбеста. При большом водосодержании они приобретают свойства пульпы, а при растирании и перемешивании образуют пластичное тесто. Средняя плотность этого вида отхода в высушенном состоянии 250-300 кг/м^3, теплопроводность 0,052-0,064 Вт/(м. ^{o}C).

На долю боя стекла приходится около 10% бытовых отходов. После сжигания бытового мусора в состав остатка входит до 50% стекла.

Значительные количества отходов в виде керамического боя образуются на керамических предприятиях и строительных площадках. На керамических предприятиях, использующих твердое топливо, в виде отходов в количестве до 10% на каждые 100 тыс. шт. кирпича образуются печные (очажные) остатки, состоящие из смеси топливной золы с небольшим содержанием несгоревшего угля и керамической мелочи.

Отходы полимерных материалов можно разделить на три группы: технологические, производственного потребления пластмасс и общественного.

Технологические отходы образуются при синтезе полимеров и переработке пластмасс. На их долю приходится до 35% всего перерабатываемого полимерного сырья. По своим свойствам они не отличается

от исходных полимерных материалов и используются, как правило, на тех же предприятиях, где и образуются.

Отходы производственного потребления пластмасс накапливаются при выходе из эксплуатации полимерных материалов. В эту группу отходов входят амортизированные шины и резинотехнические изделия, тара и упаковка, детали машин, отходы сельскохозяйственной пленки, мешки из-под удобрений. Большая часть этих отходов может быть использована в качестве вторичного полимерного сырья.

Отходы общественного потребления пластмасс включают изношенные изделия домашнего обихода, тару пищевых продуктов, освободившуюся на предприятиях общественного питания, и т. д. они составляют более 50% всей массы пластмассовых отходов и сосредоточиваются, в конечном счете, на городских свалках. Доля их в твердых бытовых отходах достигает 5% и более. Отходы общественного потребления пластмасс являются смешанными, для их переработки и использования требуется разделение различных полимерных материалов.

Расходы на уничтожение пластмассовых отходов в 6-8 раз превышают расходы на переработку и применение промышленных отходов.

7.2. Материалы из побочных продуктов производства нерудных строительных материалов, дробленого бетона и отходов камнепиления

Вид материалов, изготавливаемых из отходов производства нерудных строительных материалов, обусловлен их физико-механическими свойствами, составом, особенностями основного технологического процесса и технико-экономическими факторами.

Основная масса отходов производства нерудных материалов пригодна для переработки на щебень, песок, каменную муку. Эксплуатационные расходы на получение из отходов, например щебня, в 2-2,5 раза ниже, чем в

специализированных карьерах, а удельные капиталовложения при этом составляет 3-5 руб. на 1 $м^3$ щебня.

При разработке современных технологических схем производства каменных материалов предусматривают ряд дополнительных операций по сортировке, очистке, а при необходимости, измельчению отходов.

Отходы очищаются сухим или мокрым способами. Сухой способ основан на измельчении примесей ударом или истиранием в среде холодных или горячих газов и последующем их отделении от каменного материала грохочением, пневматическими методами и т. д.

Мокрый способ предусматривает отделение примесей мокрым грохочением на конечных стадиях производства. Мокрое грохочение рационально для устранения легкоотделяемых примесей. При этом с помощью специальных классификаторов из отходов можно выделять чистые фракции песка.

Промывка отходов дробления с загрязненностью свыше 10% в обычных промывочных устройствах корытного типа малоэффективна. Продуктивным методом промывки является виброакустический метод, основанный на максимальной концентрации энергии для дезинтеграции глинистых пород при совмещении низкочастотного вибрационного и акустического воздействий. В качестве источников виброакустичесого воздействия используют низкочастотные гидроакустические средства. При средней загрязненности исходного сырья 12,45% виброакустическая установка уменьшает загрязненность продукции до 0,6%. В то время, как при загрязненность сырья в 2,7%, корытная мойка позволяет уменьшать загрязненность продукции лишь до 0,76%. Применение виброакустических установок дает возможность перерабатывать отходы с загрязненностью до 40% и выше.

Разработаны и успешно опробованы в промышленности промывочные машины струйного типа и вибровакуумобезвоживающие установки. Последние за счет вакуум-отсоса, дополняющего обычное виброобезвоживание, снижают конечную влажность продукта до 11-13%, что позволяет его транспортировать конвейерным транспортом.

Отсевы дробления значительно отличаются по форме и характеру поверхности зерен, минеральному и зерновому составам (по сравнению с природными песками) и имеют более высокие значения водопотребности и пустотности, что затрудняет их использование в бетонах.

Водопотребность песка из отсевов изменяется в пределах 9-18% (чаще 13,5-15,5) и зависит от зернового состава, формы зерен, содержания пылевидных и глинистых частиц.

Пустотность отсевов дробления, состоящих преимущественно из крупных фракций, изменяется в пределах 40-50%, т.е. значительно превышает пустотность природных песков (35-40%). Снижение пустотности отсевов может быть достигнуто при совместном использовании в качестве мелкого заполнителя бетона отсевов и мелких (или очень мелких) природных песков.

Сравнительные испытания на прочность при изгибе и растяжении, на водонепроницаемость и морозостойкость показали, что свойства бетонов с использованием обогащенных отсевов дробления изверженных пород те же, что и у бетонов на природных песках.

Для получения искусственных (вторичных) заполнителей из некондиционного бетона последний подвергают дроблению и фракционированию.

Установлено, что применение крупных заполнителей из дробленого бетона класса В20-В40 позволяет получить бетон той же прочности или незначительно (на 5-10%) ниже прочности бетона на природных заполнителях.

С уменьшением крупности вторичного заполнителя (до 3-10 мм) при прочих равных условиях прочность существенно снижается. Наибольшее снижение прочности характерно для бетона на вторичном известняковом заполнителе (около 20%) и примерно вдвое меньше на гранитном.

При замене мелкого природного заполнителя (из кварцевого песка средней крупности) заполнителем из дробленого бетона (фракции

менее 3 мм) при В/Ц-0,65 прочность снижается в среднем на 20% для бетона на вторичном гранитом и на 24% для бетона на вторичном известняковом заполнителях. При этом существенно ухудшается удобоукладываемость бетонных смесей.

Использование вторичных заполнителей увеличивает деформативность бетона; она тем больше, чем меньше крупность заполнителя и прочность бетона, подвергаемого дроблению. Модуль упругости бетона на вторичных заполнителях снижается на 7-18% по сравнению с бетоном на природных заполнителях. Ухудшение прочностных свойств бетонов на заполнителях из

дробленного бетона и возрастание их деформативности под нагрузкой могут быть компенсированы введением в смесь добавок суперпластификаторов.

Положительный эффект достигается при использовании крупного заполнителя из дробленого бетона в сочетании с природным кварцевым песком.

Применение крупного заполнителя из дробленого бетона не уменьшает, а в некоторых случаях увеличивает морозостойкость. Это обусловлено высокой прочностью сцепления зерен этого заполнителя и цементного камня. Применение мелкого заполнителя из дробленого бетона приводит к снижению морозостойкости из-за его высокого водопоглащения и, как следствие, повышенной капиллярной пористости бетона.

Направления использования отходов, получаемых при добыче и обработке облицовочных материалов из природного камня, зависят от их крупности, физико-механических и технологических свойств.

Отходы, образующиеся при добыче блоков из гранита и других высокопрочных пород, используют для получения декоративного щебня и песка. Для переработки отходов в нерудные материалы можно использовать выпускаемые промышленностью передвижные дробильно-сортировочные установки.

Отходы производства каменных изделий из пористых горных пород применяют в качестве природных пористых заполнителей. Заполнители из известняков-ракушечников, туфов и пемзы используются в бетонных и железобетонных изделиях для гражданского и промышленного строительства. Замена в бетонах кварцевого или дробленого керамзитового песка пористым песком из отходов камнепиления снижает стоимость бетона, а в ряде случаев и его расход.

При дроблении отходов камнепиления разрушение происходит по наиболее слабым сечениям и контактам, крупным порам и микротрещинам, что меняет микро-и макроструктуру и улучшает свойства заполнителей, так как увеличивает их плотность, прочность и уменьшает неоднородность по сравнению с исходной горной породы. Щебень и песок, получаемые дроблением пористых пород, имеют угловатую форму, шероховатую и развитую поверхность, что обеспечивает их прочное сцепление с цементным камнем.

Гранулометрия пористых заполнителей из отходов камнепиления зависит от свойства исходной породы, вида дробильного оборудования, размеров отверстий сит. Наличие в пористых песках до 25% и более фракций менее 0,14 мм способствует улучшению удобоукладываемости, повышению плотности бетона. Однако увеличение количества таких фракций свыше 25%

нежелательно, так как приводит к повышению водопотребности легких бетонов и снижению их прочности. Особенностью заполнителей из отходов камнепиления карбонатных горных пород является их активное химическое взаимодействие с цементом.

Установлена эффективность выпуска мозаичных плит на основе отходов камнеобработки. Плиты изготавливают в металлических формах из мелких кусков камня на цементном растворе. При достижении ими 50-70% марочной прочности их шлифуют и полируют.

Разработана технология изготовления искусственных блоков на основе каменной крошки с последующей распиловкой их на отдельные плиты толщиной 20-30 мм. Декоративный эффект достигается использованием в качестве вяжущего белого портландцемента с наполнителем из каменной муки. Бетонная смесь заливается в блок-формы и уплотняется на виброплощадке. Для ускорения процесса твердения блоки пропаривают при обычных режимах до достижения ими 70-80% марочной прочности. Затем их распиливают на плиты и подвергают механической обработке (шлифовке). Качество мозаичных плит зависит от гранулометрического состава заполнителя.

Опыт предприятий Крымской области, разрабатывающих известняк-ракушечник для получения стенового штучного камня, показывает эффективность изготовления из отходов камнепиления ракушечно-бетонных блоков. Блоки формуются в горизонтальных металлических формах с откидными бортами. Дно формы покрывается раствором из ракушечника толщиной 12-15 мм для создания внутреннего фактурного слоя. Форма заполняется крупнопористым или мелкозернистым бетоном из ракушечника. Фактура внешней поверхности блоков создается с помощью специального раствора. Ракушечно-бетонные блоки применяют для кладки фундаментов и стен при строительстве производственных и жилых зданий.

Освоена технология получения из отходов производства пильных известняков эффективного стенового материала – цементно-карбонатного камня. По физико-техническим и архитектурным показателям такой камень не уступает естественному: предел прочности при сжатии 5-7,5 МПа; средняя плотность 1800 кг/м^3, размеры 190х190х188 мм. Оптимальный состав бетона, %: цемент М500-5, карбонатные отходы камнепиления 85, вода 10. При снижении марки цемента до М300 его расход возрастает до 160 кг/м^3.

Снизить расход цемента на 20-45% можно путем введения в состав заполнителя наряду с отходами камнепиления 20-30% золы.

Цементно-карбонатный камень изготавливают полусухим прессованием. В качестве основного оборудования используется пресс-полуавтомат, производительность которого 600-700 шт. в час (8,5-10 м^3/ч).

Карбонатные отходы загружаются в вибросито, откуда фракция менее 30 мм через дозатор поступает в смеситель. Туда же подают вяжущие и воду. Готовая смесь поступает в накопительный бункер пресса. Давление прессования 10-15 МПа, время 6-7с, влажность формовочной смеси 7-8%. Готовые камни поступает на склад, где в течение 7 сут при естественных тепловлажностных параметрах воздушной среды горных выработок (температура 12-14^{o}С, относительная влажность воздуха 80-90%) происходит твердение бетона.

Из карбонатных отходов карьеров по добыче известняков получают известь или используют их как добавку для повышения качества автоклавных силикатных изделий. Мелкие фракция ряда горных пород можно применять для производства плавленых материалов или в качестве отощителя керамических масс.

Отходы производства камнедробильных заводов, перерабатывающих базальты и другие излившиеся горные породы, можно применять для

получения глазурей и других плавленых материалов. Разработана технология производства стеклокристаллических базальтовых глазурей для фасадной строительной керамики, кислотостойких керамических изделий и электрофарфора. Базальтовые глазури могут заменять глазури на основе многокомпонентных шихт, включающих ряд дефицитных материалов: полевые шпаты, каолин, буру, соду, бариевые, стронциевые, циркониевые соединения.

Отсев базальтов, получаемый в производстве щебня, может служить железосодержащей корректирующей добавкой при обжиге клинкера. Содержание оксидов железа в базальтах составляет 15-17%. Поэтому его количество, вводимое в сырьевую смесь, в 2-3 раза выше, чем пиритных огарков. При этом из шихты вытесняется значительная часть глинистого компонента, что благоприятно сказывается на энергоемкости технологического процесса, так как при сухом способе не требуется высокая точность помола сырьевой смеси, а при мокром на 1,5-2,5% снижается влажность шлама.

Введение базальта во вращающуюся печь возможно в виде порошка при одновременной подаче молотой сырьевой смеси с повышенным коэффициентом насыщения, а также в виде двухкомпонентной немолотой смеси взамен части молотого сырья, что позволяет повысить производительность печи на 29,5%. Возможность обжига немолотых двух и трехкомпонентных сырьевых смесей с базальтом доказано испытаниями, проведенными на Днепродзержинском и Здолбуновском цементных заводах.

Температура обжига клинкера при замене глинистого компонента базальтовой породой снижается примерно на 70^{o}C, соответственно на 10% уменьшается расход топлива.

Клинкер из базальтсодержащей сырьевой смеси характеризуется высоким содержанием алюмоферритов кальция, что придает цементам ряд ценных свойств, таких как повышенная размалываемость, стойкость против сульфатной агрессии, пониженное тепловыделение и повышенная прочность при изгибе.

Испытания опытных цементов показали, что они удовлетворяют требованиям на тампонажные цементы как для горячих, так и для холодных скважин. Для них характерны незначительные деформации усадки и набухания, стойкость к воздействию переменного увлажнения и высыхания.

Из сырьевых смесей с базальтом можно получить и белитовые цементы, отличающиеся пониженной температурой обжига (1250-1300^{o}C).

Дополнительная активизация таких вяжущих происходит при введении в сырьевую смесь фосфогипса. При этом устраняется основной недостаток белитовых вяжущих – низкая прочность в ранние сроки твердения. Низкообжиговые белитовые цементы приобретает марочную прочность до 50 МПа.

7.3. Утилизация пыли цементного производства

Основным направлением утилизации пыли на цементных заводах является использование ее в самом процессе производства цемента. Пыль из пылеосадительных камер возвращается во вращающуюся печь вместе со шламом. Основное же количество пыли улавливается в электрофильтрах. Эта пыль имеет высокую дисперсность и содержит повышенное количество свободного оксида кальция, щелочей и серного ангидрита. Добавка 5-10% пыли к сырьевому шламу вызывает его коагуляцию и уменьшение текучести. При повышенном содержании в ней щелочных оксидов снижается качество клинкера.

Сейчас на цементных заводах с мокрым способом производства применяются различные способы возврата пыли в печь. Для предотвращения зарастания труб, замазывания цепей и образования шламовых колец пыль можно вводить в виде пульпы. Влажность шлама эффективно снижается за счет разжижителей.

В гранулированном и негранулированном виде пыль вводят за цепную завесу печи, устраняя ее отрицательное влияние на шлам. При беззольном топливе и относительно невысоком количестве пыли (8-10%) ее можно возвращать в печь вдуванием в зону спекания с горячего конца печи. На крупных заводах целесообразен обжиг всей уловленной пыли в отдельной вращающейся печи.

Пыль, уловленная электрофильтрами вращающихся печей, может служить основным компонентом различных смешанных вяжущих. Ее активизируют добавками портландцементного клинкера, гипса и доменных гранулированных шлаков. Для активного проявления вяжущих свойств в композициях пыли с гипсом, шлаком и другими добавками она должна содержать достаточное количество свободного оксида кальция и клинкерных минералов.

Компоненты, составляющие цементную пыль, гидратируются при запаривании и активно реагируют с кремнеземом, образуя гидросиликаты и гидроалюмосиликаты. Это позволяет частично или полностью заменить известь в производстве силикатных кирпича и бетонов, что значительно повышает их прочность. Применение цементной пыли эффективно и при изготовлении ячеистых силикатных бетонов. Для предотвращения неравномерности изменения объема силикатные материалы из смесей, содержащих цементную пыль, производят по гидратной схеме с принудительными гашением или с длительным вылеживанием пыли до полной гидратации оксида кальция.

Количество щелочных оксидов в пыли для производства вяжущих известково-шлакового и известково-пуццоланового типа должно составлять не более 2-4%. Высокощелочную пыль можно использовать как калийное удобрение и для получения электротехнического фосфора. Одним из наиболее рациональных направлений использования высокощелочной пыли является изготовление на ее основе шлакощелочных вяжущих.

Содержание щелочных оксидов в пыли разных заводов не одинаково. Они связаны в виде щелочных сульфатов, хлоридов и карбонатов. Количество щелочных соединений увеличивается с ростом дисперсности пыли. Наиболее высокими прочностными показателями обладают шлакощелочные вяжущие при соотношение основного доменного гранулированного шлака и щелочной пыли 3:1. При этом удельная поверхность шлака должна составлять около 3000, пыли до 9000 $см^2/г$ наибольшим активизирующим действием обладают щелочные карбонаты, наименьшим- сульфаты. Влияние щелочных карбонатов уменьшается с ростом содержания в пыли сульфата кальция.

Пылешлаковые вяжущие характеризуется следующим особенностями: рост их активности прямо пропорционален концентрации щелочей; обладает высокой прочностью на изгиб и низкой водопотребностью. На основе этих вяжущих можно получать бетоны с широким диапазоном марок по прочности, морозостойкости, обладающие высоким сцеплением с арматурой и надежно защищающие ее от коррозии. В бетонах на пылешлаковых вяжущих могут применяться как обычные, так и дисперсные заполнители.

Высокая дисперсность пыли позволяет использовать ее в качестве порошкообразного заполнителя асфальтовых бетонов. Минеральный порошок совместно с битумом образует асфальтовое вяжущие вещество, в значительной мере обусловливающее прочность асфальтовых бетонов, их плотность и теплоустойчивость. Качество пыли минерального порошка, снижается с увеличением содержания в ней водорастворимых соединений. Следует учитывать также высокую внутреннюю пористость цементной пыли, вызывающую ускоренное старение асфальтовых смесей и ухудшение их деформативной способности вследствие избирательной адсорбции масел и смол на внутренней поверхности пор.

7.4. Применение асбестоцементных отходов

Асбестоцементные отходы содержат большое количество гидратированных цементных минералов и асбеста. При обжиге они приобретают вяжущие свойства в результате обезвоживания гидратных составляющих цемента и асбеста. Оптимальная температура обжига 600-700^{o}C. В этом температурном диапазоне завершается дегидратация гидросиликатов, разлагается асбест и образуется ряд минералов, способных к гидравлическому твердению.

Вяжущее с выраженной активностью можно получить смешиванием термически обработанных асбестоцементных отходов с металлургическим шлаком и гипсом при содержании в нем асбестоцементных 40-50% отходов, 50-60% шлака и 5% гипса. Активность вяжущего при 28-суточном водном твердении достигает 20-25 МПа.

Из асбестоцементных отходов изготавливают облицовочные плитки и плитки для пола. Твердые сухие отходы дробят и тонко измельчают, а затем смешивают с портландцементом (15-20%) и увлажняют до 10-12%. Фактурный слой готовят в виде асбестоцементной пасты на основе белого или цветного портландцемента. Плитки размером 150х150 и 600х300 мм и толщиной 8 мм формуют в пресс-формах с подкладками из плексигласа или хромированной стали. Изделия из полусухой массы формуют при удельном давлении 1,5-2,5 МПа. Затвердевшие плитки имеют прочность на изгиб не менее 10 МПа и водопоглощение не более 22%.

Массу для формования плиток можно получить также смешиванием мокрых (70%) и молотых сухих (20%) асбестоцементных отходов с добавкой 10% портландцемента. Разработана технология формования плит из массы, содержащей 60-80% мокрых асбестоцементных отходов, 20-30% глины и 15-20% битума путем прессования их под давлением 1,5-2 МПа. Такие изделия

имеют среднюю плотность 350-410 кг/м^3, прочность на изгиб 0,06-0,15 МПа и на сжатие 0,12-0,31 МПа.

Облицовочные плитки средней плотностью 500-600 кг/м^3 и прочностью на изгиб 5 МПа и более получают прессованием асбестоцементных отходов с добавкой полимеров резольного типа (фенолформальдегидных, мочевино-формальдегидных).

Эффективным видом вяжущего в композициях из асбестоцементных отходов является жидкое стекло. Облицовочные плиты из смеси высушенных и измельченных в порошок асбестоцементных отходов (70-74%) и раствора жидкого стекла плотностью 1,1-1,15 г/см^3 (26-30%) получают при удельном давлении прессования 4-5 МПа. В сухом состоянии эти плиты имеют среднюю плотность 1380-1410 кг/м^3, прочность на изгиб 6,5-7 МПа, на сжатие 12-16 МПа, коэффициент размягчения 0,8, сорбционную влажность 3,9-5%. Проектная себестоимость 1 м^2 облицовочных плит, полученных на промышленной линии производительностью 180-200 тыс.м^2 в год, составляет 40-50коп.

Из отходов асбестоцементного производства изготавливают теплоизоляционные материалы. Изделия в виде плит, сегментов и скорлуп получают из измельченных отходов с добавкой извести, гипса и песка. Теплоизоляционные материалы можно получить также из смесей асбестоцементных отходов, цемента, жидкого стекла и других вяжущих при введении в смеси газо-и пенообразователей. Так, газобетон на основе вяжущих из асбестоцементных отходов имеет прочность на сжатие 1,9-2,4 МПа и среднюю плотность 370-420 кг/м^3.

Отходы асбестоцементной промышлености могут служит наполнителями теплых штукатурок и асфальтовых бетонов с высокой ударной вязкостью.

Предложено использовать мокрые отходы производства асбестоцементных изделий в легких мелкозернистых бетонах для полов жилых, общественных и других зданий, взамен легких поризованных мелкозернистых бетонов. Технологическая схема производства легкого мелкозернистого бетона с использованием мокрых отходов следующая: отходы, доставленные из отвалов автомобильным транспортом, подают с помощью грейфера в шламбассейн, где с помощью передвижной мешалки перемешивают с водой. С целью получения однородной массы производится мокрый помол отходов в течение 5-6 мин.

После помола отходы в виде пульпы имеют среднюю плотность 1075-1080 кг/м^3. Пульпа растворонасосом через жидкостный дозатор подается в смеситель, куда дозируется также цемент и песок. Готовую бетонную смесь транспортируют к месту укладки так же, как обычные строительные растворы.Составы легких мелкозернистых бетонов по их маркам даны в табл.37.

Составы легких мелкозернистых бетонов

Таблица-37

Состав бетона	**Марка легкого бетона по средней плотности, кг/м^3**			
	М800	**М1200**	**М1400**	**М1500**
Портландцемент М500, кг/м^3	400	420	450	480
Кварцевый песок, кг/м^3	-	570	760	820
Мокрые отходы, л/м^3	800	410	330	2810
Вода, л/м^3	700	560	480	440

Показатели основных физико-механических свойств легких мелкозернистых бетонов в зависимости от их марок даны в табл.38.

Таблица-38

Показатель	**Марка легкого бетона по средней плотности, кг/м^3**			
	М800	**М1200**	**М1400**	**М1500**
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	1,0	5,0	8,0	11,0
Теплопроводность Вт/(м $\cdot^o$С)	0,11	0,34	0,44	0,5

Для предотвращения усадочных трещин на поверхность основания палов расход воды должен быть таким, чтобы подвижность мелкозернистой бетонной смеси была не более 12 см по конусу СтройЦНИЛа. Экономическая эффективность применения асбестоцементных отходов в мелкозернистых смесях составляет около 25 руб. на 100 м^2 полов.

Асбестоцементные отходы в сочетании с известью и кремнеземистым компонентом могут служить сырьем для получения теплоизоляционных автоклавных материалов. Применение их возможно также в качестве эмульгатора и наполнителя холодных асфальтовых мастик. Рациональный состав мастики, кг: битум 350, вода 450, асбестоцементные отходы 200. Получение мастики и нанесение ее на поверхность можно осуществлять в смесителях и агрегатах, применяемых для изготовления, транспортирования и нанесения штукатурных растворов.

Сухие асбестоцементные отходы-обрезки шифера, стружка от обработки асбестоцементных труб и муфт, а также брак асбестоцементных листов и труб-составляют до 3% объема выпускаемой продукции. Из боя бракованных труб

можно изготовлять изделия ширпотреба. Бракованные листы шифера обрабатывают на опиловочных станках.

Молотые отходы затвердевшего асбестоцемента могут применяться как кристаллизационные добавки, особенно в условиях автоклавного твердения изделий. При введении их в состав бетонных смесей на песчанистом портландцементе в количестве 6-8% массы цемента прочность автоклавных материалов на сжатие и изгиб повышается на 22-40%.

7.5. Применение стекольных и керамических отходов

Основным направлением утилизации стеклянного боя является возврат его в технический процесс производства стекла.

До поступления в стекловаренные печи стеклобой освобождается от металлических включений, обрабатывается в моечном барабане и сортируется.Себестоимость стекломассы из стеклобоя в 6 раз ниже, чем из кварцевого песка.

Стеклобой может применяться с целью экономии дефицитных сырьевых материалов шихты, в производстве штапельного тепло-и звукоизоляционного стекловолокна. Использование 1 тыс. т стеклобоя в производстве стеклоизделий высвобождает 1,25 тыс. т кондиционного сырья.

Из отходов листового оконного стекла получают стеклянную эмалированную плитку. При этом стекло режут на плитке размером 150х150 или 150х75 мм, покрывают эмалью и направляют в печь. Эмаль изготавливают из титановых руд с добавкой керамических красок. При температуре 750-800^{o}С эмаль расплавляется и спекается с поверхностью стекла.

Из порошка стекольного боя с газообразователями спеканием при 800-900^{o}С получают один из наиболее эффективных теплоизоляционных материалов – пеностекло. Плиты и блоки из пеностекла имеют среднюю плотность 100-300 кг/м^{3}, теплопроводность 0,09-0,1 Вт/(м^{o}·С) и предел

прочности на сжатие 0,5-3 МПа. При одинаковой средней плотности пеностекло почти в 3 раза прочнее ячеистого бетона. Оно хорошо пилится, сверлится и шлифуется, обладает высокой водо-и морозостойкостью. У пеностекла обычного состава температуростойкость составляет 300-400, а у бесщелочного 800-1000^{o}С.

Этот материал можно применять как теплоизоляционный для тепловых сетей при их бесканальной прокладке, в конструкциях холодильников, судах-рефрижераторах, химических фильтрах.

На основе боя тарного и строительного стекла разработан новый вид пористого заполнителя – гранулированное пеностекло. Расход условного топлива на производства 1 м^3 этого материала составляет примерно 60 кг, что почти в 2 раза меньше, чем на производство керамзита.

Технологический процесс производства гранулированного пеностекла заключается в следующем. Стеклобой промывают, удаляют из него металлические включения, дробят до частиц, не превышающих 25 мм, а затем направляют на совместный помол и перемешивание с газообразователем и карбоксиметилцеллюлозой. Помол производится до удельной поверхности 5000 см^2/г. Тонкомолотую сырьевую смесь увлажняют в двухвальном лопастном смесителе до влажности 10-12% и гранулируют на тарельчатом грануляторе, куда дополнительно подают воду.Конечная влажность гранулируемой смеси 23-25%.

После грануляции окатыши поступают на вибросито, где происходит отделение гранул размером более 15 и менее 5 мм. Нестандартные гранулы по конвейеру возвращаются в двухвальную лопастную мешалку. Сырые сырцовые гранулы размером 5-15 мм ленточным питателем подаются в короткий вращающийся барабан для опудривания огнеупорным порошком. Опудренные сырые сырцовые гранулы поступают на конвейерную ленточную сушилку, где

происходят их сушка и упрочнение. Температура в конвейерной ленточной сушилке должна быть 150^{o}С.

Высушенные сырцовые гранулы тарельчатым питателем подаются во вращающуюся печь для вспенивания и обжига. Обжиг производится при температуре 750-800^{o}С и продолжительности пребывания гранул в печи 7-9 мин. Обожженные гранулы направляются в ленточно-сетчатую печь для отжига и охлаждения. Охлажденное гранулированное пеностекло загружается в бункер готовой продукции. При необходимости осуществляется фракционирование гранул на вибросите.

Основные свойства гранулированного пеностекла таковы: насыпная плотность 150-220 кг/м^{3}; предел прочности при сжатии в цилиндре 0,66-1,1 МПа; минимальный размер гранул 10 мм, максимальный 30 мм; водопоглощение через 24 - ч-5%; теплопроводность в насыпи 0,067-0,072 Вт/(м^{o}·С). Пеностекло морозо, водо и биостойко, не подвержено силикатному, железистому и известковому распадам. Оно может быть использовано вместо керамзитового гравия для производства теплоизоляционных легкобетонных плит, которыми изолируют покрытия производственных зданий, овощехранилищ и других помещений. Гранулированное пеностекло эффективно также в качестве наполнителя пенопластов.

В смеси с пластичными глинами стекольный бой может служит основным компонентом керамических масс. Изделия из таких масс изготавливают по полусухой технологии, их отличает высокая механическая прочность. Введение стекольного боя в керамическую массу снижает температуру обжига и повышает производительность печей.

Выпускают стеклокерамические плитки из шихты,включающей 10-70% боя стекла, измельченного в шаровой мельнице. Массу увлажняют до 5-7%. Плитки прессуют, сушат и обжигают при 750-1000^{o}С. Водопоглощение плиток составляет не более 6%, морозостойкость более 50 циклов.

Битое стекло применяют также как декоративный материал в цветных штукатурках, а молотые стекольные отходы можно использовать как присыпку по масляной краске, абразив для изготовления наждачной бумаги и как компонент глазурей.

В керамическом производстве отходы возникают на различных стадиях технологического процесса. Сушильный брак после необходимого измельчения служит добавкой для снижения влажности исходной шихты. Бой глиняного кирпича используется после дробления как щебень в общестроительных работах и при изготовлении бетона.

Кирпичный щебень имеет насыпную плотность 800-900 кг/м^3, на нем можно получать бетоны средней плотностью 1800-2000 кг/м^3, т. е. на 20% легче, чем на обычных тяжелых заполнителях. Применение кирпичного щебня эффективно для изготовления крупнопористых бетонных блоков средней плотностью до 1400 кг/м^3.

Очажные остатки используются при изготовлении бетонных блоков и как гидравлические добавки.

В производстве фасадной керамики, облицовочных фаянсовых плиток, санитарно-строительных изделий бой применяют в составе керамических шихт как шамот для обогащения масс и улучшения свойств готовой продукции.

Значительное количество отходов в виде недожога образуется при получении аглопорита. Недожог возвращают на спекательные машины, что способствует повышению газопроницаемости шихты, а также улучшению процесса агломерации, структуру аглопорита и его качества.

7.6. Применение вторичного полимерного сырья

Материалы на основе изношенной резины. К числу особенно многотоннажных полимерных отходов относятся отработанные резиновые

изделия такие, как конвейерная лента, шланги и особенно изношенные автомобильные, тракторные, авиационные и другие шины.

При комплексном использовании полимерных материалов и металла, содержащихся в изношенных шинах, из 1 т этих отходов можно выделить для повторного использования около 700-750 кг резины, 130-150 кг химических волокон и 30-40 кг стали.

Изношенные шины частично применяют для ограждений на дорогах, защиты побережья рек и морей от разрушения, предохранения от ударов судов.

Основным способом переработки амортизированных шин и других отходов резины является регенерация. Применение 1 т регенерата экономит около 500 кг синтетического каучука. Регенерат получают очисткой износившихся резиновых изделий с помощью кислот и щелочей, нагрева и введения добавок умягчителей. Старую резину обычно измельчают в крошку с частицами до 1,5 мм или мельче.

Резиновую крошку и тонкоизмельченные резиновые порошки можно применять в качестве ингредиентов резиновых смесей. При этом получают резину, по ряду технических свойств превосходящие резины, не содержащие регенерат.

Обработанную резину применяют в производстве гидроизоляционных строительных материалов, материалов для полов, клеев, мастик и герметиков.

Гидроизоляционные материалы типа изола изготавливают на битумно-резиновых вяжущих материалах, получаемых девулканизацией изношенной резины, в основном старых автопокрышек, совместно с битумом и последующей пластификацией. На производство изола ежегодно расходуется примерно 40 тыс. т изношенных автомобильных шин. При этом производственный процесс заключается в дроблении изношенной резины на шинорезках и молотковых дробилках до частиц размером не более 1 мм,

регенерации (девулканизации) резины в смесителе, сплавлении ее с битумом при температуре 170-180^{o}С и обработке битумно-резиновой смеси на вальцах до получения однородной и пластичной массы. Оптимальная концентрация резины возрастает по мере снижения вязкости битума.

Битумно-резиновые вяжущие отличаются от исходных битумов повышенной эластичностью, температурой размягчения, прочностью и долговечностью. При соотношении резины и битума 1:1 относительное удлинение увеличивается более чем на 200%, эластичность – почти в 3 раза, сопротивление разрыву возрастает до 0,8 МПа, температура размягчения до 120^{o}С, а температура хрупкости снижается до минус 20^{o}С. Эффект от введения резины в битум объясняется, в первую очередь, связыванием частиц масел в битумах резиной, что предотвращает испарение их и быстрое старение.

Изменяя состав битумно-резинового вяжущего, вид наполнителей и способ обработки, изол можно изготавливать в виде рулонного материала, кровельных плиток или гидроизоляционной мастики.

Рулонный изол – безосновный материал, обладающий высокой водо-и гнилостойкостью, а также деформативной способностью. Из листа изола вырубают кровельные плитки. Более высокое содержание наполнителей придает плиткам высокую плотность и твердость.

Близким к изолу по рецептуре и свойствам является бризол. Его изготавливают вальцеванием и последующим каландрированием смеси нефтяного битума, дробленой резиновой крошки, асбестового волокна и пластификатора. Бризол подразделяют на две марки: средней (Бр-С) и повышенной прочности (Бр-П).Первый применяют при рабочей температуре 5-30^{o}С, а второй при 20-25^{o}С.

Битумно-резиновые материалы выпускают также в виде пористых жгутов и полос (пороизол) для герметизации стыков конструкций, а также как

приклеивающие и изоляционные мастики. Изол и бризол применяют для гидроизоляции подвальных этажей зданий, подземных трубопроводов и других сооружений, бассейнов, антикоррозионной защиты и устройства кровли. Наряду с достоинствами эти материалы обладают и некоторыми недостатками: значительными усадочными деформациями, ползучестью, снижением их прочности при контакте с горячими мастиками.

Битумно-резиновая масса служит для изготовления нижнего слоя резинового линолеума – релина. Верхний и нижний слой релина выполняют отдельно, а затем соединяют (дублируют) одновременно с вулканизацией. Материал верхнего слоя линолеума – цветная резина на синтетических каучуках с наполнителями.

Разработана технология волокнистых резино-битумных плит (рекобит), применяемых в качестве оснований паркетных полов. Сырьем для изготовления плит служат некондиционное замасленное тряпье, регенерированный шинный корд, отходы резиновых изделий и битум.

Из регенерированного шинного корда можно также производить пресованный кордный брус, используемый для паркетных полов взамен лаг и древесно-волокнистых плит.

Материалы на основе латексных и каучуковых отходов. Ряд композиционных материалов может быть получен с применением побочных полимерных продуктов производства латексов и каучуков, эти продукты выделяются в виде отходов из латексных сточных вод после усреднения их состава в накопительных емкостях и переработки на шнековых машинах. Латексные и каучуковые отходы имеют достаточно высокие показатели прочности (до 4,6 МПа) и эластичности (относительное удлинение до 700%). Их можно вводить в составы, предназначенные для получения кровельно-гидроизоляционных и герметизирующих материалов, а также материалов, предназначенных для покрытия полов животноводческих помещений.

Для получения гидроизоляционных пленочных материалов используют вальцево-каландровый способ с предварительной пластификацией полимерных отходов на вальцах при температуре 120-130^{o}С в течение 10 мин. Пленки содержат до 45% отходов латексов; 15% полипропилена; 10% полиизобутилена и до 30% битума, который одновременно служит стабилизатором латексов. Прочность пленок при продольном растяжении 3-7 МПа, поперечном 0,6-1,5 МПа, относительное удлинение соответственно 27-45 и 300-700%, морозостойкость минус 45-60^{o}С.

При приготовлении герметиков типа «герлен» дефицитное и дорогостоящее сырье – бутадиеновый термоэластопласт – можно полностью заменить отходами латекса. Полная замена кондиционных каучуков отходами возможна и при изготовлении материалов для покрытия полов методом вулканизации. Получаемые полимерные композиции хорошо перерабатываются при обычной технологии на существующем оборудовании.

Замена термоэластопласта при производстве герметика «герлен» полимерными отходами позволяет получить экономический эффект 0,4 руб. на 1м^{2} ленты, а при замене каучука в производстве плит для покрытия полов животноводческих помещений 2,7 руб. на 1м^{2}.

На основе битумов, модифицированных полимерной крошкой латексов, разработана технология покровного слоя эластичного рубероида. Она включает получение гранулята перемешиванием при 120-130^{o}С пластифицированной крошки и битума с последующим его растворением совместно с наполнителем в битуме и приготовление однородной массы с температурой 200^{o}С, направляемой в ванну для нанесения на рубероид. При введении полимеров в битум происходит его структурирование с образованием трехмерных структур и возрастанием содержания твердых, не растворимых в бензоле, продуктов.

На основе полимерных композиций с применением отходов производства латексов возможно также получение листовых кровельных материалов с улучшенными свойствами:

Прочность при разрыве, МПа, в направлении:	
продольном	1,2-1,8
поперечном	0,7-1,1
Относительное удлинение, %, в направлении:	
продольном	100-150
поперечном	200-300
Морозостойкость, ^{o}C	-30

Массу изготавливают в резиносмесителе при 160-180^{o}C, а затем на вальцах получают листы кровельного материала.

Экономическая эффективность от применения битумов, модифицированных отходами производства латексов и каучуков, составляет 5 руб./м^2 кровельного материала.

Материалы на основе пластмассовых отходов. Наиболее многотоннажными полимерными материалами является полиолефины – высокомолекулярные соединения на основе непредельных углеводородов. Основной представитель этой группы – полиэтилен низкого и высокого давления.

Перспективным способом утилизации отходов полиолефинов, как и других термопластов, является их повторная переработка. Отходы предварительно сортирует и очищают от инородных включений, а затем подвергают измельчению, агломерации и грануляции. Из гранулята получают различные изделия, в том числе и строительного назначения. Вторичное сырье

целесообразно вводить в полимерные композиции в количестве до 40-50% первичного вместе с пластификаторами, наполнителями и стабилизаторами.

Для получения высококачественных полимерных материалов из вторичных полиолефинов эффективна их модификация – экранирование функциональных групп и активных центров химическими или физико-химическими способами (например, введением различных добавок, обработкой кремнийорганическими жидкостями).

Отходы полиолефинов можно использовать также в композиции с битумом для модификации свойств асфальтовых покрытий. Битум с отходами полиолефинов, вводимыми в количестве до 30% по массе, совмещают при 40-100^{o}C; образующуюся смесь охлаждают при температуре воздуха 20-25^{o}C в специальных формах. В результате значительно возрастают прочностные показатели композиций и уменьшаются их деформации.

Из вторичного полиэтиленового и полистирольного сырья в смеси с песком можно получить пресс-композиции с заданными свойствами. Высокие прочностные показатели таких материалов в сочетании с хорошей водостойкостью позволяют, например, в Японии использовать плиты из них для выстилки морского дна с целью создания станций по разведению рыбы.

Один из методов получения строительных плит состоит в прессовании смеси пластмассовых отходов и песка, взятых в соотношении 1:1. Песок просеивают, нагревают до 500^{o}C, добавляют к смеси отходы полиэтилена и полистирола, смешивают при 150^{o}C в течение 25 мин, затем полученную массу прессуют.

По аналогичной технологии получают материалы из пластмассовых отходов в смеси с мелом, стекловолокном, асбестом и другими минеральными наполнителями. Все компоненты в течение 2 ч подсушивают при 120^{o}C, затем их пластифицируют в смесителе при 250-300^{o}C в течение 15 мин, выгружают

при 180^{o}С в форму и прессуют. Полученные композиции обладают хорошими прочностными показателями и высокой стойкостью к истиранию, что позволяет использовать их при изготовлении плит для полов. Для улучшения внешнего вида изделий при смешивании добавляют такие пигменты, как оксиды железа и хрома, желтый крон, диоксид титана.

Также способом получения строительных материалов с применением отходов является расплавление полимеров с последующим смешиванием их с цементом, разливкой в формы и охлаждением. Эти изделия обладают высокой прочности и стойкости против горения.

Высокая водостойкость большинства полимерных отходов, в первую очередь полиолефиновых, позволяет широко использовать их в различных материалах, применяемых для герметизации швов между панелями зданий, а также для покрытия частей сооружений, работающих под водой или в условиях повышенной влажности.

Композицию с использованием побочного продукта синтеза полипропилена – атактичесого полипропилена (АПП) – в количестве 60-90% совместно с 40-50% термической сажи применяют при получении герметизирующих лент путем экструзии. Хорошая водостойкость АПП позволяет также использовать его в композициях, на основе которых получают кровельный рубероид.

Разработаны методы получения строительных изделий, в которых отходы полимеров вводят на стадии полимеризации другого мономера. Так, отходы ударопрочного полистирола растворяют в соотношении 1:1,5 и разливают в формы. Полимеризация осуществляется при 20^{o}С в присутствии добавки перекиси бензола. Получаемый материал имеет предел прочности при растяжении 31-36 МПа, ударную вязкость 21-27 кДж/м^{2}, теплостойкость по Мартенсу 42^{o}С и водопоглощение за 24 ч -0,07%.

ГЛАВА 8. ОТХОДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УЗБЕКИСТАНА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

8.1. Закладочные смеси из отходов промышленности

В последние годы в горнодобывающей промышленности Республики Узбекистан усилился интерес к проблемам разработки рудных месторождений системами с закладкой выработанного пространства. С понижением глубины горных работ значение применения закладочных смесей возрастает.

Анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что в последнее время в развитии систем разработки с использованием закладочной смеси наметилась тенденция все большего применения в смесях не природного сырья, а различных отходов и попутных продуктов промышленности, в первую очередь, горнодобывающей, металлургической, топливно-энергетической и других.

Известно, что капитальные вложения на добычу сырья из недр земли в 2,5 раза превышают капитальные вложения на их переработку. Поэтому актуальной проблемой является максимальная и комплексная переработка отходов промышленности как сырья для производства различных строительных материалов, в том числе закладочных смесей для заполнения выработанного пространство при подземной добычи полезных ископаемых.

Наиболее распространенными отходами для приготовления закладочных смесей в нашей республике можно считать золу-унос с электрофильтров тепловых электростанций, отходы мраморных карьеров, песок пустых горных пород и шлаки медеплавильного производства.

Химический состав золы Ангренской ГРЭС представлен следующими окислами: SiO_2 – 30,5;

Al_2O_3 – 18,4;

CaO – 18,3

Fe_2O_3 – 15,4;

MgO – 4, 1,5,

$Na_2O + K_2O$ – 0,5;

SO_3 – 3,8;

П.П.П.- 3,7.

Зола с электрофильтров тонкодисперсная, удельная поверхность 3500 $см^2/г$ и выше. Основная часть представлена частицами менее 10 мкм в поперечнике в виде стекла различной окраски. Содержание стеклофазы 70-80%, аморфизованного, но не оплавленного глинистого вещества до 20 %. На основании рентгенофазового анализа кристаллические фазы в золе уносе

представлены частицами кварца и полевых шпатов. Очень тонкодисперской форме в стекле и аморфных фазах присутствуют гематит, луллит, ангидрит с силикатами кальция.

Отходы мраморного карьера после обработки на классификаторе имели гранулометрический состав, представленный в таблице №39. В этой же таблице приведен зерновой состав горного песка.

Таблица 39

Наименование	Частные остатки на ситах, %						Прошло через сито 0,14	Количество глинистых и пылеватых частиц	Модуль крупности
	5	2,5	1,25	0,65	0,315	0,14			
Отходы мраморного карьера	0,15	15	15	25	16,5	18,5	9,5	07-09	1,7-1,9
Песок горный	1,5	12,0	9,0	19,5	15,5	14,0	28,5	1,5	1,0-1,2

Составы закладочных смесей, технология приготовления и укладки

На руднике «Каульды» Алмалыкского горнометаллургического комбината действует самотечно-гидравлический способ доставки закладочной смеси в выработанное пространство. При этом способе закладочные смеси транспортируются по трубам вначале самотеком (по вертикальному стану трубопровода), а затем сжатым воздухом по горизонтальной части.

Для приготовления закладочных смесей использовались следующие материалы:

- портландцемент марки 400 Ахангаранского цементного комбината;

- зола-унос Ангренской ГРЭС;

- отходы мраморного карьера «Кора-хона»;

- горный песок – отходы меднорудного обогащения (МОФ).

Проектирование составов закладочных смесей производилось расчетно-экспериментальным способам на основании данных математического метода планирования подбора оптимального состава закладочных смесей, с дальнейшей корректировкой при изготовлении пробных замесов.

В первом варианте испытывались 6 составов (таблица 40) Анализ данных расходов компонентов закладочных смесей и испытание прочностных характеристик показали, что для практического использования приемлемы составы 1 и 5.

Далее, с корректировкой некоторых составляющих закладочной смеси, были приготовлены составы 7 и 8. Следует отметить, что в составах 1 и 6 применялись отходы мраморного карьера крупностью до 5 мм. Учитывая повышенные абразивные свойства дробленных частиц мрамора, вызывающие ускоренный износ трубопроводов, а также жесткость смеси в составах 7 и 8, использовались фракции мраморного отхода размером 2.5 мм и менее. Это позволило получить более пластичные закладочные смеси.

Таблица 40

№ Составов	Расход материалов на 1 м^3 закладочной смеси					Осадка конуса см	Платность закладочной смеси, кг/м^3	Средняя прочность МПа
	Портландцемент марки 400, кг	Зола-унос кг	Отходы мраморного карьера кг	Горный песок (отходы МОФ), кг	Вода лет.			
1	100	350	870	-	380	11,5	1760	2,6
2	150	300	830	-	375	11,2	1800	4.4
3	200	300	750	-	370	11,4	1820	4,9
4	100	-	1300	-	380	12,0	1710	1,7
5	150	-	1250	-	380	11,7	1750	2,2
6	200	-	1200	-	375	11-12	1780	3,7
7	250	-	1150	-	375	11-12	1800	5,2
8	200	-	-	1200	380	11-12	1780	2,3

Для приготовления закладочных смесей использует многокомпонентную систему, состоящую из вяжущего, золы-унос, отходов мраморного карьера с крупностью зерен не более 3мм и воду. При наличии химических добавок и обоснования их использования, в смесь дополнительно вводят пластифицирующие, воздухововлекающие и другие добавки.

Закладочная смесь по своему составу близка к литому раствору, позволяющему транспортировать ее по трубопроводу и размещать в выработанном пространстве под определенным углом наклона за счет действиях гравитационных сил без принудительного уплотнения.

Приемку, складирование и хранение портландцемента и золу-унос с электрофильтров необходимо осуществлять в закрытых бункерах или силосах емкостью до 20 м^3.

Отходы мраморного карьера подвергаются обязательному просеиванию на классификаторе, с целью удаления фракций размером более 3,0 мм, а хранение осуществляется под навесом.

Для более точного определения массы используемых компонентов закладочной смеси дозировку следует производить весовыми дозаторами (цемент, золу-унос, отходы мраморного карьера), а воду подавать с емкостей, позволяющих четко контролировать ее расчетное количество.

С целью получения качественной закладочной смеси смешивание компонентов следует производить в следующей последовательности:

- предварительно готовится вяжущее из смеси портландцемента и золы-унос путем их тщательно перемешивания;

- в смесь вяжущего вводят расчетное количество отходов мраморного карьера;

- при непрерывном перемешивании смесь увлажняется водой до получения подвижности равной 11-12 см. Данная подвижность закладочной смеси обеспечивает транспортабельность при гидро-самотечном способе доставки смеси в выработанное пространство;

- транспортирование сырьевых компонентов должно осуществляться ленточными транспортерами, а перемешивание в двухвальном шнековом смесителе;

- время перемешивания – 2-3 минуты;

- из смесителя через приемное устройство закладочная смесь самотеком подается в трубопровод для доставки к месту укладки в выработанном пространстве.

При разработке технологии укладки закладочных смесей в выработанное пространство выбраны и опробованы две схемы возведения искусственных массивов:

1-возведение искусственных массивов с использованием однородной закладки с разнопрочной (двух-трех слойной) закладочной смесью.

2-возведение искусственных массивов с использованием комбинированной (породно-твердеющей) закладки.

Сущность технологии возведения разнопрочного закладочного массива заключается в следующем. В очистных камерах (ствол шахты) первоначально закладывается нижняя часть на высоту 1,5 – 3,0 м составом закладочной смеси, обеспечивающим нормативную прочность до 1,0 МПа, в последнюю очередь (третий слой) первоначально закладывается верхний слой на высоту не менее 0,5 м составом, обеспечивающим нормативную прочность 3-4,5 МПа.

Технология возведения искусственных массивов с использованием комбинированной (породно-твердеющей) закладки может быть использовано при отработке всех слоев этажа, кроме первых 2-3 нижних слоев и верхнего подкровельного слоя этажа.

Сущность технологии возведения искусственного массива из комбинированной породно-твердеющей закладки заключается в следующем; первоначально нижняя часть выработанного пространства в камерах (ствол шахты) закладывается закладочной смесью на высоту 1,5 – 3,0 м, составом, обеспечивающим нормативную прочность 3,0 – 5,0 МПа, затем закладывается отвальными породами, либо породами от проходки горных выработок, а потом литыми закладочными смесями требуемого состава. При этом установлено, что расстояние между штабелем породы и стенкой в камерах должно быть не менее 0,8 – 1, 0 м.

Физико-механические свойства закладочных смесей
Прочность, пористость и плотность

Прочностные свойства закладочного материала оценивают обычно по пределу прочности на одноосное сжатие, иногда дополнительно на двухосное сжатие, срез, растяжение, изгиб.

В инженерных расчетах наиболее распространен предел прочности на одноосное сжатие, который определяют в результате испытания образцов:

$$\sigma_{сж} = K \cdot P/F$$

где, к- коэффициент, учитывающий размеры образца

Р – разрушающая нагрузка, Н.

Ғ – площадь рабочей поверхности образца, мм^2.

Опытные образцы изготавливали в виде кубиков, испытания проводили через 28, 90, 380, суток. Хранение образцов производили во влажной среде при нормальной температуре. В каждой срок испытывают по три образца, скорость нагружения образца во время испытаний 0.2-0.3 МП а/с.

Прочность искусственного массива по мере твердения увеличивается. Так, для зольноцементных массивов она составила:

Возраст твердения массива, сут.	28 90 180 360
Предел прочности, МПа	4.3; 4.6; 4.8; 5.1.

Предел прочности на растяжение определяли методом раскалывания. Результаты подсчитывали по формулы:

$$\sigma_{рас} = 2P/П \cdot L^2$$

Где, L – размер стороны образца кубической формы.

Предел прочности на изгиб определяли в результате испытания балочек размерами 70х70х250 мм – для составов с максимальной крупностью заполнителя 2.5 мм.

$$\sigma_{из} = M_И/W$$

где, $M_и$ = Pl/2 - изгибающий момент, при котором происходит разрушение, L – расстояние между опорами балочки

$W = bh^2/6$ - момент сопротивления балочки

Корреляционные связи между пределами прочности на растяжение $\sigma_{рас}$, изгиб - $\sigma_{из}$ и пределом прочности на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ в интервале

$\sigma_{сж}$ = I -: 6 МПа следующие;

$\sigma_{рас} = 0.225\ \sigma_{сж} + 0.45$

$\sigma_{из} = 0.40 \quad \sigma_{сж} + 0.1$

Предел прочности на растяжение в 3-4 раза меньше, чем на сжатие при мелкозернистом заполнителе.

С увеличением крупности заполнителя ($>$ 3 мм), а также при неокатанной форме зерен это соотношение возрастает до 5-6 раз.

Величину пористости определяли по форме:

$$П=(I- \rho_н/\rho_о) \ . 100\%$$

где $\rho_н$– насыпная плотность, кг/м^3

$\rho_о$ - удельная плотность, кг/м^3

В среднем пористость закладочных смесей составляет – 18-21%.

Плотность твердеющей закладки определяли в результате взвешивания стандартных образцов кубической формы с размерами грани 7 и 10 см. Она составила от 1750 кг/м^3 до 1830 кг/м^3.

Водостойкость и воздухостойкость закладочных смесей

Результатами многочисленных исследований доказано, что для бетонов на пуццолановых портландцементах показательна более высокая водостойкость, чем для бетонов на портландцементах.

Это объясняется более высокой непроницаемостью бетонов на этих цементах и связыванием гидравлическими добавками легко выщелачиваемого гидрата окиси кальция в труднорастворимые гидросиликаты кальция. Повышенная воднонепроницаеммость бетонов на пуццолановых цементах обуславливается набуханием гелеобразных составляющих цементного камня и гидравлической добавки в присутствии водного раствора гидрата окиси кальция.

Кислые добавки, такие как трепел и диатомит, частицы которых характеризуются исключительно высокой пористостью и способностью к адсорбции значительного количества водяных паров из влажного воздуха и отдаче их в сухой среде, при добавке их к цементам придают им пониженную воздухостойкость.

При добавке к портландцементу более плотных гидравлических добавок (трассы, топливные шлаки, зола-унос) получаются вяжущие вещества более

стойкие при твердении в воздушно-сухих условиях. Цемент с такими добавками мало отличаются по воздухостойкости от портландцемента.

Не существует единой методики определения водостойкости и воздухостойкости вяжущих материалов. Обычно об этих характеристиках вяжущего судят по показателям механической прочности образцов из раствора или бетонов на данном вяжущем при длительном хранение их в воде и на воздухе.

По мнение ряда исследователей показателем воздухостойкости вяжущих в известной мере является их стойкость при переменном увлажнении и высушивании. Нами приведены данные по определению механической прочности образцов из стандартных растворов состава I:3 на портландцементе с добавкой мелких фракций золы-уноса при длительном их хранении в воздушно –сухих условиях при температуре 20±2ºС и относительной влажности воздуха 60-70%, а также в воде при температуре 20±2ºС. Испытания проводили на образцах 70х70х70 мм.

Образцы нормального твердения ставились на испытания после 28 суток твердения во влажных условиях. Пропаренные образцы ставились на испытание после пропарки, которая проводилась по режиму 2+4+2 при температуре 100ºС.

Установлено, где добавка к портландцементу 30% мелкой фракции золы-уноса не ухудшает механической прочности образцов на таком вяжущем при твердении их в воздушно-сухих условиях. При твердении в воде прочность образцов на портландцементе с добавкой 30% золы-уноса непрерывно возрастает, причем максимальный рост наблюдается в возрасте шести месяцев и позже, что совпадает с периодом активного взаимодействия золы-уноса с Ca/OH_2. Пропаренные образы на цементно-зольном вяжущем характеризуются непрерывным ростом прочности при последующем их твердении как на воздухе, так м в воде. При этом их прочностные показатели выше, чем у образцов на исходном портландцементе.

Динамический модуль упругости образцов твердеющих в одинаковых условиях, в случае добавки к портландцементу более качественной золы значительно выше. Заметна также и меншая разность между значениями динамического модуля упругости образцов важного и воздушного хранения при добавке этой золы. То же самое можно сказать в отношении механической прочности образцов.

Результаты исследований показывают, что качество золы-уноса оказывает существенное влияние на водостойкость и воздухостойкость портландцемента с ее добавкой.

В случае применения в качестве добавок к портландцементам мелких фракций золы-уноса отличающихся высокой дисперсностью, высокой степенью остеклованности и малым содержанием вредных примесей можно получить смешанное вяжущее с высокой водо и воздухостойкостью.

Влияние агрессивных сред на свойства закладочных смесей

Одним из основных требований, предъявляемых к цементам является их стойкость против действия агрессивных сред. О том, что бетонные сооружения из цемента не всегда оказываются достаточно долговечными при воздействии на их некоторых природных вод было установлено давно. Установлено также, что портландцемент довольно быстро кородирует в водах мягких, кислых, углекислых и содержащих некоторые минеральные соли.

Работы некоторых исследователей дали возможность разобраться в причинах коррозии. Установлено, что коррозия портландцементных растворов и бетонов под воздействием вод различного состава вызвано следующими факторами:

- физическим растворением в мягкой пресной воде некоторых составных частей затвердевшего портландцементного камня, в первую очередь гидрата окиси кальция;
- взаимодействием составных частей затвердевшего цементного камня с содержащимися в воде свободными кислотами;
- обменными реакциями между гидратом окиси кальция (и другими составными частями цементного камня) и солями, содержащимися в минерализованной воде.

Известно, что повышение стойкости портландцементов против действия агрессивных сред связано с введением в их состав гидравлических добавок. Повышенная стойкость цемента с пуццолановой добавкой против действия сульфатов и морской воды уже давно является предметом обсуждения. Однако, до сих пор не существует единого мнения при объяснении причин повышения стойкости цемента в агрессивной среде при введении добавок.

Ф.М.Ли придерживается мнения, что она объясняется частично связыванием добавкой гидрата окиси кальция, образующегося при гидратации портландцемента, а также образованием вокруг более уязвимых алюминатных соединений защитной пленки из гидросиликатных продуктов реакции между известью и пуццоланой.

По мнению В.М. Москвина существенное значение для стойкости цементного камня имеет предельная концентрация $Ca(OH)_2$, находящейся в его

порах, при которой наступает химическое равновесие между ней и данным гидросиликатом или больше ее гидролиз гидросиликатов и гидроалюминатов не присходит.

Сделан вывод о том, что добавка к портландцементу 25-30% золы-уноса практически не меняет его стойкость против выщелачивающего действия мягкой воды и сульфатомагнезиальной агрессии и значительно повышает его стойкость против сулфатоалюминатногипсовой коррозии.

Учитывая фазовой состав цементнозольного камня следует ожидать высокой стойкости закладочных смесей на портландцементе с добавкой золы-уноса Ангренской ГРЭС в различных агрессивных средах.

Известно, что решающую роль в придании портландцементу стойкости против агрессивных сред играет качество и количество золы-уноса. Исходя из этого поставлен ряд опытов по определению стойкости портландцемента с добавкой мелких фракций золы в растворах различных солей. При этом исследовалась стойкость чистоклинкерного портландцемента, а также с добавкой мелкой фракции золы, отличающейся повышенной дисперсностью и высокой степенью остеклованности.

Стойкость изучалась на растворных образцах размером 40х40х160 мм. После 28 суточного твердения во влажных условиях образцы помещали в растворы сульфата натрия, сернокислого магния, углекислого натрия и хлористого кальция. Результаты этих испытаний приведены в таблице 41.

Таблица 41

Условия хранения образцов	Значения коэффициента стойкости /Кс/		Состав вяжущего: портландцемент-60% зола-унос – 40%	
	$Кс_{28}$	$Кс_{360}$	$Кс_{28}$	$Кс_{360}$
В растворе Na_2SO_4(10 г/л)	0.98	1.02	1.0	0.98
В растворе Mg_2SO_4(30 г/л)	0.98	0.84	0.96	0.84.
В растворе Na_2SO_3(30 г/л)	1.1	0.97	1.0	0.97
В растворе Ca_2SI_2(30 г/л)	0.98	0.98	0.98	1.07

Концентрация растворов принята согласно указаниям по определению коррозионной стойкости цементов и бетонов, разработанным в лаборатории бетона ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Для сравнения соответствующее количество образцов оставляли твердеть в обычной водопроводной воде. После

выдерживания в растворах, в рекомендуемые сроки, образцы испытывали на изгиб, а их половинки на сжатие. Соотношение прочностей при изгибе и сжатии образцов, находившихся в агрессивной среде и воде в течение 6 и 12 месяцев определятся коэффициент стойкости $КС_6$, характеристик вяжущего во времени.

8.2. Пористые заполнители из отходов угледобычи и местных горных пород

В современном строительстве из сборных и монолитных изделий и конструкции важное место для их изготовление занимают легкие бетоны на искусственных пористых заполнителях. Применение легких бетонов способствует повышению энерго-эффективности, надежности и сейсмостойкости зданий, снижению их массы, экономии ресурсов и затрат в строительстве. Поэтому, особое значение для строительного комплекса Республики Узбекистан приобретает дальнейшее развитие разработка пористых заполнителей из отходов угледобычи зауглероженной глины Ангренского месторождения бурого угля и местных горных пород.

Из-за недостатка сырья для производства керамзита и аглопорита в Узбекистане ранее разрабатывались пористые заполнители керампорит, кварцепорит, кампорит, стеклопорит полученные на базе местных сырьевых ресурсов и отходов промышленности.

В работах Ботвиной Л.М. и Билялова К.Б. для получения пористых заполнителей сырьем являлись дацитовые порфиры, лессовые породы, барханные пески, отходы от распиловки доломитовых пород и отходы стекольной промышленности.

В работах Саттарова З.М. использованы лессовые породы Алмалыкского и Ангренского месторождений, а также отходы картонно-бумажной промышленности. Установлено, что лессовые породы содержат около 30% карбонатов, а отходы обогащены среднекислым алюминием и глинозёмом. Кроме этого в шихту вводилось до 30% макулатуры, 7% целлюлозы из соломы и другие компоненты. Заполнитель обожженный при 1050 ^{O}С в течение 20 минут имеет объемную плотность 590-610кг/м^3 и прочность 2,0-2,2 Мпа. В исследованиях Умурзакова Э.К. в качестве компонентов для пористого заполнителя применялись гидрослюдное глинистое сырье Комышбашинского и барханные пески Язь-Яванского (Ферганская область) месторождений, а также отходы Ферганского нефтеперерабатывающего завода, используемые в

качестве пластифицирующей и порообразующей добавки. Широкое распространение по применению отходов промышленности в производстве пористых заполнителей получили работы и зарубежном. Например, в Англии разработаны пористые заполнители на агломерационных решетках с применением золы-унос. В США изготавливают легкий заполнитель на основе стеклобоя, остающегося после сжигания городского мусора. Смесь шихты представлен из 78% стеклянного боя, 20% глины и 2% силикатного натрия. В Канаде изготавливается легкий заполнитель из шлама на основе органических отходов-древесная мука, торф и осадки сточной воды.

Обзор отечественных и зарубежных литературных источников, касающихся пористых заполнителей показывает, что имеются большие резервы по применению отходов различных отраслей промышленности для получения строительных материалов и изделий, так это позволяет расширить их номенклатуру, сэкономить природные и энергоресурсы и уменьшить влияние отходов на окружающую среду.

Свойства исходных компонентов и технология получения пористого заполнителя

Кварцевые порфиры это древние эффузивные горные породы гранитового состава. По свойству кварцевый порфир мягкоплавкое сырье, структура пород порфировая, причем они представлены обычным кварцем и полевым шпатом.

Химический состав представлен следующими окислами, % SiO_2-72%; Al_2O_3-14,2; Fe_2O_3-1,55; CaO-1,4; Na_2O-3,0; K_2O-4,6; TiO_2-0,4; п.п.п. -1,1., т.е. основная масса состоит из кальцита, апатита и магматита.

Химический анализ Ангренской зауглероженной глины, % SiO_2-40,1; Al_2O_3-38,5; Fe_2O_3-3,2; CaO-0,7; MgO-0,4; CaO_3-0,4; Na_2O-3,2; K_2O-2,2, п.п.п. -11,5.

Анализируя эти данные можно сделать вывод, что по количеству кремнезёма, глинозема и п.п.п. эта глина близка к теоретической формуле каолина $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Оптимальный состав шихты для получения пористого заполнителя производился методом математического планирования эксперимента и установлен в следующих пределах:

- Содержание кварцевого порфира -75-80%
- Содержание зауглероженной глины -20-25%

- Влажность шихты -18-20%

Оптимизация технологических параметров получения пористого заполнителя позволило установить следующие значения:

- Температура предварительной сушки -75-80 ^{O}C
- Температура обжига -1100 ^{O}C
- Продолжительность термической обработки – 20 мин

Полученный пористый заполнитель гравиеподобной формы обладает следующим физико-механическими характеристиками: прочность на сжатие в цилиндре -2,5-3,0 МПа, насыпная плотность 720-750 кг/м^3, водопоглощение 14,5-15,5%, морозостойкость не менее 50 циклов, потерь в массе при испытаниях на железистые и силикатный распады не наблюдалось.

Результаты дифференциально-термического анализа (ДТА) указывает, что спекание гранул наступает при температурах выше 950-980 ^{o}C, т.е. начиная с образования кристаллической фазы муллита, кристаллы которого образуют по мере их роста жесткий каркас. Пористая структура обуславливается наличием большого количества выгорающего при обжиге углистого вещества находящегося в зауглероженной глине. Образованию пористой структуры также способствует удаление из объема гранул заполнителя кристаллизационной воды.

Структура пористого заполнителя на основе кварцевого порфира и зауглероженной глины отличается от пористой структуры керамзита тем, что у него капиллярно-пористая, а у керамзита ячеистая. Структура керамзита характеризуется наличием, в основном, закрытых пор округлой формы, а гравиеподобного сообщающимися между собой порами различной формы и размеров. В керамзите макропор около 35%, а большая часть пор значительно мельче и находится в диапазоне радиусов 500-5000А. Средний диаметр пор у заполнителя из кварцевых порфиров и зауглероженной глины почти в 2 раза больше. Это подтверждается при определение поровой структуры этих заполнителей методом вдавливания ртути.

Легкие бетоны на заполнителе из отходов угледобычи и кварцевых порфиров

Определение оптимальных составов легких бетонов требуемой прочности с предельным значением средней плотности выполняется с применением

формул прочности, водопотребности и системы уравнений многомерной линейной регрессии.

Таблица-42

Составы бетонов	**Расход заполнителя, кг (при крупности, мм)**		**Расход цемента, кг**	**Расход воды, л**	**Прочность бетона, МПа**	**Средняя плотность бетона кг/м^3**
	Менее 5	Более 5				
I	0	750	225	204	7,5	1006
II	237	638	225	212	10	1131
III	474	525	225	220	11,5	1211
IV	711	413	225	227	14,5	1380
V	948	300	225	234	15,5	1502
I	0	750	300	212	12,5	1089
II	237	638	300	221	14	1215
III	474	525	300	230	17,5	1339
IV	711	413	300	241	19,5	1463
V	948	300	300	248	22	1585
I	0	750	375	220	15	1173
II	237	638	375	231	18,5	1300
III	474	525	375	242	22	1423
IV	711	413	375	249	25,5	1547
V	948	300	375	263	28	1669
I	0	750	450	227	17,5	1258
II	237	638	450	240	22	1384
III	474	525	450	252	26	1508
IV	711	413	450	265	30	1632
V	948	300	450	278	35	1754

Эти уравнение должны включать параметры зернового состава, расход вяжущего и воды в бетоне определенной прочности и необходимой плотности.

Уравнение многомерной линейной регрессии по оптимальным составам различных марок бетонов и анализ результатов испытания бетонных образцов проводилось с помощью специальной программ «MATCAD-13» для определение закономерностей зависимости прочности бетона от его средней плотности и расхода материалов. Результаты статического анализа

экспериментальных данных по линейной и полиноминальной регрессии представлены в таблице 42.

Приведённые данные показывают, что если бетон прочностью 7,5 МПа можно получить крупнопористым, т.е. без расхода песка, то для бетонов повышенной прочности наблюдается тенденция к увеличению доли песка. Это влияет, в первую очередь, на плотность бетона. Так, например, если плотность бетона прочностью 15 МПа находится в пределах 1000-1010 кг/м^3, то для бетона прочностью 30 МПа плотность бетона достигает 1620-1630 кг/м^3.

Установлена также зависимость расхода цемента на прочностные показатели легкого бетона на заполнителе из отходов угледобычи и кварцевого порфира. Бетоны прочностью 10 и 15 МПа можно получить при расходе цемента в 225 кг/м^3 а для бетонов прочностью от 25 до 35 МПа требуется почти 2 раза больше цемента.

Анализ номинальных составов бетонов на пористом заполнителе, особенно высоких марок, показывают, что они характеризуется повышенным расходом вяжущего. Поэтому, для дальнейшего улучшения технико-экономических показателей необходимо разрабатывать легкие бетоны с применением современных суперпластификаторов, которые позволяют существенно влиять как на технологические свойства бетонных смесей, так и на физико-механические и экономические показатели.

8.3. Основные тенденции в области получения легких бетонов

Расширение производства легких бетонов требует проведения научных разработок и исследований для решения задач повышения уровня технологии их получения и улучшения качества продукции при одновременном снижение энергетических, материальных и других затрат.

При этом особое внимание уделяется созданию материалов, позволяющих использовать эффективные искусственные заполнители как минерального, так и органического происхождения.

Значительный интерес представляет получение принципиально новых легкобетонных композиций, состоящих из минерального вяжущего и особолегкого полимерного заполнителя.

В развитие теории и технологии таких бетонов значительный вклад внесли Ахвердов И.Н, Бужевич Г.А, Ваганов А.И, Иванов И.А, Корнилович Ю.Е, Попов Н.А, Путляев И.Е, Симонов М.З, а также З. Леви Т.Уитйкер и др.

В результате этих работ получены и исследованы различные виды легких бетонов, которые широкого применяются в строительной практике как в ограждающих, так и в несущих конструкциях зданий. Их используют в междуэтажных перекрытиях, кровельных покрытиях, при возведении стен и каркасов производственных сооружений и жилых домов, а также в монолитных бетонных массивах при строительстве мостов, опор линий электропередач и т.п.

Широкая сфера применения легких бетонов определяет пути их дальнейшего совершенствования в направлении создания высокопрочных и особолегких материалов.

По американском прогнозам предполагается, что в будущем будут изготавливаться легкие бетоны плотностью от 300 кг/м^3 и выше, прочностью при сжатии соответственно от 1,2 до 70 МПа. При этом конструкционные легкие бетоны должны иметь прочность при сжатии 30 МПа и более, конструкционно-теплоизоляционные- 15-25 МПа, а теплоизоляционные 1.2-2.5 МПа.

Ряд исследователей утверждает, что важнейшими технологическими факторами, оказывающими влияние на конечные характеристики выпускаемой продукции, являются приготовление, формование и уплотнение легкобетонных смесей.

Как отмечает Иванов И.А. наибольшее распространение в производстве легких бетонов получил вибрационный метод уплотнения. В зависимости от вида изделий и принятой технологии их изготовления формование осуществляют: на виброплошадках, стендовым способом с применением поверхностных или глубинных вибраторов, в кассетных установках, непрерывным способом с использованием вибропроката, скользящих виброштампов и вибронасадок.

Поскольку пористые заполнители имеют меньшую среднюю плотность, чем тяжелые, для уплотнения бетонной смеси требуется более интенсивное разжижение цементного теста, обеспечивающее сближение зерен заполнителя.

По данным Ахвердова И.Н. структурная вязкость цементного теста резко снижается с повышением частоты колебаний. Поэтому при высокочастотной вибрации уплотняемой легкобетонной смеси достигается требуемое смешение зерен пористого заполнителя и их наиболее компактное расположение. Однако, следует знать, что повышение частоты вибрации, при сохранении необходимой величины амплитуды колебаний, возможно лишь в результате применения вибрирующего механизма высокой мощности. Проведенный нами анализ известных литературных данных свидетельствует о том, что все существующие в настоящее время технологические приемы получения легких бетонов на пористых заполнителях, как правило, предусматривают необходимость повышенных затрат энергии и труда.

Одним из важнейших технологических переделов в производстве легких бетонов является этап твердения. Вопросу ускорения этого процесса посвящены работы многих ученых. Наиболее известные работы Боженова П.И, Волженского А.В, Бутта Ю.М. и Рашковича Л.Н, Миронова С.А. и Малининой Л.А, направленные на получение эффективных изделий.

Исследования, выполненные в работах свидетельствуют о том, что тепловлажностная обработка оказывает влияние на теплозащитные свойства легкобетонных композиций.

Обобщая результаты известных исследований, Иванов И.А, акцентирует внимание на, что необходимо искать пути снижения энергетических ресурсов и времени, затрачиваемых на тепловлажностную обработку изделий из легких бетонов. Наиболее перспективными, по его мнению, следует считать способы ускорения твердения за счет использования быстротвердеющих и высокоактивных вяжущих.

Учитывая важность рассмотренных технологических факторов в процессе получения легких бетонов на пористых заполнителях, необходимо отметить, что доминирующее влияние на физико-механические показатели получаемых материалов оказывает вид и свойства самих заполнителей, которые занимают в таких бетонах до 80% объема.

Наибольшее применение находят искусственные пористые заполнители, получаемые, чаще всего, одним из следующих способов: предварительном вспенивание исходной шихты; выгоранием органических добавок или примесей, вспучиванием исходной шихты в пиропластическом состоянии.

К известным неорганическим пористым заполнителям относятся: керамзит, аглопорит, шлаковая пемза, заполнители из зол ТЭС, вспученный перлит, вермикулит, пеностекольный заполнитель, а также органические: пенополиуретан, полистирол и др. Каждый из этих заполнителей имеет свои особенности, которые в значительной степени определяют свойства бетонов на их основе. Они могут иметь различное соотношение стекловидной и кристаллической фаз, характеризуются различной прочностью и деформативностью, отличаются друг от друга теплофизическими показателями.

Исследования Попова Н.А и Ваганова А.И показали, что на данном пористом неорганическом заполнителе при принятом расходе цемента, существует предельная прочность легкого бетона, которая не повышается или мало изменяется даже при увеличении прочности растворной части. Из этого следует, что значительное увеличение прочности традиционных легких бетонов возможно лишь при увеличении предельной прочности и деформативности заполнителя.

В связи с этим перспективными являются исследования, направленные на изыскание высокоактивных вяжущих, позволяющих использовать низкопрочные, особолегкие заполнители для создания легкого и прочного строительного материала.

Одной из основных задач в технологии легких бетонов считается снижение плотности материала. Как отмечено в работах, применяя заполнители с повышенной пористостью, можно получать конструкционно - теплоизоляционные бетоны одинаковой прочности, но с разным значением коэффициента конструктивного качестве (ККК), выражающего зависимость между их плотностью и прочностью.

Одним из главных показателей, оказывающих влияние на свойства легких бетонов, является характер пористости заполнителя определяющий не только их плотность, но и однородность структуры.

Исследования показали, что в подавляющем большинстве зерна пористых заполнителей имеют поры диаметром от 0,1 до 1 мм. Следовательно, влага в них проникает вместе с частицами цемента, что обусловливает высокую силу сцепления заполнителя с цементным камнем.

Повышенной прочностью сцепления с цементным камнем обладают пористые заполнителя с развитой открытой пористостью.

Сравнение имеющихся в литературе данных, характеризующих различные пористые заполнителя /табл.43./ показало, что наибольший диапазон плотности и водопоглощения имеет керамзитовый гравий, ему же соответствует и наиболее высокие показатели прочности. Показатель водопоглощения отражает характер пористости заполнителей. Распределение открытых и закрытых пор наиболее равномерно также у керамзита. Следует отметить, что все неорганические заполнители обладают недостаточно низкой плотностью и теплопроводностью.

Сравнительные характеристики пористых заполнителей

Таблица-43

Заполнитель	Водопогло-щение по массе, %	Средняя плотность кг/м^3	Теплопро-водность, Вт/м.К	Прочность при сжатии МПа
Керамзитовый гравий	12-30	300-800	0.2-0.5	0.8-5.5
Вспученный перлит	29-30	100-300	0.04-0.06	0.3-0.6
Аглопоритовый щебень	16-31	800-1100	022-0.6	0.65-1.6
Шлаковая пемза	13-31	800-1100	-	0.6-2.7
Гранулы пенополистирола	до 3	10-35	0.02-0.03	0.05-0.15

В отличие от неорганических пористых заполнителей, данные характеризующие гранулы пенополистирола, свидетельствуют о совершенно

ином строении органического искусственного заполнителя, которому присуща, как известно, мелкоячеистая, сотовая структура.

Низкая плотность такого заполнителя, высокие теплоизоляционные свойства обусловливают целесообразность использования его для получения легких бетонов.

Представляют интерес легкие бетоны на минеральных пористых заполнителях, в которых вспененный полистирольный песок применен для снижения плотности материала. Применение таких бетонов в стеновых панелях позволило улучшить их теплотехнические характеристики и получить экономию тепловых затрат.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость изыскания путей создания эффективных композиций, в которых могли бы быть реализованы свойства легкого полимерного заполнителя, в частности пенополистирола.

При разработке таких композиций следует принимать во внимание общие основные тенденции, наблюдающиеся в исследованиях, посвященных получению легких бетонов на традиционных неорганических пористых заполнителях, и учитывать специфику органического заполнителя, связанную с природой его исходного сырья и технологией изготовления.

ГЛАВА 9. ПРОМЫШЛЕННОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛБЕТОНА И ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

9.1. Пенополистиролбетон

Исследованиям и разработкам в области пенополистиролбетонов на портландцементном вяжущем посвящены работы Вайсбурда А.М. с соавторами. В которых приводятся общие сведения об имеющихся в настоящее время результатах изучения таких материалов, а также данные, полученные ими в ходе проведенных экспериментов.

Первое отечественное получение пенополстиролбетонов на портландцементе относится к 1965 г. Щебень из отходов пенополистиролбетона применяли в качестве заполнителя, так называемого «пороластобетона», которым утепляли кровли.

В 1967 г. были разработаны составы легкого бетона /табл.44/ состоящего из вспененных полистирольных гранул, речного кварцевого песка и портландцемента марки 500. Полученный материал опробовали в производственных условиях на стандартном оборудовании заводов железобетонных изделий.

В результате этих работ было установлено, что свойства такого бетона значительно отличаются от бетонов на пористых минеральных заполнителях и изменяются в зависимости от содержания цемента, песка, крупности гранул и степени их предварительного вспенивания.

Как отмеченно в работе Новгородского В.И. и Вайсбурда, ДНИИЭПсельстрой с 1971 г. широко применяет легкий бетон на пенополистирольном заполнителе в строительстве во всех регионах стран СНГ, а в исследованиях Жук В.И. приводятся сведения об использовании его, в частности, на Чукотке.

Госстроем Республики Узбекистан была рекомендовано технология изготовления наружных стеновых панелей из полистиролбетона.

Составы полистиролбетона и его физико-механические характеристики

Таблица-44

Средняя плотность, кг/м^3	Расход материалов на 1 м^3 бетона					В/ц	Прочность при сжатии МПа	Теплопроводность, вт/мК
	Цемент, кг	Песок, кг	Гранулы пенополистирола м^3	Добавки, %	Вода, л			
350	250	-	1.2	0.45	120	0.48	0.7	0.078
400	300	-	1.2	0.5	126	0.44	1.0	0.082
500	330	50	1.1	0.6	150	0.46	1.5	0.12
600	400	85	1.1	0.7	180	0.45	2.6	0.16
700	430	140	1.07	0.75	190	0.44	3.7	0.182
800	460	190	1.07	0.8	200	0.43	5.0	0.2
900	480	240	1.0	1.0	208	0.43	6.2	0.23

В НИИСК Госстроя России разработали легкую панель покрытия, представляемую собой сварную конструкцию из стальных профилей с приваренной к ним арматурной сеткой. Заполнены ячейки полистиролбетоном с плотностью 400….450 кг/м^3.

Исследователями Узбекистана на местных материалах подобраны составы теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного пенополистиролбетонов с плотностью соответственно 400…500… и 600…900 кг/м^3, а также разработана передвижная установка для приготовления этих видов бетона и вспенивания гранул полистирола.

Легкий бетон с заполнителем из гранул пенополистирола получил большое распространение за рубежом. Наиболее известны работы фирмы «ВАР» (Германия), которая совместно со швейцарской фирмой «РО» проводит исследования направленные на создание цементного пенополистиролбетона с заданными свойствами.

Этими фирмами разработаны специальные установки по производству легкого бетона различной плотности, в котором используются вспененные гранулы полистирола, покрытые тонким слоем цемента с помощью специального вяжущего вещества.

Немецкая фирма «ВАР» запатентовала способ производства «стиробетона». В таком бетоне 70% объема занимают вспененные частицы пенопласта, остальные 30% приходятся на долю цемента и песка.

Фирма разработала составы легкого бетона с плотностью 200…1000 кг/м^3 и прочностью при сжатии 0.5…7 МПа.

Этот материал характеризуются теплопроводностью соответственно 0.08…0.2 вт/м. К, что позволяет использовать изделия и конструкции из него во всех климатических зонах. Стиропорбетонные стеновые панели толщиной 8 см. сохраняют огнестойкость в течении 90 мин, а толщиной 10 см - 120 мин.

Швейцарская фирма «РО» разработала экструзионную формовочную машину для формования, в том числе армированных панелей, из пенополистиролбетона.

В настоящее время «стиробетон» применяется в странах Западной Европы в качестве морозостойкого основания для железных дорог, для

изготовления стеновых панелей, утепления кровель, теплого основания для полов животноводческих зданий.

Характеристика легких бетонов на различных заполнителях

Таблица-45

Вид бетона	Плотность в сухом состоянии, кг/м^3	Прочность на сжатие, Мпа	Начальный модуль упругости, МПа	Теплопроводность, Вт/мК	Водопоглощение, %, по массе
Полистиролбетон	350-900	0.7-6.0	2000	0.08-0.23	6-12
Керамзитбетон	650-1800	1.5-30.0	3500-18000	0.2-0.65 0.35-0.8	14-23
Аглопоритобетон	750-1900	1.5-20.0	3500-18000	0.3-0.6	12-23
Шлакопемзобетон	900-1850	3.5-20.0	3500-12000	0.12-0.55	11.5-12
/термозитобетон/	350-1000	0.7-7.5	700-2000	0.3-0.44	25-60
Перлитобетон	900-1300	5.0-10.0	7000-10000	0.18-0.4	14-21
Шунгизитобетон	600-1200	2,5-7,5	1700-5000		14-35

В Чехословакии такой материал используют для изготовления сборных строительных элементов, а также монолитных теплоизоляционных и конструкционно - теплоизоляционных конструкций.

Начато применение легкого бетона с заполнителем из пенополистиролбетона в Нидерландах.

Оценка способов приготовления бетонной смеси, применяемых как в отечественной, так и в зарубежной практике, показала целесообразность двухстадийной схемы, включающей приготовление в смесителе принудительного действия цементного раствора на основе мелкого минерального заполнителя, добавки воды, а затем введение в этот раствор полистирольного заполнителя и перемешивание смеси. Общее время, затраченное на один замес, составляет примерно 4….6 мин.

В работе Вайсбурда А.М. и Тер-Осипянца Р. предложена трехстадийная схема приготовления полистиролбетонной смеси, согласно которой необходимо использовать два смесителя принудительного действия. В одном полистирольный заполнитель обрабатывается высокомолекулярным соединением, а затем, когда гранулы равномерно покрыты пленкой в смеситель вводится 20% цемента, необходимого для замеса и вся смесь тщательно перемешивается. Параллельно в другом смесителе, оборудованном вибратором, приготавливается растворная часть. При постоянном перемешивании в раствор вводится заполнитель из первого смесителя и смесь снова перемешивается.

Добавки, используемые для обработки полистирольных гранул, способствуют повышению их сцепления с цементным камнем, т.е устранению главного недостатка полистирола как заполнителя.

Фирма «ВАР» в качестве такой добавки применяет водную дисперсию поливинилпропионата.

До 20% увеличения прочности дает способ приготовления бетона, при котором гранулы пенополистирола предварительно обрабатывают полимерцементным клеем. Эффективно осуществлять покрытие гранул

известковым молоком, а затем в течение 10…20 мин. подвергать их термообработке при температуре свыше 100^0С. Резко возрастает прочность пенополистиролбетона (до 60%) при применении полистирольных гранул, покрытых следующим составом: эпоксидная смола с разбавителем-ацетоном, наполнителем-портландцементном и отвердителем-полиэтиленполиамином.

Для получения пенополистиробетона рекомендуется вводить в его состав воздухововлекающую добавку ЦНИИПС-I. Введение в бетонную смесь добавки ВРП-I в количестве 0.05…I% от массы цемента значительно уменьшает расслаиваемость смеси.

Приведенные нами выше способы приготовления полистиролбетонных смесей, по своей сути соответствуют традиционным технологиям, используемых для изготовления легких бетонов. Сущность рекомендуемого вибрационного воздействия заключается в одновременном тиксотропном разжижении цементного теста и изменении пространственного расположения заполнителя для получения наиболее компактной упаковки зерен и следовательно, наиболее плотной структуры бетона.

Исследования по определению наиболее эффективных режимов виброформования полистиролбетонных смесей пока не дали стабильных однозначных результатов.

Нет однозначного ответа и на вопросы о наиболее рациональных и эффективных режимах тепловлажностной обработки полистиролбетона.

Отмечено, что в период подъема температуры от теплового расширения заполнителей, воды, воздуха, газов размеры свежеотформованного изделия меняются. Минеральный заполнитель и цемент расширяются, по сравнению с другими компонентами, незначительно.

При быстром подъеме температуры расширение воды, пара, воздушной смеси и гранул полистирола вызывают остаточные деформации в изделиях, подвергаемых тепловой обработке в открытых формах. В закрытых же тепловое расширение составляющих бетонной смеси и довспенивание

пенополистирола ограничивается формой. Рекомендуемый в работе режим для изделий в открытых формах включает предварительную выдержку 4…6 ч., подъем температуры до 80^0С, изотермический прогрев при 80^0С в течении 4 ч., охлаждение, а для изделий в закрытых формах: подъем температуры до 90….100^0С в течение 1 ч. без предварительной выдержки, изотермический прогрев при 90…100^0С в течение 4 ч. и охлаждение.

Анализ производственного опыта применения полистиролбетонных конструкций и изделий в строительстве, а также ряда поисковых и исследовательских работ по технологии изготовления полистиролбетонных конструкций свидетельствует о том, что при разработке технологических режимов не учитываются многие специфические структурные и другие особенности полистиролбетона.

Из результатов отечественных и зарубежных исследований следует, что с увеличением количества цемента при постоянном водоцементном отношении возрастает подвижность полистиролбетонной смеси. Для получения легкоподвижной, хорошо укладываемой смеси цементное тесто должно не только заполнить пустоты между гранулами, но и создать некоторую прослойку. Поэтому, как правило, в полистиролбетонных смесях имеет повышенный расход цемента.

В результате исследований и изучения полистиролбетонов, полученных на портландцементе, целым рядом ученых установлены их основные характеристики.

Так, по данным прочность таких бетонов при изгибе составляет 0,36…..0,85 МПа, а при растяжении 0,11…0,32 МПа.

По определению чехословацких исследователей, при плотности полистиролбетона 850 кг/м^3 модуль упругости составляет $0.9.10^4$ МПа, а по данным фирмы «ВАР», при плотности 750 кг/м^3 он равен 2.10^4МПа.

В то же время результаты исследований НИИСП Госстроя Украины свидетельствуют о том, что модуль упругости равен (2.9….3.4) 10^4 МПа при плотности бетона 800 кг/м^3.

Усадочные характеристики полистиролбетона различного состава колеблются в пределах 0.6….2мм/м.

В зарубежных литературных источниках мало обоснованных сведений о морозостойкости таких бетонов, однако отмечаются довольно высокие значения этого показателя.

Аналогичные данные приводят отечественные исследователи, подчеркивая, что морозостойкость полистиролбетонов превышает морозостойкость других видов бетонов.

Положительные характеристики многих свойств полистиролбетона на портландцементе, не исключают наличие и присущих ему недостатков, обусловленных присутствием в его составе значительного количества вяжущего.

Так, например, при попеременном увлажнении и высыхании прочность бетона может резко падать, т.к. в этом случае в цементном камне создаются значительные напряжения сжатия и растяжения.

Устранение недостатков цементных пенополистиролбетонов, по мнению некоторых исследователей, может быть обеспечено при использовании других видов вяжущих.

Так, в ЦНИИЭПжилище разработан новый теплоизоляционный материал на основе гранул пенополистирола и гипсоцементно-пуццоланового вяжущего с плотностью 190…220 кг/м^3, теплопроводностью 0.063…0.065 Вт/м.К, а также теплоизоляционный материал, в котором в качестве с вяжущего используется жидкое стекло.

Однако, применение этих видов вяжущих, вследствие их невысокой активности, не проводит к желаемым результатом и не позволяет на их основе

получить пенополистиролбетоны, отвечающие требованиям современного строительства.

Для решения этих вопросов, необходимо использовать высокоактивные вяжущие. К ним относятся шлакощелочные /ЩЩВ/, разработанные в Проблемной научно-исследовательской лабораторий Киевского инженерно-строительного института (В.Д. Глуховский и др.) и Ташкентского архитектурно-строительного института (У.А. Газиев, А.А. Тулаганов и др.).

9.2. Характеристика сырьевых материалов для получения шлакощелочных пенополистиролбетонов

В качестве основных компонентов вяжущих и строительных материалов использовали отвальный электросталеплавильный шлак (г. Бекобод) и электротермофосфорный шлак Чимкентского объединения «Фосфор». Их химические составы, а также портландцемента приведены в табл.46. Используемый электротермофосфорный шлак является отходом электротермического восстановления фосфора из фосфоритов коксом при 1400…1600^{0}С.

По своему химическому и минералогическому составу электротермофосфорный шлак близок к основному. Кроме того, применяли, для сравнительных испытаний, портландцемент М 400 Ахангаранского комбината.

Объемная насыпная масса шлака-1220 кг/м^3, плотность 2800 кг/м^3, а портландцемента соответственно – 1150 и 3100 кг/м^3, .

В качестве щелочного компонента шлакощелочного вяжущего использовали содосульфатную смесь-отход производства, капралактама Чирчикского ПО «Электрохимпром», а также химически чистую соду, в качестве добавки – натриевую соль сополимера салициловой кислоты с формальдегидом (ВРП-I).

Химический состав исходных сырьевых материалов

Таблица-46

Наименование	Массовая доля оксидов материалов: %								
	ППП	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Mg O	SO_3	MnO	TiO_2
Элетротермофосфорный шлак (ЭТФ)	0.8 0.9	39 42.3	2.5 2.81	0.4 0.51	43 45	7,45 6,53	0.8 0.9	2.1 2.9	0…. 0.1
Отвальный электросталеплавильный шлак (ОЭС)	0.8 1.2	15.6 25.0	4.8 10.6	4.46 6.72	1.9 55	2.0 6.4	0.1 0.18	3.1 7.27	0.67 0.91
Портландцементный клинкер	0.6 0.7	21 24	4… 7	2… 4	63 66	0.5 1	0.6 0.8	1.1 1.5	0.2 0.3

Свойства шлакощелочного вяжущего, получаемого затворением, молотого шлака раствором щелочного компонента, приведены в табл.47.

В качестве мелкого заполнителя применяли песок Чиназского карьера с Мкр=1,8-2 и немолотый электротермофосфорный шлак естественной гранулометрии. Результаты ситового анализа песка и шлака приведены в табл.48.

В качестве крупного заполнителя применяли вспененные гранулы крупностью 3-5 мм из отсевов производства полистирола суспензионного вспенивания, который получают в присутствии инициатора и изопентана (C_5H_{12}) как порообразователя. Объемная насыпная масса вспененного полистирола – 90 кг/м^3.

Свойства портландцемента и шлакощелочного вяжущего

Таблица-47

Вид вяжущего	тонкость помола, $см^2/г$	сроки схватывания, час-мин		активность вяжущего Мпа, при испытании на:	
		начало	конец	изгиб	сжатие
Портландцемент	2900	2-30	5-10	6.1	42.0
Шлакощелочное вяжущее	3000	3-10	5-50	4.3	32.0
	-«-	1-50	4-10	4.9	42.0
	-«-	1-10	3-20	5.2	44.0

Результаты ситового анализа немолотого электротермофосфорного шлака и песка Чиназского карьера

Таблица-48

Наименование	частные остатки на ситах, проц.					прошло через сито 0.14 проц.	к-во от-мученных глинистых и пылеватых частиц проц.	модуль круп-ности
	2.5	1.25	0.63	0.315	0.14			
Песок	0.5	0.8	1.2	65	29.6	2.08	1.1	1.8
Электротермо-фосфорный шлак	1.82	13.6	42.32	36-32	3.26	2.0	-	2.66

9.3. Методика исследований

В соответствии с задачами экспериментальные исследования включали изучение физико-химических процессов, происходящих при твердении шлакощелочных вяжущих в присутствии органических веществ, исследование технологических параметров получения пенополистиролбетона; разработку составов бетона и исследования основных свойств пенополистиролбетона.

Электротермофосфорный шлак /ЭТФ/ или электросталеплавильный /ЭСП/ мололи в шаровой мельнице до удельной поверхности 3000 $см^2$/г.

Приготовление смешанных вяжущих осуществляли смешением тонкоизмельченного ЭТФ и ЭСП шлаков в требуемой пропорции согласно Рекомендациям Ташкентского архитектурно-строительного института.

Шлакощелочное вяжущее получали затворением смеси молотых шлаков раствором щелочного компонента.Приготовление вспученного полистирола производили в пропарочной камере при температуре $92^{\pm}$ 3^0С.

Исходные компоненты вяжущего и продукты их взаимодействия изучали с помощью химического, спектроскопического /ЯМР,ИКС/ и электронномикроскопического анализов. Химический анализ осуществляли в соответствии с нормативными требованиями весовым методом.

Электронномикроскопические исследования производили на электронном микроскопе УЗМВ-100 методом суспензии, или угольных реплик. Расшифровку электронномикроскопических снимков производили путем сравнения их с известными данными в литературе.

Определение величины пластической прочности теста осуществляли с помощью конического пластометра конструкции Ребиндера по его методике .

Активность вяжущих гидратационного твердения определяли по методике нормативных документов.

Исследование свойств бетонов осуществляли известными методами, испытывая вибрированые образцы-кубы размером 7,07х7,07х7,07 и 10х10х10см.

9.4. Оптимизация составов пенополистиролбетона

На начальной стадии подбора составов шлакощелочного пенополистиролбетона необходимо определить вид используемого полистирола: вспученный или невспученный.

Для определения возможности применение невспученного полистирола его вводили в шлакощелочную растворную смесь путем перемешивания в растворомешалке принудительного перемешивания. Состав смеси на 1 $м^3$ бетона: 430 кг. вяжущего + 180 л раствора соды плотностью 1180 кг/$м^3$ + 140 кг. песка + 90 кг. невспученного полистирола. Приготовленную массу выливали в форму и герметически закрывали. Затем ее пропаривали по режиму 3+5+2 ч с изотермической выдержкой при температуре 95 ± 3^0С. При таком режиме ТВО должно происходить вспучивание полистирола, уплотнение смеси и формирование структуры качественного бетона. Однако из-за несоответствия скорости структурообразования шлакощелочного вяжущего и скорости вспучивания полистирола происходит образование внутренних напряжений в бетоне и, как следствие, образование трещин. Поэтому в дальнейших исследованиях использовали вспученный полистирол.

Установлено, что на свойства шлакощелочного пенополистиролбетона оказывает значительное влияние состояние контактной зоны вяжущее: гранула полистирола. В соответствии с полученными результатами для повышения прочности контакта гранула-матрица вяжущего вспученный полистирол обрабатывали раствором натриевой соли сополимера салициловой кислоты с формольдагедом /ВРП-1/. Поэтому перед оптимизацией составов бетона необходимо оптимизировать процесс обработки гранул указанным раствором, путем подбора как концентрации раствора, так и продолжительности обработки

им гранул. Для этих целей гранулы вспученного полистирола последовательно перемешивали в смесителе принудительного действия с растворами различной концентрации в течении 60 с, затем полистирол отфильтровывали через сито и вводили в состав бетона. Составы бетона в результате испытаний приведены в табл.49. Из анализа экспериментальных данных установлено, что оптимальной концентрацией раствора является 0.1%.

Влияние обработки гранул вспученного полистирола раствором ВРП-1 на свойства пенополистиролбетона

Таблица -49

Состав бетона на 1 м^3				Влияние концентрации раствора ВРП-1 на прочность бетона при сжатии:		Влияние продол-жительности обработки раствором ВРП-1 гранул на прочность бетона при сжатии	
Молотый шлак, кг	Песок, кг	Вспучен-ные гранулы полисти-рола, кг	Раствор соды $Р^{л}_{0}$= 1180кг/м^3	Концен-трация %	Проч-ность, Мпа	Время, мин	Прочность, МПа
430	140	90	180	-	4,7	-	4,7
				0,05	5,0	0,5	5,2
				0,10	5,3	1,0	5,3
				0,15	5,3	1,5	5,3
				0,20	5,0	2,0	5,4

Используя раствор оптимальной концентрации, определяли оптимальное время перемешивания.

Установлено, что оптимальной продолжительностью перемешивания является 30-60 с. На основании полученных данных можно приступить к оптимизации состава пенополистиролбетона.

Оптимизация состава пенополистиролбетона велась по затратному критерию путем минимизации расхода вяжущего.

Ограничениями в оптимизируемой модели являлись прочность бетона при сжатии, его усадка на 28 сутки твердения в воздушно-влажностных условиях, а также средняя плотность получаемого материала. Необходимость введения ограничения по усадке бетона обусловлена требованиями к несущим стеновым панелям, чтобы величина усадочных деформаций не превышала 0,35 мм/м.

Пределы варьирования переменных и экспериментальная зависимость прочности бетона от его состава

Таблица-50

№ опыта	условные переменные				натуральные переменные				прочность при сжатии бетона, МПа
	X_1	X_2	X_3	X_4	алюмо-силикатная составляю-щая, кг	щелочной раствор, л	Песок, кг	плотность раствора, кг/м^3	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	+	+	+	+	350	140	600	1.18	11
2	-	+	+	+	250	140	600	1.18	10.4

3	+	-	+	+	350	122	600	1.18	10.5
4	-	-	+	+	250	122	600	.18	8.9
5	+	+	-	+	350	140	250	1.18	9.4
6	-	+	-	+	250	140	250	1.18	7.4
7	+	-	-	+	350	122	250	1.18	10
8	-	-	-	+	250	122	250	1.18	7.1
9	+	+	+	-	350	140	600	1.1	5.5
10	-	+	+	-	250	140	600	1.1	5.5
11	+	-	+	-	350	122	500	1.1	6.2
12	-	-	+	-	250	122	600	1.1	5.3
13	+	+	-	-	350	140	250	1.1	5.8
14	-	+	-	-	250	140	250	1.1	4.5
15	+	-	-	-	350	122	250	1.1	7.8
16	-	-	-	-	250	122	250	1.1	5.6
17	+	0	0	0	350	131	425	1.14	8.3
18	-	0	0	0	250	131	425	1.14	6.9
19	0	+	0	0	300	140	425	1.14	7.5
20	0	-	0	0	300	122	425	1.14	7.7
21	0	0	+	0	300	131	600	1.14	8.6
22	0	0	-	0	300	131	250	1.14	7.8

Коэффициенты регрессий зависимостей прочности бетона и его усадки от состава

Таблица-51

коэффициенты регрессии	коэффициенты регрессий зависимостей свойств бетона от его состава:	
	прочность	усадка
B_0	7.586	0.422
B_1	0.722	-0.023
B_2	0.11	0.029
B_3	0.363	0.046
B_{33}	0.617	0
B_4	1.781	0
B_{44}	-0.653	0
B_{12}	-0.244	0
B_{13}	-0.348	0
B_{14}	0.177	0
B_{23}	0.293	0
B_{24}	0.312	0
B_{34}	0.507	0

Подвижность бетонной смеси при формировании материала была принята постоянной жесткостью по техническому вискозиметру 1-3 сек.

Переменными факторами являлись расходы молотого шлака (алюмосиликатной составляющей вяжущего), раствор соды, песка, полистирола, а также плотность щелочного компонента /табл.50./.

Установление зависимостей производили с помощью метода планирования эксперимента.

В результате обработки экспериментальных данных получены коэффициенты регрессии (табл.51.).

Для анализа зависимости прочности бетона от его состава строили изолинии ее величины на исследуемом факторном пространстве в принятых пределах варьирования переменных.

Рассматривая графическое представление результатов, можно отметить, что на величину прочности, в первую очередь, оказывет влияние расходы шлака /X_I/, щелочного раствора /X_{II}/ а также его плотность /X_4/.

При плотности щелочного раствора 1180 кг/м^3 возможно получение бетонов, обладающих прочностью на 28 сутки естественного твердения от 7.5 до 10.5 МПа. Уменьшение плотности раствора до 1140 кг/м^3 приводит к соответствующему уменьшению прочности, которая колеблется в пределах 6-9 МПа.

Дальнейшее уменьшение плотности раствора до 1100 кг/м^3 приводит к получению бетонов с прочностью 5-7.5 Мпа. Такие значения прочности бетонов недостаточны для получения качественного материала и, поэтому в дальнейших исследованиях нижний предел плотности раствора ограничен значением 1140 кг/м^3.

Проведенными экспериментами установлено, что зависимость усадки бетона от плотности раствора соды в пределах ее варьирования 1140-1180 кг/м^3 выражена слабо.

Зависимости усадки бетона от его состава из переменных факторов величина плотности щелочного раствора исключена.

Пределы варьирования переменных и экспериментальная зависимость усадки бетона от его состава приведены в табл.52.

Таблица-52

№ опыта	условные переменные			натуральные переменные			усадка бетона мм/м
	X_1	X_2	X_3	вяжущее, кг	раствор щелочного компонента, л	песок, кг	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	+	+	350	140	600	0.38
2	-	+	+	250	140	600	0.43
3	+	-	+	350	122	600	0.37
4	-	-	+	250	122	600	0.37
5	+	+	-	350	140	250	0.39
6	-	+	-	250	140	250	0.48
7	+	-	-	350	122	250	0.41
8	-	-	-	250	122	250	0.49
9	+	0	0	350	131	425	0.40
10	-	0	0	250	131	425	0.45
11	0	+	0	300	140	425	0.45
12	0	-	0	300	122	425	0.38
13	0	0	+	300	131	600	0.38
14	0	0	-	300	131	250	0.47
15	0	0	0	300	131	425	0.40

Для анализа зависимости усадки бетона от его состава строили изолинии ее величины на исследуемом факторном пространстве в принятых пределах варьирования. Рассматривая графическое представление результатов, можно

отметить, что на величину усадки в первую очередь оказывает влияние расход песка. С увеличением его расхода величина усадки резко снижается. Влияние расходов алюмосиликатный составляющей и раствора соды более сложное. На величину усадки, как это следует из данных, в первую очередь влияют не сами расходы, а их соотношение – величина Р/Ш. Чем больше Р/Ш, тем больше усадка.

Анализ абсолютных значений усадочных деформаций показывает, что в основной массе они превышают предельные значения усадки, допускаемые в легких бетонах, используемых в несущих стеновых панелях. Поэтому разработанные составы конструктивно-теплоизоляционных пенополистирол-бетонов могут использоваться в навесных стеновых панелях, в которых требования по усадке бетона не предъявляются.

Анализ значений средних плотностей бетона позволил установить следующую зависимость:

0=Пол.+I.15Ш+П

где 0 – средняя плотность пенополистиролбетона, кг/м^3,

Пол - расход вспученного полистирола на 1 м^3 бетона кг:

Ш - расход вяжущего, кг. на 1 м^3 бетона:

П - расход песка, кг,

Таким образом, получена следующая оптимизационная модель:

F = Ш min

0= Пол + 1.15 Ш+П

R = f (Ш,Р,S,П)

S= f (Ш,Р,П)

Оптимальные составы конструкционно-теплоизоляционного пенополистиролбетона на основе шлакощелочного вяжущего

Таблица-53

№ состава	средняя плотность, кг/м^3	накладываемые ограничения по:		состав бетона				
		прочности МПа	усадке, мм/м	алюмосиликатная составляющая, кг (молотый шлак)	песок, кг	раствор соды, л	вспученный полистирол, кг	плотность р-ра соды, кг/м^3
1	700	11	0.37	Нельзя получить по ограничению прочности				
2	850	9	0.37	300	425	130	80	1180
3	700	7.5	0.40	320	250	140	80	1140
4	700	8.0	0.43	Нельзя получить по ограничению прочности				
5	980	10	0.31	350	500	132	80	1180

Оптимальные составы теплоизоляционных пенополистирольных шлакошелочных бетонов

Таблица-54

№ состава	средняя плотность кг/м^3	расход материалов на 1 м^3 бетона			прочность при сжатии, МПа
		алюмосиликатная составляющая, кг (молотый шлак)	раствор, л	полистирол, кг	
1	400	260	130	78	0.8
2	450	310	156	72	0.9
3	500	370	190	70	1.1

Решение разработанной модели осуществляли с помощью персонального компьютера по программе «Эврика».

Указанные составы пенополистиролбетона являются оптимальными с точки зрения минимума расхода вяжущего при удовлетворении предъявляемых требований по прочности и усадке конструктивно -теплоизоляционного пенополистиролбетона на основе шлакощелочного вяжущего.

В то же время варьированием состава пенополистиролбетона возможно получение не только конструктивно – теплоизоляционных бетонов, но и теплоизоляционных. В последнем случае требования по усадке не предъявляются. Поэтому подбор состава производили экспериментально исходя из требования минимизации средней плотности бетона /табл.54./.

Плотность раствора соды принята 1180 кг/м^3, при меньших плотностях прочность бетона значительно снижается.

Таким образом в результате проведенных исследований предложены оптимальные составы как конструктивно – теплоизоляционных, так и теплоизоляционных бетонов. Табл. 53 и 54. это позволяет перейти к определению технологических параметров получения пенополистиролбетона.

9.5. Определение технологических параметров получения пенополистиролбетона

Определение технологических параметров получения пенополистиролбетона включало изучение условий введения в состав вяжущего ВРП-1, особенностей технологии изготовления изделий, обусловленных низкой средней плотностью и прочностью гранул вспученного полистирола, а также назначением параметров обработки вспученного пенополистирола раствором ВРП-1. Вопросы влияния режимов тепловлажностной обработки на качестве продукции будут рассмотрено отдельно.

Известно, что применение ПАВ в шлакощелочных вяжущих эффективно при их введении в момент помола шлака.

Поэтому исследовали влияния ВРП-1 на свойства шлакощелочного вяжущего вводимой указанным путем. Из анализа экспериментальных данных принято оптимальное содержание добавки 0.1% от массы вяжущего. При этом тонкость помола вяжущего составляет 2800- 3200 $см^2/г$ по прибору ПСХ-2. Исследование особенностей введения вспученного пенополистирола в бетонную смесь и необходимость назначения соответствующих технологических параметров вызвано требованием организации технологического процесса, исключающего расслоение смесей. Вследствие низкой прочности вспученного полистирола применение пригрузов при формовании часто приводит к значительному повышению плотности теплоизоляционного бетона. Поэтому исключение расслоения смесей достигали регулированием их вязкости. Для этих целей определяли изменение подвижности шлакощелочного теста с рабочим Р/Ш, применяемого для приготовления теплоизоляционного пенополистиролбетона и цементнопесчанной смеси с требуемым Р/Ш, используемой для получения конструкционно-теплоизоляционного бетона. Плотность щелочного раствора была принята, в соответствии с результатами подбора состава теплоизоляционного бетона, равной 1180 $кг/м^3$.

Структурная вязкость шлакощелочного теста с высоким Р/Ш значительно снижается, поэтому изменение подвижности теста во времени исследовали с помощью вискозиметра Суттарда. /табл.55./.

Сопоставление изменения подвижности во времени со способностью теста удерживать вспученный полистирол, и тем самым предотвращать расслоение смеси, показало, что при использовании теста с подвижностью 10 см, полученный в результате его предварительного выдерживания в течение 30 м. расслоение смеси не наблюдается.

Кинетика изменения вязкости теста

Таблица-55

Расплыв конуса по Суттарду, см, после приготовления смеси через ч.					
0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5
12 см	10 см	10 см	9 см	8 см	6 см

Одновременно с исследованием вязкости теста с помощью вискозиметра Суттарда определяли его пластическую прочность после выдерживания в течение 30 мин. с помощью конического пластометра конструкции Ребиндера, по его методике.

На основе экспериментальных данных, устанавливающих зависимость погружения конуса в тесто от прикладываемой нагрузки, определяли соответствие величины квадрата глубины погружения конуса от нагрузки. На основание полученных данных рассчитывали пластическую прочность теста по формуле:

$$\mathbf{P_m = K_J F|h^2 m}$$

где K_J – константа, составляющая для конуса с углом 45^0 - $0.658.10^5$;

F – определяется графически, исходя из опытных величин нагрузок, дин/см^2.

h_m – глубина погружения конуса в массу, см.

Величина пластической прочности, содержащей вспученный полистирол смеси, для которой уже не характерно расслоение равна $3.71.10^5$ дин/см^2.

Таким образом, приготовление смеси для теплоизоляционного пенополистиролбетона включает ряд этапов. На первом - приготовление теста,

затем его выдерживание в специальной емкости в течение 30 мин. На втором – вторичное перемешивание с вспученным полистиролом и последующей укладкой смеси в форму.

Избежать расслоение смеси можно и при меньших значениях Р/Ш без ее предварительного выдерживания, однако в этом случае получаемый бетон характеризуется большей средней плотностью при той же прочности, что указывает на неэффективность приготовления бетонов без предварительного выдержевания смеси.

Исследование способности к расслоению шлакощелочных растворных смесей, применявшихся для получения конструкционно-теплоизоляционного пенополистиролбетона показало, что пластическая прочность растворной смеси за счет содержания в ней песка достаточно высока и превышает $3.71.10^5$ дин/см^2. Поэтому такую смесь предварительно выдерживать не надо и вводить полистирол можно одновременно с приготовлением растворной смеси. Получаемая смесь с вспученным полистиролом характеризуется осадкой конуса 2-4 см.

Для повышения однородности смеси ее следует приготавливать в смесителях принудительного действия и перемешивать не менее 3 мин: сперва вяжущее + раствор соды + песок, а затем еще перемешивать 3 мин. совместно с вспученным полистиролом.

Формование изделий из теплоизоляционного или конструкционно – теплоизоляционного пенополистиролбетона производят в обычной форме путем разравнивания и стыкования смеси без ее вибрационного уплотнения.

Результатом установленной последовательности изготовления шлакощелочного пенополистиролбетона и рекомендованных технологических параметров его получения явилась разработка принципиальной технологической схемы.

Следующим важным этапом в назначении технологических параметров изготовления изделий, влияющих на свойства продукции, является определение условий и режимов их твердения.

9.6. Влияния условий и режимов твердения на свойства пенополистиролбетонов

Из анализа экспериментальных данных /табл.56/, устанавливающих связь свойств /прочности при сжатии и изгибе, а также средней плотности/ теплоизоляционного пенополистиролбетона с параметрами и режимами тепловлажностной обработки материала следует, что ее параметры и режимы значительно влияют на свойства материала. Так, с повышением давления насыщенного пара, создаваемого при изотермической выдержке в процессе тепловлажностной обработки, прочность материала повышается. Наиболее высокая прочность бетона после тепловлажностной обработки, независимо от давления пара при изотермической выдержке, соответствует 3+5+2 ч, который был принят оптимальным и использовался в последующих экспериментах.

Достигаемый результат повышения прочности объясняется интенсифицирующим действием на процессы гидратации повышенных температур и давлений. Относительно больший рост прочности бетонов с низкой средней плотностью, по сравнению с бетонами с более высокой средней плотностью, можно объяснить за счет уменьшения дефектности их структуры. В то же время было отмечено, что с повышением параметров изотермической выдержки происходит не только повышение прочности бетона, но и снижение его средней плотности. Поэтому были проведены дополнительные исследования влияния тепловлажностной обработки на среднюю плотность.

Влияние параметров тепловлажностной обработки на физико-механические свойства теплоизоляционного пенополистиролбетона

Таблица-56

№ состава	параметры тепловлаж-ностной обработки		физико-механические свойства		
	давление МПа	режим, час	средняя плотность кг/м^3	прочность, МПа, при:	
				сжатии	изгибе
1	2	3	4	5	6
1	-	-	400	0.8	0.3
2	0,1	3+5+2	370	1.1	0.5
3	0,1	2.5+5+1.5	380	1.1	0.5
4	0,1	3+3+1	390	0.9	0.4
5	0,4	3+5+2	380	1.7	1.0
6	0,4	2.5+5+1.5	380	1.5	0.9
7	0,6	3+3+1	380	1.1	0.8
8	0,6	3+5+2	370	2.0	1.6
9	0,6	2.5+5+1.5	370	1.9	1.4
10	0,6	3+3+1	380	1.8	1.2
11	0,8	3+5+2	360	2.4	2.0
12	0,8	2.5+5+1.5	370	2.2	1.6
13	0,8	3+3+1	370	2.0	1.4

Из анализа экспериментальных данных следует, что относительно большее снижение средней плотности характерно для бетонов, обладающих более низкой первоначальной средней плотностью. Полученный результат можно объяснить изменением фазового состава новообразований при высоких температурах и давлениях. В этом случае, как известно, формируется

гидратные соединения с меньшим количеством связанной воды, по сравнению с соединениями, образующихся в нормальных условиях.

На снижение средней плотности бетонов также влияет то, что при параметрах теплоносителя 0,6 Мпа и 160^0С вспученный полистирол расплавляется и частично «выгорает». В результате такого процесса формируется высокодекоративная ноздреватая макроструктура бетона с меньшей плотностью. Оставшийся и затвердевший после тепловлажностной обработки полистирол в бетоне служит также дополнительным структурообразующим элементом. Особенно ярко положительное его влияние видно из результатов определения прочности и средней плотности бетона, подвергнутого после тепловлажностной обработки сушке при температуре 120 $\pm 3^0$С.

Положительное влияние сушки на свойства материала может быть объяснено не только кольматацией пор расплавом полистирола в условиях действия высоких температур, но также и кристаллизацией новообразований.

Исходя из данных изменения прочности и средней плотности теплоизоляционного пенополистиролбетона в период его сушки можно ограничить ее продолжительность 8 ч.

Таким образом, анализ экспериментальных данных позволяет рекомендовать повышенные параметры тепловлажностной обработки пенополистиролбетонов, связанные с его автоклавированием для получения высокоэффективных теплоизоляционных материалов, которые к тому же после автоклавной обработки обладают хорошими декоративными свойствами. Проведенные исследования влияния условий и режимов тепловлажностной обработки конструктивно – теплоизоляционного пенополистиролбетона /табл.57/ подтвердили общие закономерности характерные для формирования теплоизоляционного бетона, но позволили также установить и некоторые новые особенности. В первую очередь это связано с тем, что снижение средней плотности в процессе тепловлажностной обработки у конструкционно –

теплоизоляционных пенополистиролбетонов проявляется в меньшей степени, чем у теплоизоляционных. В то же время прирост прочности больше у конструктивно – теплоизоляционных.

Влияние параметров тепловлажностной обработки на физико-механические свойства конструкционно – теплоизоляционного пенополистиролбетона

Таблица-57

№ составов	параметры тепловлажностной обработки		физико-механические свойства	
	давление, МПа	режим	средняя плотность, кг/м^3	прочность, МПа, при сжатии
1	2	3	4	5
1	-	-	850	9
2	0.1	3+5+2	850	12
3	0.1	3+5+1	850	10
4	0.1	3+3+1	850	10
5	0.4	3+5+2	830	14
6	0.4	3+3+1	840	12
7	0.4	3+3+1	840	12
8	0.6	3+5+2	830	16
9	0.6	3+3+1	830	14
10	0.6	3+3+1	830	14
11	0.8	3+5+2	740	17
12	0.8	3+3+1	750	17
13	0.8	3+3+1	750	16

Это объясняется содержанием в конструктивно – теплоизоляционном бетоне в качестве мелкого заполнителя песка. Его наличие уменьшает содержание гидратов, поэтому и снижение средней плотности меньше. В то же время его присутствие обеспечивает химическое взаимодействие при высоких температурах и давлениях с шлакощелочным вяжущим, образованием новообразований, придающих высокую прочность искусственному камню.

Влияние сушки на свойства конструктивно – теплоизоляционного пенополистиролбетона также сказывается в меньшей степени, чем для теплоизоляционного.

Таким образом, анализ экспериментальных данных позволяет рекомендовать для конструкционно–теплоизоляционного пенополистирол-бетона как пропаривание, так и автоклавирование. Выбор режима тепловлажностной обработки определяется технико–экономическим обоснованием, учитывающим специфику реальных условий

9.7. Получение шлакощелочного пенополистиролбетона в промышленных условиях

На Ташкентском заводе ЖБИ проводились работы по выпуску опытно-промышленной партии конструкционно-теплоизоляционного пенополистирол-бетона.

Для этих целей использовали действующее оборудование предприятия.

Молотые до удельной поверхности 2800…3000 $см^2/г$ электротермо-фосфорный и бекабадский шлаки вручную загружали в расходные бункера бетоносмесительного цеха. Необходимое количество ВРП-1 вводили при помоле из расчета 0,1% от массы шлака.

В расходный бункер вспученные отходы пенополистирола, не обротанных раствором ВРП-1, загружали с помощью мешков. Обработку

гранул 0,1% раствором ВРП-1, производили в бетономешалке свободного падения, размещенной в формовочном цехе. Обработанные гранулы отфильтровывали через сито 2,5х 2,5мм, а оставшийся раствор после обработки использовали вторично. Песок для приготовления бетонной смеси поступал в соответствующий бункер бетоносмесительного цеха по существующей системе ленточных транспортеров. Раствор щелочного компонента (содосульфатную смесь) готовили вручную в бочке, а затем ведрами относили в бункерское отделение и заливали в бак для воды.Дозирование шлаков и песка – весовое, а вспененного пенополистирола и раствора содосульфатной смеси – объемное. Весовое дозирование осуществляли с точностью ± 1%, а объемное ± 2%.

Последовательность загрузки отдозированных компонентов в смеситель принудительного действия, в соответствии с рекомендациями, была принята следующая: щелочные раствор – шлаки –песок -вспененный пенополистирол. Перемешивание растворной смеси без вспененного пенополистирола 3 мин., а с вспененным пенополистиролом – еще 3 мин.

После перемешивания бетонную смесь выгружали в бадью объемом 1,2 $м^3$ и мостовым краном транспортировали к месту укладки. Приготовленная смесь характеризовалась жесткостью 1…2 с, определенной на техническом вискозиметре. На посту формования находилась подготовленная форма: смазанная и с уложенной в нее арматурой. Отформованные стеновые блоки и перегородочные панели путем разравнивания бетонной смеси без предварительного выдерживания поступали на тепловлажностную обработку в пропарочные камеры ямного типа. Всего было изготовлено 10 $м^3$ шлакощелочного пенополистиролбетона. Пропаривание производили по режиму 3+5+2 ч с температурой изотермической выдержки 85 ± 2^0С. Одновременно с указанными изделиями формовали контрольные кубики размером 10х10х10 см. После тепловлажностной обработки изделия осматривали, определяли среднюю плотность и прочность при сжатии

контрольных образцов. Составы материалов и результаты испытаний представлены в табл.58.

Анализ технологического процесса изготовления конструкционно - теплоизоляционного шлакощелочного пенополистиролбетона и результатов определения его физико-механических свойств показал, что разработанный процесс получения таких материалов характеризуется технологичностью, является более простым, по сравнению с процессом изготовления пенополистиролбетона на портландцементе, из-за отсутствия предварительного выдерживания изделий в течение 3 ч перед пропариванием и сокращения продолжительности обработки на 1,5 ч. Сравнение физико-механических свойств шлакощелочного пенополистиролбетона с портландцементным, обладающего одиноковой средней плотностью, показывает, что прочность при сжатии разработанных материалов на 20….30% выше, по сравнению с портландцементными. Это позволяет рекомендовать их для изготовления наружных самонесущих ограждающих конструкций.

Составы и физико-механические свойства конструкционно–теплоизоляционных шлакощелочных пенополистиролбетонов

Таблица-58

Состав пенолполистиролбетона, $м^3$					Средняя плотность бетона, $кг/м^3$	Прочность при сжатии бетона, МПа
Шлак, кг		Песок, кг	Вспученный пенополистирол $кг/м^3$	Раствор содо-сульфатной смеси, л.		
Электро-термофосфорнй	Бекабадский					
160 175	160 175	320 350	80 80	140 132	710 990	7.3 9.8

Экономическая эффективность предложенных материалов и процесса их изготовления подтверждается соответствующими технико-экономическими расчетами.

9.8. Технико-экономическая эффективность конструкционно-теплоизоляционного шлакощелочного пенополистиролбетона

Расчет технико-экономической эффективности шлакощелочного пенополистиролбетона производили в соответствии с «Инструкцией по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительстве». В расчетах сравнивали только изменение себестоимости материала в результате замены портландцемента. Экономический эффект от увеличения долговечности изделий /более высокая прочность шлакощелочных пенополистиролбетонов по сравнению с портландцементными/, а также от сокращения продолжительности технологического процесса, отсутствие предварительного выдерживания, сокращение продолжительности ТВО в расчетах во внимание не принимался.

Результаты расчета представлены в табл.59.

Из анализа результатов технико-экономических расчетов следует, что себестоимость шлакощелочного пенополистиролбетона плотностью 700 кг/м^3 только по материалом на 9% /75,31 сум.м^3/, а плотностью 1000 кг/м^3 на 10,3% /95,2 сум.м^3/ ниже по сравнению с портландцементным (в ценах 2001 г).

Сравнение по материалам себестоимости пеноплистиролбетона на портландцементе и шлакощелочном вяжущем

Таблица-59

Наименование материала	ед. изм. тонна	цена, сум	эталонный состав бетона на портландцементе плотностью, кг/м^3		разработанный бетон на шлакощелочном вяжущем плотностью, кг/м^3	
			700	1000	700	1000
			кол-во	кол-во	кол-во	кол-во
Портландцемент	Т	605	0.43	0.5	0.00032	0.00032
ВРП-1 в вяжущем	т	500	0.00032	0.0005	0.08	0.08
Пенполистирол	т	6930	0.08	0.08	0.25	0.5
Песок	т	200	0.14	0.35	0.16	0.175
Молотый электротер-мофосфорный шлак	т	650	-	-	0.16	0.175
Молотый бекабад-ский шлак	т	350	-	-	0.02410	0.202
Содосульфатная смесь	т	120	-	-	0.0001	0.0001
ВРП-1 для обработки гранул пенополистирола	т	500	0.0001	0.0001		

Основные виды отходов черной и цветной металлургии, пригодные для производства строительных материалов и конструкций

Приложение 1

Предприятия	Виды отходов	Количество отходов в % к сырью или вырабатываемому продукту	Возможная область применения в производстве строительных материалов и конструкций
Металлургические	Доменный расплавленный огненно-жидкий шлак	50-60% количества чугуна	Минеральная вата и изделия из нее, дорожная брусчатка, литой плотный щебень, шлаковая пемза, облицовочные плитки для полов и стен
	Доменный шлак отвальный основной	50-150% количества чугуна в зависимости от качества руды	Заполнители для бетонов, наполнитель в асфальтобетоне
	Доменный шлак отвальный кислый (кусковой)	20-35% количества чугуна	Шлаковая щебенка для мощения дорог

	Доменный шлак кислый или основной гранулированный	50-60% количества чугуна	Шлакопортланд-цемент, шлакоизвестковый цемент, шлаковое вяжущее, компонент шлакогипсового вяжущего, шлакобетоны, материал для засыпки пустотелых конструкций
	Мартеновский шлак огненно-жидкий и отвальный	10-20% массы выплавленной стали	Сырье для минеральной ваты, дорожной брусчатки, компонент бетона, балласт для железных дорог
Железорудные	Кварцитовые хвосты	До 50% количества железной руды	Компонент строительных растворов и бетонов, сырья для производства силикатного кирпича
Медеплавильные	Медные шлаки		Дорожный балласт и заполнитель бетонов
Никелевые	Никелевые шлаки		Дорожный балласт и заполнитель бетонов
Свинцово-плавильные	Свинцовые шлаки		Компонент асфальтобетона

	отвальные		
Алюминиевые	Алюминиевые шлаки		Сырье для производства глиноземистого цемента, активизатор местных вяжущих
Алюминиевые	Нефелиновый шлам	70% к количеству глинозема при производстве его щелочным методом	Сырье для производства портландцемента, гидравлическая добавка

Основные виды отходов топливной промышленности и энергетики, пригодные для производства строительных материалов и конструкций

Приложение 2

Предприятия, основные цехи и установки	Виды отходов	Количество отходов в % к сырью или вырабатываемому продукту	Возможная область применения в производстве строительных материалов и конструкций
Добыча торфа	Торфяная крошка		Сырье для производства аглопорита, клинкерного кирпича, гидравлического вяжущего, компонент строительных растворов
Коксохимические	Каменноугольная смола, каменноугольный пек	5% количества коксуемого угля, 3% газифицируемого	Компонент пропиточного состава для мягкой кровли
Сланцеперегонные	Сланцевая зола сухого золоудаления	50-70% количества сланца	Сырье для изготовления сланцевого цемента,

			сланцезольного кирпича, зологипсовых составов, золоцемента, сланцевого газобетона
Сланцеперегонные	Сланцевая смола	10-20% количества сланца	Сланцевый битум, антисептик для древесины, компонент пропиточного состава для производства мягкой кровли
Сланцеперегонные	Сланцевый кокс	60-70% количества сланца	Компонент шихты для производства портлантцемента
Нефтеперегонные	Гудрон кислый	Смолообразная масса при очистке бензина(50%), масел(30%)	Сырье для производства технического битума и мастик, дорожная пропитка
Котельные, электростанции, ТЭЦ	Каменноугольная зола-унос	40% общего количества сжигаемого угля	Сырье для производства бесцементных

			автоклавных материалов и конструкций, компонент глиноземных составов, дисперсный наполнитель асфальтобетона
Котельные, электростанции, ТЭЦ	Колосниковый нажиг	30-50% количества сжигаемого угля	Компонент зольно-известковых цементов, глинозольного кирпича, заполнитель строительных растворов
Промышленные обжиговые печи	Сланцевая зола	50-70% количества сланца	Сырье для изготовления сланцевого цемента, сланцезольного кирпича, зологипсовых составов, золоцемента, сланцевого газобетона

Основные виды отходов химической и деревообрабатывающей промышленности, пригодные для производства строительных материалов и конструкций

Приложение 3

Предприятия, основные цеха и установки	Виды отходов	Количество отходов в % к сырью или вырабатываемо-му продукту	Возможная область применения отходов в производстве строительных материалов и конструкций
Содовые	Известняковый щебень	Отходы известняковых карьеров	Шихта для производства вяжущих, заполнитель для строительных растворов, сырье для производства заменителей мела
Суперфосфатные	Фосфогипс	120-160% к количеству переработанных фосфоритов	Сырье для полуводного гипса, эстрихгипса, ангидритового цемента, мастичной термоизоляции,

			заменитель мела
Анилино-красочные	Мелогипс	-	Сырье для изготовления штукатурных растворов
Гидролизные	Сульфатный щелок	Отходы при варке древесины	Стабилизатор грунта, заменитель растворимого стекла, связующее клеевых составов, пластификатор растворов и бетонов
Деревоперерабатывающие	Древесная кора	12-19% заготовляемой древесины	Компонент древесноволокнистой массы для плит, заполнитель глиняных составов для стеновых изделий
Деревоперерабатывающие	Древесные опилки	10% количества перерабатываемой древесины	Легкий заполнитель в глиняных, гипсовых и

			других растворах, выгорающая добавка при изготовлении глиняного кирпича и керамических блоков, сырье для изготовления прессованных материалов и деталей
Деревоперерабатывающие	Древесные обрезки	4% массы кряжа на фанерных, 14%древесины на мебельных заводах	Материалы для полов
Деревоперерабатывающие	Древесная стружка	-	Материал для изготовления древесноволокнистых плит (ДВП), (ДСП) и фибролита

ГЛОССАРИЙ

Автоклавная обработка – процесс обработки материалов водяным паром или горячей водой с целью ускорения процесса твердения вяжущих веществ или проведения синтеза искусственного камня из малоактивного или инертного сырья.

Арматурой называют стальные стержни или каркасы и сетки, расположенные в массе бетона в соответствии с характером работы конструкции.

Бетон – искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания уплотненной смеси вяжущего, мелкого и крупного заполнителей, воды и некоторых добавок.

Бетонная смесь – рационально составленная, однородно перемешанная, пластичная при формовании смесь компонентов бетона до начала схватывания и твердения входящего в ее состав вяжущего.

Влагоемкость – способность материала вмещать в себя определенное количество воды и удерживать ее. Влагоемкость определяет водопотребность материала.

Водопотребность – минимальное количество воды, требуемое для получения вяжущего теста заданной вязкости. Водопотребность материала, которая соответствует стандартной вязкости (текучести) вяжущего теста, называется нормальной густотой НГ.

Гигроскопичность (сорбция) или гигроскопическую влажность – способность материала поглощать воду из окружающей паро-воздушной среды в случае повышения ее относительной влажности.

Гидравлическое вяжущее вещество – вяжущее, способное после затворения водой твердеть и длительно сохранять свою прочность, как на воздухе, так и в воде.

Добавки пластифицирующие – вещества, которые, будучи внесенными в количестве сотых и десятых долей процента, улучшают подвижность (текучесть, удобоукладываемость) паст. Относятся к поверхностно-активным добавкам ПАВ.

Минерализаторы – вещества, которые при содержании в сырьевой смеси в небольших количествах ускоряют процессы образования различных химических соединений. Они могут частично входить в состав вновь образуемых продуктов.

Минералогический состав дает информацию о том, какие минералы и в каком количестве находятся в материале (мас. %).

Морозостойкость – способность материала в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без разрушения и значительного снижения прочности.

Подвижность – способность смеси растекаться под действием сил тяжести или каких-то внешних сил.

Портландцемент (ПЦ) – гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого совместного помола клинкера и гипсового камня.

Плотность – масса единицы объема материала в естественном состоянии.

Прочность – способность материала сопротивляться внутренним напряжениям, возникающим в результате действия внешних нагрузок.

Свойство – способность материалов определенным образом реагировать на воздействие отдельных или совокупных внешних или внутренних силовых, усадочных, тепловых и других факторов.

Строительный раствор – искусственный каменный материал, получаемый в результате твердения смеси вяжущего, воды, мелкого заполнителя и добавок.

Теплоизоляционные материалы ТИМ – строительные материалы, имеющие малую среднюю плотность и теплопроводность и применяемые с целью уменьшения теплообмена с окружающей средой.

Термическая стойкость – способность материала выдерживать резкие тепловые изменения без деформаций. Оцениваются по числу резких теплосмен.

Удельная поверхность – один из важнейших параметров порошкообразных материалов, определяемый как суммарная площадь поверхности всех частиц в единице массы (объема) данного порошка.

Удобоукладываемость бетонной смеси – способность бетонной смеси плотно заполнять форму при выбранном способе уплотнения.

Удобоукладываемость растворной смеси – способность растворной смеси распределяться на основании тонким однородным слоем, прочно сцепляющимся с поверхностью.

Хрупкость – способность материалов разрушаться «мгновенно», без появления пластических деформаций.

Шлак гранулированный – продукт, полученный обработкой водой, паром или воздухом жидкого расплава побочных продуктов, образующихся при плавке черных и цветных металлов, сжигании твердых видов топлива, а также при электротермической возгонке фосфора.

Ячеистые бетоны – мелкозернистый бетон, разновидность легкого бетона, получаемая в результате затвердевания поризованной пено- или газообразователем смеси вяжущего, кремнеземистого компонента и воды.

Литература

1. Баженов Ю.М., Шубенкин П. Ф., Дворкин Л.И. «Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов», Москва, Стройиздат, 1986г.
2. Волженский А.В., Буров Ю.С., Виноградов Б.Н. «Бетоны и изделия из шлаков и зольных материалов», Москва, Стройиздат, 1989г.
3. Глуховский В.Д., Кривенко П.В., Старчук В.Н. и др. «Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях». Киев, «Выша школа», 2001г.
4. Газиев У.А., Акрамов Х.А. «Отходы промышленностей в производстве строительных материалов и изделий», Ташкент, 2003г.
5. Дворкин Л.И., Пашков И.А. «Строительные материалы из отходов промышленностей». Киев, «Выша школа», 1989г.
6. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. «Строительные материалы из отходов промышленности».Учебно-справочное пособие, Ростов-на-Дону, «Феникс», 2007г.
7. Иванов И.А. «Легкие бетоны на основе зол электростанций», Москва, Стройиздат, 1986г.
8. Коротаев Э.М., Клименко М.И. «Производства строительных материалов из древесных отходов», Москва, Стройиздат, 2009г.
9. Паримбетов Б.П. «Строительные материалы из минеральных отходов промышленности», Москва, Стройиздат, 1988г.
10. Рекитар Я.А., Алтухов Ю.Г. «Пути снижения материалоемкости в строительстве и промышленности строительных материалов», Москва, Стройиздат, 2007г.
11. Элинзон М.П., Васильев С.Г. «Топливносодержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов», Москва, Стройиздат, 1990г.
12. Халматов М.М., Клинен В.П. «Проблемы переработки техногенных отходов», «Горный вестник», №4, Узбекистан, 2003г.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	Введение	**4**
Глава 1.	**Современные сведения об отходах промышленности и их классификация** Общие сведения	**6**
1.1.	Классификация отходов промышленностей	**8**
1.2.	Выбор направления утилизации промышленных отходов	**11**
Глава 2.	**Материалы из отходов металлургической промышленности**	**16**
2.1.	Общая характеристика	**16**
2.2.	Вяжущие материалы на основе металлургических шлаков	**20**
2.3.	Заполнители из металлургических шлаков	**28**
2.4.	Бетоны на основе металлургических шлаков	**33**
2.5.	Шлакощелочные бетоны	**41**
Глава 3.	**Материалы из отходов топливной и энергетической промышленности**	**45**
3.1.	Общая характеристика топливосодержащихотходов	**45**
3.2.	Вяжущие материалы на основе золошлаковых отходов	**50**
3.3.	Пористые заполнители из топливных зол и шлаков	**54**
3.4.	Применение золы как активной добавки в бетоны	**62**
3.5.	Применение золы в строительных растворах	**68**
3.6.	Золосодержащие ячеистые бетоны	**70**
Глава 4.	**Материалы из отходов переработки древесины и другого растительного сырья**	**74**
4.1.	Общая характеристика	**74**
4.2.	Материалы на основе минеральных вяжущих	**80**
4.3.	Материалы на органических связующих	**90**
Глава 5.	**Материалы из отходов химической промышленности**	**102**
5.1.	Общая характеристика	**102**
5.2.	Применение попутных продуктов производства кислот, солей и других химических веществ	**103**
	Использование соле и гидроксидсодержащих шламови содопродуктов	**103**
	Применение железистых попутных продуктов	**114**
	Использование попутных продуктов производства серы	**118**
	Применение фосфорсодержащих материалов	**120**
	Применение попутных продуктов обогощения и переработки боросодержащего сырья	**127**
5.3.	Применение гипсовых и железосодержащих попутных продуктов	**129**
	Применение гипсосодержащих попутных продуктовв производстве цемента	**129**
	Применение гипсосодержащего вторичного сырья для получения гипсовых вяжущих и легких бетонов	**133**
	Железосодержащие отходы как компоненты сырьевых масс	**137**
5.4.	Применение попутных продуктов гидролизного производства	**140**
	Лигнин в производстве ограническихвяжущих	**140**

	Лигнин как наполнитель и выгорающая добавка	**145**
	Модифицированные технические лигносульфонаты	**149**
5.5.	Применение отходов и попутных продуктов производства полимерных материалов	**156**
	Использование попутных полимерных продуктов	**156**
	Использование отходов синтетического каучука и латексов	**158**
	Применение отходов производства пластмасс	**162**
	Использование кубовых остатков, содержащих продукты перегонки и осмоления	**167**
5.6.	Применение попутных продуктов нефтехимической промышленности, добычи, обогащения и химической переработки твердого топлива	**175**
	Применение попутных продуктов углеобогащения	**175**
	Сланцевые отходы и их утилизация	**180**
	Использование попутных продуктов ректификации каменноугольных смол и сырого бензола	**182**
	Использование отходов нефтехимии для производства керамзита	**186**
Глава 6.	**Материалы из отходов горнодобывающей промышленности**	**191**
6.1.	Общая характеристика отходов	**191**
6.2.	Нерудные материалы на основе железистых кварцитов исопутствующих им пород	**194**
6.3.	Автоклавные материалы	**200**
Глава 7.	**Применение отходов производства строительных и полимерных материалов**	**203**
7.1.	Общая характеристика	**203**
7.2.	Материалы из побочных продуктов производства нерудных строительных материалов, дробленого бетона и отходов камнепиления	**206**
7.3.	Утилизация пыли цементного производства	**214**
7.4.	Применение асбестоцементных отходов	**217**
7.5.	Применение стекольных и керамических отходов	**221**
7.6.	Применение вторичного полимерного сырья	**224**
Глава 8.	**Отходы промышленности Узбекистана в производстве строительных материалов и изделий**	**232**
8.1.	Закладочные смеси из отходов промышленности	**232**
8.2.	Пористые заполнители из отходов угледобычи и местных горных пород	**242**
8.3.	Основные тенденции в области получения легких бетонов	**246**
Глава 9.	**Промышленное изготовление шлакощелочного пеноплистирол-бетона и его экономическая эффективность**	**253**
9.1.	Пенополистиролбетон	**253**
9.2.	Характеристика сырьевых материалов для получения пенополистиролбетонов	**261**
9.3.	Методика исследований	**264**
9.4.	Оптимизация составов пенополистиролбетона	**265**
9.5.	Определение технологических параметров получения	**274**

	пенополистиролбетона	
9.6.	Влияние условий и режимов твердения на свойства пенопллистиролбетонов	**278**
9.7.	Получения шлакощелочного пенополистиролбетона в промышленных условиях	**282**
9.8.	Технико-экономическая эффективность конструкционно-теплоизоляционного шлакощелочного пенополистиролбетона	**285**
	Приложение 1	**287**
	Приложение 2	**290**
	Приложение 3	**293**
	Глоссарий	**296**
	Литература	**299**

МУНДАРИЖА

	Сўз боши	**4**
1-боб	**Саноат чиқиндилари классификацияси ва улар тўғрисида замонавий маълумотлар** Умумий маълумотлар	**6**
1.1.	Саноат чиқиндилари классификацияси	**8**
1.2.	Саноат чиқиндиларига бархам бериш йўналишини танлаш	**11**
2-боб	**Металлургия саноати чиқиндилари асосидаги материаллар**	**16**
2.1.	Умумий тавсифи	**16**
2.2.	Металлургия шлаклари асосидаги боғловчи материаллар	**20**
2.3.	Металлургия шлаклари асосидаги тўлдирувчилар	**28**
2.4.	Металлургия шлаклари асосидаги бетонлар	**33**
2.5.	Шлакишқорли бетонлар	**41**
3-боб	**Ёқилғи ва энергетика саноати чиқиндилари асосидаги материаллар**	**45**
3.1.	Ёқилғи таркибли чиқиндиларнинг асосий тавсифи	**45**
3.2.	Шлак кулли чиқиндилар асосидаги боғловчи материаллар	**50**
3.3.	Ёқилғи кули ва шлаклари асосидаги ғовакли тўлдирувчилар	**54**
3.4.	Кулларни актив қўшимча сифатида бетонларда ишлатиш	**62**
3.5.	Кулларни қурилиш қоришмаларида ишлатиш	**68**
3.6.	Кул таркибли ячейкали бетонлар	**70**
4-боб	**Ёғочни қайта ишлаш чиқиндилари ва бошқа ўсимлик хомашёси асосидаги материаллар**	**74**
4.1.	Умумий тавсифи	**74**
4.2.	Минерал боғловчилар асосидаги материаллар	**80**
4.3.	Органик боғловчилар асосидаги материаллар	**90**
5-боб	**Кимё саноати чиқиндилари асосидаги материаллар**	**102**
5.1.	Умумий тавсифи	**102**
5.2.	Ишқор, тузлар ва бошқа кимёвий моддалар ишлаб чиқаришнинг иккиламчи махсулотларини ишлатиш	**103**
	Сода маҳсулотларнинг туз ва гидроксид таркибли шламларини ишлатиш	**103**
	Темир асосидаги йўл-йўлакай маҳсулотларни ишлатиш	**114**
	Олтингугурт ишлаб чиқариш йўл-йўлакай маҳсулотларни ишлатиш	**118**
	Фосфор таркибли материалларни ишлатиш	**120**
	Бор таркибли хомашёларни қайта ишлаш ва бойитиш йўл-йўлакай маҳсулотларни ишлатиш	**127**
5.3.	Гипсли ва темир таркибли йўл-йўлакай маҳсулотларни ишлатиш	**129**
	Цемент ишлаб чиқариш гипс таркибли йўл-йўлакай маҳсулотларни ишлатиш	**129**
	Гипс боғловчи ва енгил бетонлар олишда гипс таркибли иккиламчи хомашёларни ишлатиш	**133**
	Темир таркибли чиқиндиларни хомашё материаллар компоненти	**137**

	сифатида қўллаш	
5.4.	Гидролиз ишлаб чиқариш йўл-йўлакай маҳсулотларни ишлатиш	**140**
	Органик боғловчилар олишда ишлатиладиган лигнин	**140**
	Тўлғзувчи ва ёнувчи қўшимча сифатида лигнинни қўллаш	**145**
	Модифицирланган техник лигносульфонатлар	**149**
5.5.	Полимер материаллар ишлаб чиқариш йўл-йўлакай маҳсулотлари ва чиқиндиларини қўллаш	**156**
	Полимер йўл-йўлакай маҳсулотларни ишлатиш	**156**
	Синтетик каучик ва латекслар чиқиндиларини қўллаш	**158**
	Пластмасса ишлаб чиқариш чиқиндиларини ишлатиш	**162**
	Смола таркибли махсулотларни ишлатиш	**167**
5.6.	Нефт кимё саноати йўл-йўлакай маҳсулотларини, қаттиқ ёқилғини қазиб олиш, бойитиш ва кимёвий қайта ишлаш материалларни ишлатиш	**175**
	Кўмир бойитиш йўл-йўлакай маҳсулотларни ишлатиш	**175**
	Сланецли чиқиндилар ва уларга барҳам бериш	**180**
	Тошкўмир смоласи ва бензол йўл-йўлакай маҳсулотларини ишлатиш	**182**
	Керамзит ишлаб чиқаришда нефт кимё чиқиндиларини ишлатиш	**186**
6-боб	**Тоғ қазиш саноати чиқиндилари асосидаги материаллар**	**191**
6.1.	Чиқиндиларнинг умумий тавсифи	**191**
6.2.	Темир кварцитли жинслар асосидаги норуда материаллар	**194**
6.3.	Автоклав материаллар	**200**
7-боб	**Қурилиш ва полимер материаллар ишлаб чиқариш чиқиндиларини ишлатиш**	**203**
7.1.	Умумий тавсифи	**203**
7.2.	Норуда қурилиш материаллари, бетонни майдалаш ва тош кесиш чиқиндилари асосидаги йўл-йўлакай маҳсулотлар	**206**
7.3.	Цемент ишлаб чиқариш чангларини ишлатиш	**214**
7.4.	Асбестцемент чиқиндиларини ишлатиш	**217**
7.5.	Шиша ва керамика чиқиндиларини ишлатиш	**221**
7.6.	Иккиламчи полимер хомашёларни ишлатиш	**224**
8-боб	Қурилиш материаллари ва буюмлари ишлаб чиқаришда Ўзбекистон саноати чиқиндиларини қўллаш	**232**
8.1.	Саноат чиқиндилари асосида тўлғазувчи қоришмалар	**232**
8.2.	Кўмир қазиш чиқиндилари ва маҳаллий тоғ жинслари асосидаги ғовак тўлдирувчилар	**242**
8.3.	Енгил бетонлар олишнинг асосий тенденциялари	**246**
9-боб	Шлакишқорли пенополистиролбетонни саноат миқёсида олиш ва унинг иқтисодий самарадорлиги	**253**
9.1.	Пенополистиролбетон	**253**
9.2.	Пенополистиролбетон олишда ишлатиладиган хомашё материаллар тавсифи	**261**
9.3.	Тадқиқ этиш услубияти	**264**
9.4.	Пенополистиролбетон таркибини оптималлаштириш	**265**
9.5.	Пенополистиролбетон олишнинг технологик параметрларини белгилаш	**274**

9.6.	Пенополистиролбетон хусусиятига қотиш режими шароитининг таъсири	**278**
9.7.	Саноат миқёсида шлакишқорли пенополистиролбетон ишлаб чиқариш	**282**
9.8.	Конструкцион-иссиқлик изоляцияловчи шлакишқорли пенополистиролбетоннинг техник-иқтисодий самарадорлиги	**285**
	Илова-1	**287**
	Илова-2	**290**
	Илова-3	**293**
	Изохли луғат (глоссарий)	**296**
	Адбиётлар	**299**

Content

1.	**Introduction**	**4**
Chapter 1	**Update information about industrial wastes and their classification common information**	**6**
1.1.	Classification of the industrial wastes	**8**
1.2.	Choosing of way of the industrial wastes utilization	**11**
Chapter 2	**Materials form the wastes of the metallurgy industry**	**16**
2.1.	Common characteristics	**16**
2.2.	Viscous materials on the base of metallurgical slags	**20**
2.3.	Fillers form the metallurgical slags	**28**
2.4.	Concretes on the base of metallurgical slags	**33**
2.5.	Slagalkalical concrete	**41**
Chapter 3	**Materials from the wastes of full and energetically industry**	**45**
3.1.	Common characteristics of full containing wastes	**45**
3.2.	Viscous materials on the base of ash slag wastes	**50**
3.3.	Prosity fillers from full ashes and slags	**54**
3.4.	Using of the ashe as an active adding in to the concrete	**62**
3.5.	Using of the ashe in the building solutions	**68**
3.6.	Ashe containing cellular concrete	**70**
Chapter 4	**Materials from the wood treatment wastes and other growing raw materials**	**74**
4.1.	Common characteristics	**74**
4.2.	Materials on the base of mineral viscose's	**80**
4.3.	Materials on the base of organic linking's	**90**
Chapter 5	**Materials from the chemical industry wastes**	**102**
5.1.	Common characteristics	**102**
5.2.	Using of the in passing products of acids, salts and other chemical substance production	**103**
	Using salts and hydroxide containing slimes and soda products	**103**
	Applying of the ferruginous in passing products	**114**
	Using of the in passing products of sulphur production	**118**
	Using of the phosphorus containing materials	**120**
	Applying of the in passing production of separate and treatment of the boron containing raw materials	**127**
5.3.	Applying of the gypsum and ferruginous in passing products	**129**
	Appling of the gypsum containing products in the production of the cement	**129**
	Applying of the gypsum containing reprocessing raw materials for the setting gypsum viscose's and light concrete	**133**
	Ferruginous wastes as raw masses	**137**

5.4.	Applying of the in pass products of the hydrolysis production	**140**
	Lignite in the production of the organic viscose's	**140**
	Lignite as filler and building out adding	**145**
	Modification of the technical lignite sulphonates	**149**
5.5.	Applying of the and the in passing products of the polymer materials production	**156**
	Using of the in passing polymer products	**156**
	Using of the wastes of synthetic rubber and latexes	**158**
	Applying wastes of the plast production	**162**
	Using of the still residues which contain products of distillation and gumming	**167**
5.6	Using of the inpassing products of oilchemicol industry, mining, consentrating and chemical reprocessing of the solid fuel	**175**
	Applying of the in passing products of coal concentration	**175**
	Schist wastes and their tailgate	**180**
	Using of the in passing products of the recti fiction of coal resins and raw Bengal	**182**
	Using of the wastes of oilchemicol for the production of lightweight aggregate	**186**
Chapter 6	**Materials brom the waste of the mining industry**	**191**
6.1	Common characteristics jf the wastes	**191**
6.2	Nomine materials on the base of the ferruginous crystals and accom ponied them rocks	**194**
6.3	Autoclave materials	**200**
Chapter 7	**applying of the wastes of building and polymer materials production**	**203**
7.1	Common characteristics	**203**
7.2	Materials from the secondary products of production no mining building materials crushed concert and wastes of stone sawning	**206**
7.3	Utilization of cement production powder.	**214**
7.4	Applying of the asbestos cement wastes	**217**
7.5	Applying of the glass and ceramics wales	**221**
7.6	Applying of the secondary polymer raw materials	**224**
Chapter 8	**Wastes of the Uzbekistan industry in the production of building materials and construe tons**	**232**
8.1	Packing mixtures from the waster of production	**232**
8.2	Porosity fillers from the wastes of miners and local rocks	**242**
8.3	Main tendentious in the field of getting light concretes	**246**
Chapter 9	**industrial production of the slagalkolined expanded plineconstyrerete and its economical effectivity**	**253**
9.1	Expandedplis tyreneconeretes	**253**
9.2	Characteristics of raw materials for the setting of expandedplis-	**261**

	tyreneconeretes	
9.3	Methodic of the research	**264**
9.4	Optimization of the expanded polystyrene concrete compositions	**265**
9.5	Definition of the technology co parameters of getting expanded	**274**
9.6.	Influence of the conditions and regime of hardening on the expendedpolystyreneconcrete feature	**278**
9.7.	Getting of the slagalkalid expended polystyrene concrete in industry conditions	**282**
9.8.	Technical-economical effectivity of the constructional heat insulating slagalkalid expended phistyrene concrete	**285**
	Supplement 1	**287**
	Supplement 2	**290**
	Supplement 2	**293**
	Glosariya	**296**
	Literature	**299**