

Авторы: Газиев У.А., Акрамов Х.А. Отходы промышленности в производстве строительных материалов и изделий. Учебное пособие (Газиев У.А., Акрамов Х.А. ТАСИ 2003 г – 112с).

Учебное пособие предназначено для подготовки магистров по строительным специальностям.

В учебном пособии рассматриваются вопросы образования различных видов отходов промышленности, дана классификация, технология переработки и получения строительных материалов и изделий, их свойства, области применения в строительстве. Ценным является то, что в учебном пособии приводятся результаты научно-исследовательских работ проведенных авторами по применению отходов промышленности и местного сырья Республики Узбекистан для производства различных строительных материалов и изделий.

Учебное пособие позволяет дополнить основное содержание учебной программы, способствует проведению практических и лабораторных занятий, написанию рефератов и статей, служит для подготовки магистерских диссертаций, а также проведения научно-исследовательской практики магистров.

Рецензенты: 1. Руководитель бюро при представительстве немецкой экономики д.т.н., и.о. профессора Туляганов А.А.  
2. Доцент кафедры «Производство сборного железобетона» ТАСИ, к.т.н. Нуретдинов Х.Н.

Рекомендовано Министерством высшего и среднего специального образования РУз в качестве учебного пособия для студентов строительного профиля.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Ташкентский архитектурно – строительный институт

У.А. Газиев, Х.А. Акрамов

**Отходы промышленности в производстве  
строительных материалов и изделий**

Учебное пособие

Ташкент-2003

## 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 строительномонтажных 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 в т о р и ч н ы х м а т е р и а л ь н ы х р е с у р с о в, 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 – их использование 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 1% 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 I. Современные сведения об отходах промышленности и их классификация

## 1.1. 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 нашей страны приходится на сырье, материалы, топливо и энергию. И в то же время от 10 до 99% 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<sup>3</sup> пыли.

Промышленные отходы, сосредоточенные в отвалах, шлакоаккумуляторах, 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 шлакохвостохранилищ, 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, освободить 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.

## 1.2. Классификация побочных промышленных продуктов

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. Боженков 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 характеристик 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.

### 1.3. 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  $\mathcal{E}_{уд}$  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:

$$\mathcal{E}_{уд} = (n_1/a) (C_1 + n_2C_2 - C_3) + E_n (K_1 + n_2K_2 - K_3),$$

где  $C_1$  и  $C_3$  – себестоимости строительных материалов соответственно из традиционного и утилизируемого сырья;  $C_2$  – ежегодные затраты содержание отвалов и транспортировку побочных продуктов;  $n_2$  – коэффициент, учитывающий частичную или полную ликвидацию отвалов,  $n_2 = 0,3...1$ ;  $K_1$  и  $K_3$  – удельные капитальные вложения на производство соответственно строительных материалов из традиционного и

утилизируемого сырья;  $K_2$  – капитальные вложения на сооружения отвалов;  $E_n$  – нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений,  $E_n = 0,15$ ;  $a$  – 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,  $\Delta Y$ , так как отпадает необходимость в площадях для складирования отходов  $\Delta Y_B$ , а также сокращаются выбросы в воздушный и водный бассейны  $\Delta Y_6$ .

$$\Delta Y = \Delta Y_B + \Delta Y_6.$$

Площадь складирования отходов, га, определяется по формуле

$$\Delta Y_B = \frac{CS_B}{T_B},$$

где  $C$  – цена 1 га земли, руб;  $S_B$  – территория, высвобождаемая из-под отходов, га;  $T_B$  – время, в течение которого разрабатываются отвалы, лет.

Второе слагаемое  $\Delta Y_6$  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 применяться при содержании  $\text{SiO}_2$  не менее 40% и  $\text{SO}_3$  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 приобретает 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.

*Шлаки – 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:  $\text{CaO}$  (29...30%),  $\text{MgO}$  (0...18%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5...23%) и  $\text{SiO}_2$  (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  $\text{CaO}+\text{MgO}$  (7...13%) и высокое содержание  $\text{FeO}$  (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:*

$$M_0 = (C_aO + MgO) / (SiO_2 + AL_2O_3),$$

при  $M_0 > 1$  шлаки относятся к основным, при  $M_0 < 1$  – к кислым.

Химический состав значительно влияет на физические свойства шлаковых расплавов, структуру и свойства затвердевших шлаков. Так, увеличение содержания оксида кальция в шлаках обуславливает повышение температуры их плавления и 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 термодинамически 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 магнезия) с пустой породой железной руды и золой кокса. Различия в составах железных руд и кокса в разных регионах страны обуславливают 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  $C_aO$  (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  $M_0 > 1$ , 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  $K$ , устанавливаемым по следующим формулам:

при содержании  $MgO$  до 10%

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

при содержании MgO более 10%

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

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<sup>3</sup>, 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 СССР 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. Ежегодно 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 двух кальциевого 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 смешенной 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 отдельно.

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.1).

Таблица 1

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 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 (шлакощелочные вяжущие).

**Сульфатно-шлаковые цементы** – это гидравлические вяжущие вещества, получаемые совместным тонким измельчением доменных шлаков и сульфатного возбuditеля твердения (гипса или ангидрита) с небольшой добавкой щелочного активизатора (известки портландцемента или обожженного 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, обожженного при температуре около 700<sup>0</sup>С, и высокоглиноземистых основных шлаков. По мере уменьшения основности шлаков целесообразно увеличение концентрации известки (от 0,2 г/л СаО 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% обожженного доломита. Степень обжига доломита зависит от основности шлаков. При использовании основных шлаков обжиг ведут при температуре 800...900<sup>0</sup>С до частичного разложения СаСО<sub>3</sub>, а кислых – при температуре 1000...1100<sup>0</sup>С до полной диссоциации СаСО<sub>3</sub>.

**Известково-шлаковые цементы** – это гидравлические вяжущие вещества, получаемые совместным помолом доменного гранулированного шлака и известки. 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 после 10<sup>0</sup>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  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ .

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 ежегодно получают более 30 млн. т шлакощелочных вяжущих. Оптимальное содержание щелочных соединений в вяжущем в пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  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 действующей тепловлажностной обработке. При температуре пропаривания  $80...90^\circ\text{C}$  цикл обработки может быть сокращен до 6...7 ч, активная часть режима составляет 3..4 . 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-, капиталоемкие технологические операции: не нужны разработка месторождений, подготовка сырья, дробление, обжиг и др. Например, сравнения 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 ( $\rho_0 > 1000 \text{ кг/м}^3$ ) и легкими ( $\rho_0 \leq 1000 \text{ кг/м}^3$ ), а по крупности зерен – мелкими ( $< 5 \text{ мм}$ ) и крупными ( $> 5 \text{ мм}$ ).

Шлаковый щебень получают дроблением отвальных металлургических шлаков или специальной обработкой огненно-жидких шлаковых расплавов (литой шлаковый щебень). Для производства щебня 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, $\text{кг/м}^3$	– 2200...2800
Истинная плотность, $\text{кг/м}^3$	- 2900...3000
Предел прочности на сжатие, МПа	- 60...100
Водопоглощение, % масс.	– 1...5
Насыпная плотность щебня, $\text{кг/м}^3$	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  $2200 \text{ кг/м}^3$ .

В зависимости от крупности зерен щебень делится на фракции: 5...10, 10...20, 20...40, 40...70, 70...120 мм. Состав шлакового щебня, как и других видов заполнителя, подбирается для обеспечения минимальной пустотности. Минимальная насыпная плотность щебня каждой из фракций составляет  $1000 \text{ кг/м}^3$ . 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 (табл.3).

Содержание в шлаковом щебне отмучиваемых пылевидных и глинистых частиц должно быть не более 3% для слабоактивного и неактивного шлаков. Для активных 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, И II, И III, И IV

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 развитая 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<sup>3</sup>. 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<sup>0</sup>С, 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 СССР 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 – мене 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<sup>3</sup>, 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 сдавливании

в 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<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> щебня и песка из шлаковой пемзы составляет 6,2 кВт·ч, а на производство 1 м<sup>3</sup> керамзитового гравия – 24, аглопорита – 47,4 кВт·ч.

Перспективной является граиеподобная 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 ( $\rho_0 > 2500$  кг/м<sup>3</sup>) на некоторых шлаках сталеплавильного производства и цветной металлургии; тяжелые ( $\rho_0 = 1800...2500$  кг/м<sup>3</sup>) на литом и отвальном шлаковом щебне, песка и гранулированном шлаке; легкие ( $\rho_0 < 1800$  кг/м<sup>3</sup>) 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 свойствам 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 ( $0,15 \dots 0,3 R_{сж}$ ); большая деформативность, чем у обычных тяжелых бетонов.

Разработана технология изготовления мелкозернистого шлакобетона прочностью  $30 \dots 100$  МПа со средней плотностью  $1800 \dots 2300$  кг/м<sup>3</sup>, 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  $30 \dots 10$  МПа определяется по формуле

$$J = 100$$

где  $J$  – количество шлака, %, прошедшего через сито с диаметром отверстия  $x$ ;  $d_x$  – наибольший размер зерен, соответствующий диаметру отверстий  $x$ , мм;  $D$  – максимальная крупность зерен, мм,  $D = 10$ ;  $n$  – отношение шлакового заполнителя к цементу,  $n = 2 \dots 6$ .

**Легкие бетоны.** Шлаковые цементы и заполнители широко применяют для производства легких бетонов со средней плотностью  $1200 \dots 1600$  кг/м<sup>3</sup> и прочностью на сжатие  $5 \dots 25$  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. Особенности легких шлаковых бетонов на бесклинкерных шлаковых вяжущих являются большая деформативность и несколько меньшее сцепление с арматурой, чем у бетонов на портландцементе.

Заполнитель	Прочность на сжатие		
	Шлаковая пемза	0,9...1,3	1...1,35
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  $\rho_0 = 500 \dots 800$  кг/м<sup>3</sup>, гранулированный доменный шлак ( $\rho_0 = 700 \dots 1000$ ), доменные порисованные отвальные шлаки ( $\rho_0 = 800 \dots 1000$ ). Средняя плотность легких бетонов колеблется в зависимости от марки и вида заполнителей. В табл. 4 приведены данные, характеризующие среднюю плотность легких шлаковых бетонов, т/м<sup>3</sup>, 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 шлакопемзового 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  $4000 \text{ см}^2/\text{г}$ , количество активного  $CaO$  – не менее 10%.

В производстве ячеистых бетонов эффективно также применение шлакопортландцемента.

Гранулированные и отвальные шлаки, измельченные до удельной поверхности  $1500...3500 \text{ см}^2/\text{г}$ , 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  $\rho_0=400...500 \text{ кг/м}^3$  имеет прочность на сжатие  $0,6...2 \text{ МПа}$ , а конструктивно-теплоизоляционный ( $\rho_0=600...1200$ ) –  $3...12,5$ . 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<sup>2</sup>/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 выброобработкой при приготовлении ячеистой смеси и на стадии формования. Вибрационное воздействие, разжижая смесь и увеличивая поверхность взаимодействия сырьевых компонентов, способствует интенсификации процессов газыделения 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 меняют длительное перемешивания и вводят пластифицирующие 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 производство 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<sup>0</sup>С.

В портландцементные бетоны вводят тонкомолотую добавку, содержащую активный кремнезем и реагирующую при 800...1000<sup>0</sup>С с СаО. В роли таких добавок наряду с шамотом, золой-уносом и другими кремнеземистыми материалами при максимальной температуре службы бетона 700<sup>0</sup>С применяют тонко измельченные 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<sup>0</sup>С, то тонкомолотую добавку можно не вводить.

Для жаростойких бетонов заполнителями могут служить гранулированные и отвалы металлургические шлаки, а также шлаковая пемза. Максимальная рабочая температура шлаковых жаростойких бетонов на портландцементе и шлакопортландцементе достигает 700...800<sup>0</sup>С. 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<sup>0</sup>С 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<sup>0</sup>С. 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<sup>0</sup>С. в качестве тонкомолотой добавки применяют ферромолибденовый шлак. С применением глиноземистого цемента и шлаковой пемзы получают легкие жаростойкие бетоны с плотностью 440...1600 кг/м<sup>3</sup> и с максимальной температурой службы 800...1000<sup>0</sup>С.

Используя вяжущие и заполнители, полученные из шлаков сталеплавильного и ферросплавного производства, разработаны жаростойкие бетоны, работающие при 800...1700<sup>0</sup>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 легкие 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<sup>2</sup>, 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 ( $pH \geq 12$ ) и хорошее сцепление бетона с арматурой позволяют изготавливать 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 магниезальных 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  $-10...15^{\circ}\text{C}$ . 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, характеризующиеся наименьшими колебаниями 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 включениями 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, обожженные 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<sup>3</sup>, средняя плотность – 1300...2500 кг/м<sup>3</sup>, прочность на сжатие – 20...60 МПа. По основным физическим и химическим свойствам они близки к глинам, обожженным при 800...1000<sup>0</sup>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 и 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<sup>0</sup>С) обработки минеральной части топлива.

Топливо сжигают в слое над колосниковой решеткой в виде мелких кусков или при вдувании в пылевидном состоянии. Зола пылевидного сжигания проходит 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 электрофилтры, 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<sup>0</sup>С или при охлаждении расплавленной минеральной части топлива при температуре более 1300<sup>0</sup>С.

В связи с интенсификацией процессов сжигания твердого топлива и переходом к использованию в тепловой энергетике многозольных видов углей и сланцев перспективно применение топок с жидким 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<sup>0</sup>С 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 обожженное 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  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  также гематит. Количественное соотношение между  $\mathcal{L}$  - кварцем и муллитом определяется соотношением  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . С увеличением последнего содержание  $\mathcal{L}$  –кварца в кристаллической фазе возрастает, муллита убывает. Соответственно несколько возрастет активность зол по поглощению извести. Зола, 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 зола входят 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 зол-уносов колеблется в зависимости от месторождений углей. Примерное содержание основных оксидов в золах различных ТЭС, %  $\text{SiO}_2$  – 37...63;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 9...37;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 4...17;  $\text{CaO}$  – 1...32;  $\text{MgO}$  – 0,1...5;  $\text{SO}_3$  – 0,5...2,5;  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  – 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  $\text{см}^2/\text{г}$ . Во многих случаях она приближается к удельной поверхности цемента. Зола, 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Различные фракции золы имеют разные истинную и среднюю плотности, что объясняется химико-минералогическим составом и формой частиц. Крупные фракции имеют повышенное содержание Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 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<sup>3</sup>, истинная плотность – 1800...2400.

Золы подразделяются на *высококальциевые* (CaO>20%) и *низкокальциевые* (Ca<20%). Для первых преобладающими являются кристаллические фазы, для вторых – стекло и аморфизованное глинистое вещество. Высокальциевые золы, в свою очередь, делят на *низкосульфатные* (SO<sub>3</sub><5%), получаемые при сжигании угля и торфа, и *сульфатные* (SO<sub>3</sub>>5%) – при сжигании сланцев.

Интегральной характеристикой химического состава зол служит модуль основности M<sub>0</sub>, который для основных зол составляет M<sub>0</sub> > 0,9; кислых – 0,6...0,9; сверхкислых - M<sub>0</sub> < 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<sup>2</sup>/г), среднедисперсные (2000...4000) и грубодисперсные (S<2000). При насыпной плотности менее 800 кг/м<sup>3</sup> 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<sub>0</sub><0,1) до основных (M<sub>0</sub>>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 бесклинкерных зольных вяжущих наиболее известен известково-зольный цемент – гидравлическое вяжущее, получаемое совместным помолом или тщательным смешением измельченных отдельно золы и извести. В золе содержание несгоревшего топлива должно быть минимальным (в каменноугольных 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 известкосодержащих 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.** Зола 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  $n_y = \text{SiO}_2/1,77\text{AL}_2\text{O}_3$ , 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, %:  $\text{SiO}_2$  – 40,  $\text{SO}_3$  – 3, потери при прокаливании – 10. Зола – 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 (до 15%) снижает его прочность в начальные сроки твердения, на 28 суток 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 возрастает, 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 института им. В.В. Куйбышева, 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, 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 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.3.1.

Таблица 3.1

Заполнитель	Приведенные затраты, руб/м <sup>3</sup>	Экономия (+) или перерасход (-)*
Гравий: аглопоритовый	5,91	+2,61
Зольный	9,85	-1,33

Безобжиговый Глинозольный керамзит при плотности, кг/м <sup>3</sup> :	6,01	+2,51
$\rho_0 = 450$	6,37	+2,15
$\rho_0 = 600$	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<sub>3</sub> 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 застывшем бетоне может послужить причиной его разрушения.

Насыпная плотность топливных шлаков составляет 600...1000 кг/м<sup>3</sup>, средняя плотность зерен 1500...2000 кг/м<sup>3</sup>. Пористость шлаков обычно колеблется от 40 до 60%, морозостойкость достигает до 50 циклов и более. Оптимальные структуру и физико-механические свойства имеют антрацитовые шлаки, бурогоугольные – 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<sup>3</sup> 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 диапазоном свойств: по прочности на сжатие – 0,5...40 МПа, средней плотности – от особо легких ( $\rho_0 < 1000$  кг/м<sup>3</sup>) до тяжелых ( $\rho_0 = 1800...2000$  кг/м<sup>3</sup>). Их получают как на портландцементе, так и на бесклнкерных 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.3.2.

Таблица 3.2

Марка по прочности на сжатие, кгс/см (10 <sup>-1</sup> МПа)	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Модуль упругости, МПа
25	1150...1500	-
35	1200...1550	3,0 · 10 <sup>3</sup>
50	1250...1600	3,5 · 10 <sup>3</sup>
75	1350...1700	5,5 · 10 <sup>3</sup>
100	1450...1800	7 · 10 <sup>3</sup>
150	1650...1900	-
200	1850...2000	1 · 10 <sup>4</sup>

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<sup>3</sup> и соответственно к снижению термического сопротивления стен. Применение золы в керамзитобетонах в количестве 180...200 л/м<sup>3</sup>, а для одно-фракционного керамзита и в больших количествах, улучшает технологические свойства легкобетонных смесей и способствует получению структуры бетона без межзерновых путей.

Полная замена мелкого заполнителя золой наиболее целесообразна в конструктивно-теплоизоляционных легких бетонах. Оптимальное содержание золы в керамзитобетоне составляет 300...450 л/м<sup>3</sup>. Дальнейшее увеличение ее содержания повышает среднюю плотность легкого бетона. При изготовлении легких конструктивных бетонов добавка золы в количестве до 0,1 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> бетона может служить микрозаполнителем. 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<sup>3</sup> 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 агломерации состоит из следующих основных операций: подготовка компонентов смеси; приготовления шихты (гранул); термической обработки на агломерационной 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 агломерации 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 из 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 предусматривается возможность использования сухой золы-уноса, золы из отвалов ТЭС, а также водо-зольной суспензии, образующейся при гидротранспорте золы в отвалы.

Производство аглопоритного 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 применяться и как топливные добавки при производстве аглопорита из глинистых пород. В состав шихты для производства аглопорита требуется до 8% высококалорийного топлива. Применение добавки зол позволяет сократить расход топлива и снизить себестоимость аглопорита.

Расчеты показывают, что замена 1 млн.м<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> при расходе цемента 200...400 кг/м<sup>3</sup>.

**Глинозольный керамзит и зольный гравий.** Наряду с пористыми заполнителями 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<sub>2</sub> 33... 57% и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 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<sup>2</sup>/г, содержание угля не более 10%, СаО – не более 10%, сернистых и сернокислых соединений – не более 5%. Максимальная температура плавления золы равна 1380<sup>0</sup>С.

Максимально допустимое содержание остатков топлива в золе, пригодной для производства глинозольного аглопорита, не должно превышать 17%. При избыточном количестве углерода гранулы оплавляются и качество заполнителя ухудшается. Насыпная плотность глинозольного керамзита составляет 400...700 кг/м<sup>3</sup>, 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<sup>0</sup>С. Подготовка золошлаковой смеси включает сушку ее в сушильном барабане отходящими газами печи и измельчение в шаровой мельнице до удельной поверхности 2500...3000 см<sup>2</sup>/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. 3.3.

Таблица 3.3

Показатель	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 <sup>3</sup>	280	278	760	740	950
Плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	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 вяжущие. 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 изготовлении бетонных и растворных смесей в качестве активных минеральных добавок и микрозаполнителей.

В тяжелых бетонах зола-унос позволяет существенно снизить расход вяжущих. Оптимальное содержание золы, кг/м<sup>3</sup>, составляет для бетонов: пропариваемого – около 150; нормального твердения – 100. В соответствии с рекомендациями применение 150 кг золы-уноса на 1 м<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> бетона с золой, который по основным физико-механической 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 подразделяют на виды: I-для железобетонных конструкций и изделий; II-для бетонных конструкций и изделий; III-для конструкций гидротехнических 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<sup>2</sup>/г, Б-1500..4000 см<sup>2</sup>/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. 3.4. Влажность золы сухого отбора должна быть не более 3%.

Таблица 3.4

Показатель	Значение показателя для золы вида и класса		
	I	II	III
	A,Б	A,Б	A
Содержание ( $\text{SiO}_2 + \text{AlO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), % по массе для золы:			
антрацитовой и каменноугольной	70	-	70
буроугольной	50	-	50
Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на $\text{SO}_3$ , % по массе, не более	3	3,5	3
Содержание свободного оксида кальция ( $\text{CaO}_{\text{св}}$ ), % по массе, не более	3	5	2
Содержание оксида магния $\text{MgO}$ , % 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 определении 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 количество 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 применении золы ТЭС допускается снижение минимальной типовой нормы расхода цемента для неармированных бетонных изделий до  $150 \text{ кг/м}^3$ , а для армированных железобетонных до  $180 \text{ кг/м}^3$ . Суммарный расход цемента и золы при этом должен быть соответственно не менее 200 и  $220 \text{ кг/м}^3$ . 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.

$$K = V_{ц.т} / V_3,$$

где  $V_{ц.т}$  – выход теста нормальной густоты,  $см^3/кг$  цемента;  $V_3$  – то же из 1 кг золы.

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

$$V_{ц.т} = 1 / \rho + K_{н.г},$$

где  $\rho$  – истинная плотность цемента;  $K_{н.г}$  – нормальная густота цементного теста, доли единицы.

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

$$K_3 = R_{сж} / Ц,$$

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

Значение коэффициент  $K_3$  определяется эмпирическим путем. Для пропаренных бетонов в возрасте 1 сут значение  $K_3$  при водо-вяжущем отношении в пределах 0,4...0,54 составляет 0,038...0,058 без добавки золы, при содержании золы 60% -  $K_3 = 0,067...0,12$ . Для бетонов нормального твердения в возрасте 28 сут  $K_3$  соответственно возрастает от 0,065...0,085 до 0,067...0,12.

Для получения равнопрочных бетонов при выбранном составе смешанного вяжущего расходы составляют: цемента  $Ц = R_{сж} / K_3$   
золы-уноса

$$Z_y = (Ц m_{3-y}) / (100 - m_{3-y}),$$

где  $m_{3-y}$  – 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  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

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 воздухоустойчивость 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% ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ ). 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

Зола-унос применяют в качестве компонента строительных растворов, в котором сочетаются свойства минеральной добавки, пластификатора и микронаполнителя. Зола улучшает пластичность и водоудерживающую способность растворяемых 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 <sub>3</sub> , 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<sup>3</sup>, при этом в тощих малоцементных растворах оно составляет 80...125% массы цемента, в более жирных – 40...50%. При расходе цемента более 400 кг/м<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> 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 заменять часть цемента, извести или песка. При этом экономится до 30...50 кг цемента и 40...70 кг известкового теста на 1 м<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> 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 растворсмесях 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<sup>3</sup> 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 обычным 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<sub>2</sub>; 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<sup>2</sup>/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<sub>3</sub> и 3% (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O).

Ячеистые бетоны с применением золы в основном выпускают в виде газозолобетона плотностью 400...1200 кг/м<sup>3</sup>. 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 низкотемпературных 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 формирования ячеистых золобетонов является литьевой, когда в формы заливается смесь, содержащая 50...60% воды. Основные недостатки литьевого формирования: недостаточная газодерживающая способность смеси; неоднородная плотность изделий по высоте; медленное твердение; повышенная влажность изделий после тепловой обработки и большая усадка.

Более приемлемой для производства газобетона является *комплексная вибрационная технология*, позволяющая за счет эффекта разжижения смеси при вибрации в процессе перемешивания и формирования уменьшить количество воды затворения на 25...30%. Эффективно также применение холодных смесей ( $t=18...22^{\circ}\text{C}$ ) 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<sup>3</sup>, 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 заменой золы 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 вывозится 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 вырубki леса.

Объемы строительно-монтажных работ увеличиваются гораздо быстрее, чем объемы заготавливаемой 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 наполнитель 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 4.1

Фракционный состав, % частиц			Насыпная плотность в сухом состоянии, мм	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 (табл. 18).

Способ получения опилок предопределяет их физические особенности. При распиловке бревен на лесопильной раме получают опилки крупностью до 7мм , 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 щепы – 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 нормальной 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-волоконистых 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-волоконистых плит – волокнистую массу.

*Древесная дробленка* 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<sup>0</sup>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<sup>0</sup>С.

*Волокнистую массу* для изготовления древесно-волоконистых плит получают механическими, термехимическими 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 термехимического размола является предварительная обработка волокнистой массы паром при давлении 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 сырья из лиственных пород повышается расход смолы, уменьшается производительность прессы на 30...40%, а прочность плит снижается на 25...30%.

Для уменьшения количестве экстрагируемых веществ в древесных отходах 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 пропуска их через пенькомальные 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<sup>3</sup>.

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% о 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 ( $\rho_0=300...800$  кг/м<sup>3</sup>) и теплопроводностью

( $\lambda=0,093 \dots 0,3$  Вт/м.  $^{\circ}\text{C}$ )), а также хорошей обрабатываемостью. Пропиткой древесных заполнителей минерализаторам и последующим смешиванием их с минеральными вяжущими обеспечивается биостойкость и трудностгораемость 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  $50^{\circ}\text{C}$  и ниже –  $40^{\circ}$ .

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  $500 \text{ кг/м}^3$ ) и конструкционный ( $500 \dots 850 \text{ кг/м}^3$ ) (Табл. 4.2.)

Теплопроводность арболита зависит от средней плотности и вида заполнителя. Для арболита на измельченной древесине со средней плотностью  $400 \dots 850 \text{ кг/м}^3$  теплопроводность составляет

Таблица 4.2

Вид арболита	Класс по прочности	Марка прочности при осевом сжатии	Средняя плотность, $\text{кг/м}^3$ , арболита на			
			Измельченной древесине	костре льна или дробленых стеблях хлопчатника	костре конопля	Дробленой рисовой соломе

Теплоизоляционный	В0,35	M5	400...500	400...450	-	500
	В0,75	M10	450...5000	450...500	400...450	-
	В1,0	M15	500	500	450...500	-
Конструкционный	В1,5	-	500...650	550...650	500...550.	600..700
	В2,0	M25	500..700	600..700	550...650	-
	В2,5	M35	600...750	700..800	600...700	-
	В3,5	M50	700...850	-	-	-

0,08 ...0Ю17 Вт/ (м<sup>0</sup> С), на измельченных стеблях хлопчатника и рисовой соломы, костре льна и конопли – 0,07 ...0,12 Вт/ (м<sup>0</sup> 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 заполнителях.

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 менее 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.

Состав арболита определяют расчетно-экспериментальными методами. Расхода цемента , органического заполнителя и воды зависит от класса арболита по прочности на сжатие. Для теплоизоляционного арболита классов В 0,35...В1 расход цемента М 400 составляет 260...360 кг/м<sup>3</sup>, а конструкционно-теплоизоляционного классов В1,5 и В 2,5 - 330...450 кг/м<sup>3</sup>. 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<sup>3</sup> сульфата алюминия – 15...20 кг/м<sup>3</sup> .

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. Рекомендуются 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 приходится 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 *вибросилового 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<sup>0</sup>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<sup>0</sup>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<sup>2</sup> ограждения из арболита в 7...8 раз ниже, чем из кирпича и в 2...3 раза ниже, чем из керамзитобетона; стоимость 1 м<sup>2</sup> стены соответственно меньше на 3...4 и 6...7 руб.

Применение арболита, по сравнению с керамзитобетоном, снижает расход цемента на 35...55 кг/м<sup>2</sup> ограждения при равном термическом сопротивлении.

Сравнительные технико-экономические показатели 1 м<sup>2</sup> наружных стен из арболита и других материалов в сельскохозяйственном строительстве приведены в табл. 4.2

Таблица 4.2

Показатель	Однослойная панель из			Наружная стена из кирпича
	арболита	керамзитобетона	ячеистого бетона	
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	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<sup>3</sup> применяют для тепловой изоляции. Теплоизоляционный фибролит имеет теплопроводность 0,09...0,12 Вт/(м<sup>0</sup>С).

При средней плотности 400 кг/м<sup>3</sup> 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·°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 грибом.

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, конструкционно – теплоизоляционного при 0,15...0,4. Плиты, зажатые в формах, твердеют в естественных условиях или в специальных камерах при температуре 60...70°С и влажности воздуха 60...70%. Средний расход портландцемента марки М400 на 1 м<sup>3</sup> фибролитовых плит зависит от требуемой средней плотности и составляет 190...270 кг/м<sup>3</sup>. При производстве 1 м<sup>3</sup> фибролита расходуется также около 0,4 м<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> они обладают высокой прочностью, атмосферостойкостью, не воспламеняются, не разрушаются термитами и дереворазрушающими грибами, хорошо склеиваются с древесиной, пластмассами и металлами, легко обрабатываются, отделяются 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 1 м<sup>3</sup> опилкобетона классов В1...В2 средней плотностью 1050...1250 кг/м<sup>3</sup> расход портландцемента марки М400 составляет примерно 130 кг, гашеной извести – 105, песка – 600, опилок – 200 кг.

Опилкобетоны при средней плотности 300...700 кг/м<sup>3</sup> и прочности на сжатие 0,4...3 МПа применяют как теплоизоляционные материалы, а при средней плотности 700...1200 кг/м<sup>3</sup> и прочности на сжатие до 10 МПа – как конструктивно – 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<sup>2</sup> стены из опилкобетона вдвое меньше, чем из кирпича.

*Ксилолитом* называется искусственный строительный материал, полученный в результате твердения смеси, состоящей из магнезильного 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<sup>2</sup> покрытия толщиной 10 мм-410...620 кг, а кристаллического хлорида магния-260...400 кг.

Основные физико-механические свойства ксилолитовых плиток даны в табл.4.3.

Таблица 4.3

Показатель	Ксилолитовые плитки	
	прессованные	Трамбованные
Средняя плотность кг/м <sup>3</sup> , не более	1500	1800
Водопоглощение, %	8...12	16...20
Истираемость, г/см <sup>2</sup>	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 растворе 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<sup>3</sup> гипсового королита определенной плотности даны в табл.4.4.

Таблица 4.4

Материал, кг	Плотность королита, кг/м <sup>3</sup>		
	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

Примечание: Антисептиком служит 1...1,5 %-й раствор оксидефенолят натрия, а замедлителем схватывания гипса – бура или столярный клей.

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.°С).

Стоимость 1 м<sup>3</sup> королита вдвое ниже стоимости фибролита и арболита. Применяют королит в качестве утеплителя при устройстве стен и полов.

### 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 менее 50% стоимости материалов с древесным заполнителем. Поэтому экономически

выгодно использовать наиболее дешевые полимерные связующие, прочно склеивающие древесные частицы. Они должны удовлетворять ряд технологических требований: 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 терморезактивные поликонденсационные полимеры, которые под влиянием температуры около 100 °С 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°С, отверждаются они холодным и горячим способами.

Наиболее распространено применение мочевино-формальдегидных смол, имеющих ряд преимуществ: они быстро твердеют при нагревании; скорость их отверждения регулируется; обладают высокой прочностью склеивания и светлой окраской. В качестве отвердителей этих смол применяют хлористый или сернистый 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 эффективным 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 растет 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 раскаивают 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 12000 мм и толщиной 19 или 22 мм. Сырье раскаивают 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 раскаивают на обрезки заданной длины. На одну из кромок заготовок наносят клей и набирают на цепном конвейере ковер плиты, который подается в высокочастотные 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, мочевино – 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  $P_0 = 660...700 \text{ кг/м}^3$ ), виду отделки (необлицованные и облицованные бумагой, лущеным или строганным шпоном).

Таблица 4.5

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:	20	20	30	-

обычной				
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 <sup>3</sup> , не более	800	750	720	850

Основные физико-механические свойства древесно-стружечных плит даны в табл. 4.5.

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.

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 отдельно. 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  $150^{\circ}\text{C}$  и выше. В первый период прессования давление достигает максимальной величины – 3МПа, 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 формируется в виде бесконечной полосы, которую разрезают на изделия определенных размеров.

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

На изготовление  $1\text{ м}^3$  древесно-стружечных плит расходуется около  $1,7\text{ м}^3$  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  $800\text{ кг/м}^3$ , 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  $40...45^{\circ}\text{C}$  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 огнезащитным 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/м<sup>3</sup> в количестве 6...12% общей массы битумной эмульсии. При работающем смесителе вводят расплавленный битум, а спустя 3...4 мин – подогретую до 60...90<sup>0</sup>С воду, которая разбавляет смесь битума с эмульгатором до необходимой консистенции.

Костроэмульбит получают циклическим 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<sup>3</sup> утеплителя.

Расход материалов, кг, для приготовления 1 м<sup>3</sup> костроэмульбита (средняя плотность 3000 кг/м<sup>3</sup>) составляет: костра льна – 195; битум – 75; ЛСТ – 18 (в пересчете на сухое вещество); добавка (жидкое стекло) – 12.

Плиты формируют 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 600X600X100 мм и высушенный до постоянной массы характеризуются следующими физико-механическими показателями;

Средняя плотность при влажности 10% кг/м <sup>3</sup>	390
Теплопроводность при 20 <sup>0</sup> С, Вт/(м. <sup>0</sup> 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...300 кг/м<sup>3</sup>, прочность при изгибе – 0,5 МПа, теплопроводность 0,21...0,24 В (м.<sup>0</sup>С).

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

*Паркелит* – материал в виде плиток толщиной 18мм и размерами 300X300,333X333 и 400X400 мм. При изготовлении паркелита массу из древесных опилок и стружек смешивают со связующим и прессуют при давлении 8 МПа и температуре 140...160 °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.

Королиоовые плиты получают при использовании как неорганических, так и органических вяжущих. Роль органического вяжущего могут выполнять не только терморреактивные 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<sup>3</sup>, 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.<sup>0</sup>С). Так, как и пенопласты, риплит применяют в качестве заливочной массы 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. ОТХОДЫ ПРОМЫШЛЕННОСТЕЙ УЗБЕКИСТАНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

## 5.1. 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 снижении 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 широко 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 американским прогнозам предполагается, что к 2000 году будут изготавливаться легкие бетоны плотностью от 300 кг/м<sup>3</sup> и выше, прочностью при сжатии соответственно от 1,2 до 70Мпа. При этом конструкционные легкие бетоны должны иметь прочность при сжатии 30Мпа 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 виброплощадках, 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 Ахвередова И.Н. структурная вязкость цементного теста резко снижается с повышением частоты колебаний. Поэтому при высокочастотной вибрации уплотняемой легкогобетонной смеси достигается требуемое смещение зерен пористого заполнителя и их наиболее компактное расположение. Однако, из работы (19) следует, 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 работе свидетельствуют о том, что тепловлажностная обработка оказывает влияние на теплозащитные свойства легкогобетонных 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 качества (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, проведенные в работах, 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 обуславливает высокую силу сцепления заполнителя с цементным камнем.

Повышенной прочностью сцепления с цементным камнем обладают пористые заполнители с развитой открытой пористостью.

## Сравнительные характеристики пористых заполнителей

Таблица 5.1

Заполнитель	Водопоглощение по массе прод.	Средняя плотность кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, 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	0.22-0.6	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

Сравнение имеющихся в литературе данных, характеризующих различные пористые заполнителя /табл. 5.1/ 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.

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 обуславливают целесообразность использования его для получения легких материалов.

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.

## 5.2. Пенополистиролбетон

Исследованиям и разработкам в области пенополистиролбетонов на портландцементном вяжущем посвящены работы Вайсбурда А.М. с соавторами. В которых он приводит общие сведения об имеющихся в настоящее время результатах изучения таких материалов, а также данные, полученные им в ходе проведенных экспериментов.

Первое отечественное получение пенополистиролбетонов на портландцементе относится к 1965 г. Щебень из отходов пенополистиролбетона применяли в качестве заполнителя, так называемого «поропластобетона», которым утепляли кровли.

В 1967 г. были разработаны составы легкого бетона /табл 5.2/ состоящего из вспененных полистирольных гранул, речного кварцевого песка и портландцемента марки 500. Полученный материал.

## Составы полистиролбетона и его физико-механические характеристики:

Таблица 5.2

Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона					В/ц	Прочность при сжатии МПа	Прочность на растяжение при изгибе, Мпа	Теплопроводность, Вт/мК
	Цемент, кг	Песок, кг	Гранулы пенополистирола м <sup>3</sup>	Добавки, %	Вода, л				
350	250	-	1.2	0.45	120	0.48	0.7	0.11	0.078
400	300	-	1.2	0.5	126	0.44	1.0	0.14	0.082
500	330	50	1.1	0.6	150	0.46	1.5	0.27	0.12
600	400	85	1.1	0.7	180	0.45	2.6	0.36	0.16
700	430	140	1.07	0.75	190	0.44	3.7	0.48	0.182
800	460	190	1.07	0.8	200	0.43	5.0	0.68	0.2
900	480	240	1.0	1.0	208	0.43	6.2	0.85	0.23

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 (табл.5.3) и изменяются в зависимости от содержания цемента, песка, крупности гранул и степени их предварительного вспенивания.

Как отмечено 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.

ИИСП Госстроя СССР была рекомендовано технология изготовления наружных стеновых панелей из полистиролбетона.

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<sup>3</sup>.

Исследователями Узбекистана на местных материалах подобраны составы теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного пенополистиролбетонов с плотностью соответственно 400...500... и 600...900 кг/м<sup>3</sup>, 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.

## Характеристика легких бетонов на различных заполнителях

Таблица 5.3

Вид бетона	Плотность в сухом состоянии, кг/м <sup>3</sup>	Проч- ность на сжатие, Мпа	Растя- жение при изгибе, МПа	Началь- ный модуль упругости, МПа	Тепло- провод- ность, Вт/мК	Водо- погло- щение, %, по массе	Сорб- ционная влажность, % по массе
Полисти- ролбетон	350-900	0.7-6.0	0.12- 1.0	2000	0.08- 0.23	6-12	2.1-3.2
Керамзит- бетон	650-1800	1.5- 30.0	0.5-3.5	3500- 18000	0.2-0.65	14-23	3.8-12
Аглопори- тобетон	750-1900	1.5- 20.0	0.5-3.5	3500- 18000	0.35-0.8	12-23	4-14
Шлакопем- зобетон /термозит- обетон/ Перлито- бетон	900-1850		0.5-3.5 -	3500- 12000	0.3-0.6	11.5-12	2.2-5.5
Шунгизи- тобетон	350-1000	3.5- 20.0			0.12- 0.55	25-60	-
Ячеистый бетон	900-1300	0.7-7.5	1.6-2.5	700-2000		14-21	-
	600-1200	5.0- 10.0	-	7000- 10000	0.3-0.44	14-35	4.5-12
		2,5-7,5		1700-5000	0.18-0.4		

Фирма разработала составы легкого бетона с плотностью 200...1000 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии 0.5...7 МПа. Этот материал характеризуется 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 м.

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.

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 м.

В работе Вайсбурда А.М. и Тер-Осипянц (10) 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, готовится 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 м подвергать их термообработке при температуре свыше 100<sup>0</sup>С. 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-1. Введение в бетонную смесь добавки ВРП-1 в количестве 0.05...1% 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.

В работе отмечено, что в период подъема температуры от теплового расширения заполнителей, воды, воздуха, газов размеры свежееотформованного 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 до вспенивание пенополистирола ограничивается формой. Рекомендуемый в работе режим для изделий в открытых формах включает предварительную выдержку 4...6 ч, подъем температуры до 80<sup>0</sup>С, изотермический прогрев при 80<sup>0</sup>С в течении 4-х ч, охлаждение, а для изделий в закрытых формах: подъем температуры до 90...100<sup>0</sup>С в течение 1 ч без предварительной выдержки, изотермический прогрев при 90...100<sup>0</sup>С в течение 4-х 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 (табл.5.2).

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  $850 \text{ кг/м}^3$  модуль упругости составляет  $0.9 \cdot 10^4 \text{ Мпа}$ , а по данным фирмы «ВАР» (148), при плотности  $750 \text{ кг/м}^3$  он равен  $2 \cdot 10^4 \text{ Мпа}$ .

В то же время результаты исследований НИИСП Госстроя УССР свидетельствуют о том, что модуль упругости равен  $(2.9 \dots 3.4) \cdot 10^4 \text{ Мпа}$  при плотности бетона  $800 \text{ кг/м}^3$ .

Усадочные характеристики полистиролбетона различного состава колеблются в пределах  $0.6 \dots 2 \text{ мм/м}$ .

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  $190 \dots 220 \text{ кг/м}^3$ , теплопроводностью  $0.063 \dots 0.065 \text{ Вт м.К}$ , а также теплоизоляционный материал, в котором в качестве вяжущего используется жидкое стекло.

Однако, применение этих видов вяжущих, вследствие их невысокой активности, не приводит к желаемым результатам 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 лаборатории грунтосиликатов Киевского инженерно-строительного института.

### 5.3. Характеристика сырьевых материалов для получения пенополистиролбетонов

В качестве основных компонентов вяжущих и строительных материалов использовали отвальный электросталеплавильный шлак /г. Бекобод/ по ТУ 1015 УзССР 04-90 и электротермофосфорный шлак Чимкентского объединения «Фосфор» по ГОСТ 3476-74. Их химические

составы приведены в табл.5.4. Используемый электротермофосфорный шлак является отходом электротермического восстановления фосфора из фосфоритов коксом при 1400...1600<sup>0</sup>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<sup>3</sup>, плотность 2800 кг/м<sup>3</sup>, а портландцемента соответственно – 1150 и 3100 кг/м<sup>3</sup>, .

Стандартные свойства портландцемента приведены в табл.5.5.

В качестве щелочного компонента шлакощелочного вяжущего использовали содосульфатную смесь-отход производства, капралактам ПО «Электрохимпром» по ТУ 113-03-23-19-83, а также химически чистую соду, а в качестве добавки – натриевую соль сополимера салициловой кислоты с формальдегидом (ВРП-I).

Свойства шлакощелочного вяжущего, получаемого затворением, молотого шлака раствором щелочного компонента, приведены в табл.5.5.

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.5.6.

В качестве крупного заполнителя применяли вспененные гранулы крупностью 3-5 мм из отсевов производство полистирола суспензионного вспенивания, который получают в присутствии инициатора и изопентана (С<sub>5</sub>Н<sub>12</sub>) как порообразователя. Объемная насыпная масса вспененного полистирола – 90 кг/м<sup>3</sup>.

## Химический состав исходных сырьевых материалов.

Таблица 5.4.

Наименование	Массовая доля оксидов материалов: %									Mo
	ППП	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Mg O	SO <sub>3</sub>	MnO	TiO <sub>2</sub>	
Электротермофосфорный шлак (ЭТФ)	0.8	39	2.5	0.4	43	7,45	0.8	2.1	0....	1.1....
	0.9	42.3	2.81	0.51	45	6,53	0.9	2.9	0.1	1.15
Отвальный электросталеплавильный шлак (ОЭС)	0.8	15.6	4.8	4.46	1.9	2.0	0.1	3.1	0.67	1.25
	1.2	25.0	10.6	6.72	55	6.4	0.18	7.27	0.91	2.2
Портландцементный клинкер	0.6	21	4...	2...	63	0.5	0.6	1.1	0.2	
	0.7	24	7	4	66	1	0.8	1.5	0.3	-

## Свойства портландцемента и шлакощелочного вяжущего

Таблица 5.5.

Вид вяжущего	плотность щелочного компонента, кг/м <sup>3</sup>	тонкость помола, см <sup>2</sup> /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	1100	3000	3-10	5-50	4.3	32.0
	1150	-«-	1-50	4-10	4.9	42.0
	1180	-«-	1-10	3-20	5.2	44.0

Результаты ситового анализа немолотого электротермофосфорного шлака и песка  
 Чиназского карьера

Таблица 5.6.

Наименование	частные остатки на ситах, проц.					прошло через сито 0.14 проц	к-во от- мученных глинистых и пылеватых проц.	модул 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

## 5.4. Методика исследований

В соответствии с задачами настоящей работы 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.

Портландцемент поступал молотый в бумажных мешках и поэтому последующей обработке не подвергался.

Электротермофосфорный шлак /ЭТФ/ или электросталеплавильный /ЭСП/ мололи в шаровой мельнице до удельной поверхности  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ .

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  $92 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Исходные компоненты вяжущего и продукты их взаимодействия изучали с помощью химического, спектроскопического /ЯМР, ИКС/ и электронномикроскопического анализов.

Химический анализ осуществляли в соответствии с ГОСТ 53-8291 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 (6,28,46,47).

Определение величины пластической прочности теста осуществляли с помощью конического пластометра конструкции Ребиндера по его методике .

Активность вяжущих гидрационного твердения определяли по методике ГОСТ 310.4-76.

Исследование свойств бетонов осуществляли известными методами, испытывая вибрированные образцы-кубы размером  $6,07 \times 7,07 \times 7,07$  и  $10 \times 10 \times 10$  см.

Перечисленные методы являются общими для проведенных экспериментов. Методики отдельных опытов описаны в соответствующих разделах работы.

# ГЛАВА 6. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛБЕТОНА

## 6.1. Оптимизация составов пенополистиролбетона

На начальной стадии подбора составов шлакощелочного пенополистиролбетона необходимо определить вид используемого полистирола: вспученный или невспученный.

Для определения возможности применения невспученного полистирола его вводили в шлакощелочную растворную смесь путем перемешивания в растворомешалке принудительного перемешивания. Состав смеси на 1 м<sup>3</sup> бетона: 430 кг. вяжущего + 180 л раствора соды плотностью 1180 кг/м<sup>3</sup> + 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  $95 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . 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.

Как было, указано 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. 6.1. Из анализа экспериментальных данных установлено, что оптимальной концентрацией раствора является 0.1%.

## Влияние обработки гранул вспученного полистирола раствором ВРП-1 на свойства пенополистиролбетона

Таблица 6.1.

Состав бетона на 1 м <sup>3</sup>				Влияние концентрации раствора ВРП-1 на прочность бетона при сжатии:	Влияние продолжительности обработки раствором ВРП-1 гранул на прочность бетона при сжатии		
Молотый шлак, кг	Песок. Кг	Вспученные гранулы полистирола кг	Раствор соды R <sup>п</sup> <sub>0</sub> = 1180кг/м <sup>3</sup>	Концентрация %	Прочность Мпа	Время мин	Прочность, МПа
				-	4,7	-	4,7
430	140	90	180	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 6.2.

№ опыта	условные переменные				натуральные переменные				прочность при сжатии бетона, МПа
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	алюмосиликатная составляющая кг	щелочной раствор, л	песок, кг	плотность раствора, кг/м <sup>3</sup>	
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 <sup>7</sup> .5
4	-	-	+	+	250	122	600	1.18	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
23	0	0	0	+	300	131	425	1.18	8.7
24	0	0	0	-	300	131	425	1.1	5.2
25	0	0	0	0	300	131	425	1.14	8.3
									8.0
									8.5
									8.4
									8.1
									8.3

## Коэффициенты регрессий зависимостей прочности бетона и его усадки от состава

Таблица 6.3

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.6.2/.

Установление зависимостей производили с помощью метода планирования эксперимента.

В результате обработки экспериментальных данных получены коэффициенты регрессии (табл.6.3.).

Для анализа зависимости прочности бетона от его состава строили изолинии ее величины на исследуемом факторном пространстве в принятых пределах варьирования переменных /рис.6.1-6.4/.

Рассматривая графическое представление результатов, можно отметить, что на величину прочности, в первую очередь, оказывает влияние расходы шлака  $/X_I/$ , щелочного раствора  $/X_{II}/$  а также его плотность  $/X_4/$ .

При плотности щелочного раствора 1180 кг/м<sup>3</sup>/рис 6.1/ возможно получение бетонов, обладающих прочностью на 28 сутки естественного твердения от 7.5 до 10.5 МПа. Уменьшение плотности раствора до 1140 кг/м<sup>3</sup>/рис 6.2./ приводит к соответствующему уменьшению прочности, которая колеблется в пределах 6-9 Мпа. Дальнейшее уменьшение плотности раствора до 1100 кг/м<sup>3</sup> приводит к получению бетонов с прочностью 5-7.5 Мпа /рис 6.3./.

недостаточны для получения качественного материала и, поэтому в дальнейших исследованиях нижний предел плотности раствора ограничен значением 1140 кг/м<sup>3</sup>.

Предварительными экспериментами установлено, что зависимость усадки бетона от плотности раствора соды в пределах ее варьирования 1140-1180 кг/м<sup>3</sup> выражена слабо. Поэтому при установлении

### Пределы варьирования переменных и экспериментальная зависимость усадки бетона от его состава

Таблица 6.4.

№ опыта	условные переменные			натуральные переменные			усадка бетона мм/м
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	вяжущее кг	р-р щелочного комп, 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 0.44 0.37 0.35 0.38 0.39

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.6.4.

В результате обработки экспериментальных данных получены коэффициенты регрессии, которые также приведены в табл.6.3.

Для анализа зависимости усадки бетона от его состава строили изолинии ее величины на исследуемом факторном пространстве в принятых пределах варьирования /рис.6.4/. 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 алюмосиликатной составляющей и раствора соды более сложное. На величину усадки, как это следует из данных табл.6.4., 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 пенополистиролбетонов могут использоваться в навесных стеновых панелях, в которых требования по усадке бетона не предъявляются.

Анализ значений средних плотностей бетона позволил установить следующую зависимость:

$$\rho = \rho_{\text{пол}} + 1.15\text{Ш} + \text{П}$$

где  $\rho$  – средняя плотность пенополистиролбетона, кг/м<sup>3</sup>,

$\rho_{\text{пол}}$  - расход вспученного полистирола на 1 м<sup>3</sup> бетона кг:

Ш - расход вяжущего, кг. на 1 м<sup>3</sup> бетона:

П - расход песка, кг,

Таким образом, получена следующая оптимизационная модель:

$$F = \text{Ш} \quad \min$$

$$\rho = \rho_{\text{пол}} + 1.15 \text{Ш} + \text{П}$$

$$R = f(\text{Ш}, \text{Р}, \text{S}, \text{П})$$

$$S = f(\text{Ш}, \text{Р}, \text{П})$$





**Оптимальные составы конструкционно-теплоизоляционного пенополистиролбетона на основе шлакощелочного вяжущего**

Таблица.6.5.

№ состава	средняя плотность кг/м <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>
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 шлакощелочных бетонов

Таблица.6.6.

№ состава	средняя плотность кг/м <sup>3</sup>	расход материалов на 1 м <sup>3</sup> 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.6.6./.

Плотность раствора соды принята 1180 кг/м<sup>3</sup>. при меньших плотностях прочность бетона значительно снижается.

Таким образом в результате проведенных исследований предложены оптимальные составы как конструктивно – теплоизоляционных, так и теплоизоляционных бетонов. Табл. 6.5 и 6.6. это позволяет перейти к определению технологических параметров получения пенополистиролбетона.

### 6.2. 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 назначение параметров обработки вспученного пенополистирола раствором ВРП-1. Вопросы влияния режимов тепловлажностной обработки на качестве продукции будут рассмотрено отдельно.

Как известно применение ПАВ в шлакощелочных вяжущих эффективно при их введении при помоле шлака.

Поэтому исследовали влияния ВРП-1 на свойства шлакощелочного вяжущего вводимой указанным путем. Из анализа экспериментальных данных /табл 6.1./ принято оптимальное содержание добавки 0.1% от массы вяжущего. При этом тонкость помола вяжущего составляет 2800-3200 см<sup>2</sup>/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/Щ, применяемого для приготовления теплоизоляционного пенополистиролбетона и цементнопесчаной смеси с требуемым Р/Щ, используемой для получения конструктивно-теплоизоляционного бетона. Плотность щелочного раствора была принята, в соответствии с результатами подбора состава теплоизоляционного бетона, равной 1180 кг/м<sup>3</sup>.

Структурная вязкость шлакощелочного теста с высоким Р/Щ значительно снижается, поэтому изменение подвижности теста во времени исследовали с помощью вискозиметра Суттарда. /табл.6.7./. Сопоставление ее изменения во

### Кинетика изменения вязкости теста

Таблица 6.7

Распływ 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

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.

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 /рис.6.6/, устанавливающих зависимость погружения конуса в тесто от прикладываемой нагрузки, определяли соответствие величины квадрата глубины погружения конуса от



нагрузки /рис.6.7/. На основании полученных данных рассчитывали пластическую прочность теста по формуле:

$$P_m = K_J F |h^2 m$$

где  $K_J$  – константа, составляющая для конуса с углом  $45^\circ$   $0.658 \cdot 10^5$ ;

$F$  – определяется графически, исходя из опытных величин нагрузок, дин/см<sup>2</sup> (рис.6.7).

$h_m$  – глубина погружения конуса в массу, см.

Величина пластической прочности, содержащей вспученный полистирол смеси, для которой уже не характерно расслоение равна  $3.71 \cdot 10^5$  дин/см<sup>2</sup>.

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 /рис.6.8/, что указывает на неэффективность приготовления бетонов без предварительного выдерживания 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 высоко и превышает  $3.71 \cdot 10^5$  дин/см<sup>2</sup>. 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.

Обработка вспученного полистирола 0.1% добавки ВРП –1 описана в 3.1, поэтому здесь она не приводятся. Оставшийся раствор после обработки опять заливают в мешалку для вторичного использования.

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 /рис. 6.9/.







Следующим важным этапом в назначении технологических параметров изготовления изделий, влияющих на свойства продукции, является определение условий и режимов их твердения.

### 6.3. Влияния условий и режимов твердения на свойства пенополистиролбетонов

Из анализа экспериментальных данных /табл.6.8/, 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.

Достижимый 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

Влияние параметров тепловлажностной обработки на физико-механические свойства теплоизоляционного пенополистиролбетона

Таблица 6.8

№ состава по табл. 3.5	параметры тепловлажностной обработки		физико-механические свойства		
	давление МПа	режим, Ч.	средняя плотность кг/м <sup>3</sup>	прочность, МПа, при:	
				сжатию	изгибе
1	2	3	4	5	6
	-	-	400	0.8	0.3
1	0,1	3+5+2	370	1.1	0.5
2	0,1	2.5+5+1.5	380	1.1	0.5
3	0,1	3+3+1	390	0.9	0.4
4	0,4	3+5+2	380	1.7	1.0
5	0,4	2.5+5+1.5	380	1.5	0.9
6	0,6	3+3+1	380	1.1	0.8
7	0,6	3+5+2	370	2.0	1.6
8	0,6	2.5+5+1.5	370	1.9	1.4
	0,6	3+3+1	380	1.8	1.2
	0,8	3+5+2	360	2.4	2.0
	0,8	2.5+5+1.5	370	2.2	1.6
	0,8	3+3+1	370	2.0	1.4

не только повышение прочности бетона, но и снижение его средней плотности. Поэтому были проведены дополнительные исследования влияния тепловлажностной обработки на среднюю плотность.

Из анализа экспериментальных данных /рис.6.10/ 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, формируются 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<sup>0</sup>С 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 ± 3<sup>0</sup>С (рис.6.11).

Положительное влияние сушки на свойства материала может быть объяснено не только коагуляцией 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 /рис.6.11/ можно ограничить ее продолжительность 8 ч.

Таким образом, анализ экспериментальных данных позволяет рекомендовать повышенные параметры тепловлажностной

Влияние параметров тепловлажностной обработки на физико-механические свойства конструкционно – теплоизоляционного пенополистиролбетона

Таблица 6.9

№ состава по табл.4.4	параметры тепловлажностной обработки		физико-механические свойства	
	давление, МПа	режим, ч.	средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	прочность, МПа, при сжатии
1	2	3	4	5
	-	-	850	9
1	0.1	3+5+2	850	12
2	0.1	3+5+1	850	10
3	0.1	3+3+1	850	10
4	0.4	3+5+2	830	14
5	0.4	3+3+1	840	12
6	0.4	3+3+1	840	12
7	0.6	3+5+2	830	16

8	0.6	3+3+1	830	14
9	0.6	3+3+1	830	14
10	0.8	3+5+2	740	17
11	0.8	3+3+1	750	17
12	0.8	3+3+1	750	16

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.6.9/ 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 конструктивно – теплоизоляционных пенополистиролбетонов проявляется в меньшей степени, чем у теплоизоляционных. В то же время прирост прочности больше у конструктивно – теплоизоляционных.

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 /рис.6.12/ на свойства конструктивно – теплоизоляционного пенополистиролбетона также сказывается в меньшей степени, чем для теплоизоляционного.

Таким образом, анализ экспериментальных данных позволяет рекомендовать для конструктивно – теплоизоляционного пенополистиролбетона как пропаривание, так и автоклавирование. Выбор режима тепловлажностной обработки определяется техникой – экономическим обоснованием, учитывающим специфику реальных условий.







# ГЛАВА 7. ПРОМЫШЛЕННОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ПЕНОПОЛИСТИРОЛБЕТОНА И ЕГО ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

## 7.1. Получение шлакощелочного пенополистиролбетона в промышленных условиях

В июне – августе 2002 г. на Ташкентском заводе ЖБИ-1 проводились работы по выпуску опытно-промышленной партии конструкционно - теплоизоляционного пенополистиролбетона.

Для этих целей использовали действующее оборудование предприятия.

Молотые до удельной поверхности 2800...3000 см<sup>2</sup>/г электротермофосфорный и бекабадский шлаки вручную загружали в расходные бункера бетоносмесительного цеха. Необходимое количество ВРП-1 вводили при помеле 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, в соответствии с рекомендациями, изложенными в гл.3, 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 м, а с вспененным пенополистиролом – еще 3 м.

После перемешивания бетонную смесь выгружали в бадью объемом 1,2 м<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> шлакощелочного

пенополистиролбетона. Пропаривание производили по режиму 3+5+2 ч с температурой изотермической выдержки  $85 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Одновременно с указанными изделиями формовали контрольные кубики размером 10x10x10 см. После тепловлажностной обработки изделия осматривали, определяли среднюю плотность и прочность при сжатии контрольных образцов. Составы материалов и результаты испытаний представлены в табл.7.1

### Составы и физико-механические свойства конструкционно–теплоизоляционных шлакощелочных пенополистиролбетонов

Таблица 7.1

Состав пенополистиролбетона, м <sup>3</sup>					Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии бетона, МПа
Шлак, кг		Песок, кг	Вспученный пенополистирол кг/м <sup>3</sup>	Р-р содо-сульфатной смеси, л.		
Электро-термофосфорный	Бекабадский					
160	160	320	80	140	710	7.3
175	175	350	80	132	990	9.8

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.

Экономическая эффективность предложенных материалов и процесса их изготовления подтверждается соответствующими технико-экономическими расчетами.

## 7.2. Техничко-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.7.2.

Из анализа результатов технико-экономических расчетов следует, что себестоимость шлакощелочного пенополистиролбетона плотностью 700 кг/м<sup>3</sup> только по материалом на 9% /75,31 сум.м<sup>3</sup>/, а плотностью 1000 кг/м<sup>3</sup> на 10,3% /95,2 сум.м<sup>3</sup>/ ниже по сравнению с портландцементным/ в ценах 2001 г.

## Сравнение по материалам себестоимости пенополистиролбетона на портландцементе и шлакощелочном вяжущем

Таблица 7.2.

наименование	ед. изм.	цена сум	эталонный состав бетона на портландцементе плотностью				разработанный бетон на шлакощелочном вяжущем плотностью			
			700		1000		700		1000	
			колво	сумма, руб	колво	сумма	колво	сумма руб	колво	сумма руб
Портландцемент	т	605	0.43	260.15	0.5	302.5				
ВРП-1 в вяжущем	т	500	0.00032	0.215	0.0005	0.25	0.00032	0.16	0.00032	0.175
Пенполистирол	т	6930	0.08	554.4	0.08	554.4	0.08	554.4	0.08	554.4
Песок	т	200	0.14	28	0.35	70	0.25	50	0.5	100
Молотый электротер-мофосфорный шлак	т	650	-	-	-	-	0.16	104	0.175	113.75
Молотый бекабад- ский шлак	т	350	-	-	-	-	0.16	56	0.175	61.25
Содосульфатная смесь ВРП-1 для обработки гранул	т	120	-	-	-	-	0.02410	2.88	0.202	2.424
пенополис-тирола	т	500	0.0001	0.05	0.0001	0.05	0.0001	0.05	0.0001	0.05
итого				842.8		927.2		767.49		832.049

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глуховский В.Д., Кривенко П.В., Старчук В.Н. и др. «Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях». Киев, «Выща школа», 1991.
2. Питулк С.М, Салимов А.Н. и др. «Стеновые панели из керамзитополыстиролбетона». Журнал «Строительные материалы и конструкции», №1, 1990.
3. Дворкин Л.И., Пашков И.А. «Строительные материалы из отходов промышленности». Киев, «Выща школа», 1989.
4. Газиев У.А. Оптимизация составов шлакощелочного пенополистиролбетона. Журнал «Поиск-3», Алма-Ата, 1998.
5. Газиев У.А., Махмудова Н.А. Богловчи материалларнинг истикболли турлари ва улар асосида бетон ишлаб чикариш. Укув кулланма, Тошкент, 2002.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3-4
Глава I. Современные сведения об отходах промышленности и их классификация.	
1.1. Общие сведения	5-6
1.2. Классификация побочных промышленных продуктов	6-8
1.3. Выбор направления утилизации промышленных отходов	8-10
Глава II. Материалы из отходов металлургической промышленности	
2.1. общая характеристика	11-13
2.2. Вяжущие материалы на основе металлургических шлаков	13-18
2.3. Заполнители из металлургических шлаков	19-22
2.4. Бетоны на основе металлургических шлаков	22-27
2.5. Шлакощелочные бетоны	27-29
Глава III. Материалы из отходов топливной и энергетической промышленности	
3.1. Общая характеристика топливосодержащих отходов	30-33
3.2. Вяжущие материалы на основе золошлаковых отходов	33-36
3.3. Пористые заполнители из топливных зол и шлаков	36-41
3.4. Применение золы как активной добавки в бетоны	41-45
3.5. Применение золы в строительных растворах	45-46
3.6. Золосодержащие ячеистые бетоны	46-48
Глава IV. Материалы из отходов переработки древесины и другого растительного сырья	
4.1. Общая характеристика	49-52
4.2. Материалы на основе минеральных вяжущих	52-59
4.3. Материалы на органических связующих	59-66

Глава V. Отходы промышленности Узбекистана для производства легких бетонов	
5.1. Основные тенденции в области получения легких бетонов	67-70
5.2. Пенополистиролбетон	71-77
5.3. Характеристика сырьевых материалов для получения пенополистиролбетонов	77-81
5.4. Методика исследований	82
Глава VI. Оптимизация составов и разработка технологии шлакощелочного пенополистиролбетона	
6.1. Оптимизация составов пенополистиролбетона	83-92
6.2. Определение технологических параметров получения пенополистиролбетона	92-100
6.3. Влияние условий и режимов твердения на свойства пенополистиролбетонов	100-106
Глава VII. Промышленное изготовления шлакощелочного пенополистиролбетона и его экономическая эффективность	
7.1. Получения шлакощелочного пенополистиролбетона в промышленных условиях	107-108
7.2. Техничко-экономическая эффективность конструкционно-теплоизоляционного шлакощелочного пенополистиролбетона	109-110