

Ю. Данилович, Н. А. Сканави

Б91
Д18

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ШЛАКОВ И ЗОЛ

для
производства
строительных
материалов



И. Ю. Данилович, Н. А. Сканави

691

Д 18

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ШЛАКОВ И ЗОЛ для производства строительных материалов

Одобрено Ученым советом
Государственного комитета СССР
по профессионально-
техническому образованию
в качестве учебного пособия
для средних профессионально-
технических училищ



МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1988

ББК 38.3

Д18

УДК 691.002.8

Рецензенты: канд. техн. наук *Б.Д. Коровников*, канд. техн. наук *А.М. Юдина*.

Данилович И.Ю., Сканави Н.А.

Д18 **Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов: Учеб. пособие для СПТУ. — М.: Высш. шк., 1988. — 72 с.: ил.**

ISBN 5-06-001280-8

Описаны использование зол и шлаков ТЭС в производстве вяжущих материалов (портландцементов, известковых и гипсовых вяжущих, цементного клинкера), искусственных пористых заполнителей для бетона, бетонов (тяжелых, легких, ячеистых, силикатных), строительных растворов, силикатного кирпича, строительной керамики. Дано технико-экономическое обоснование замены традиционных материалов золами и шлаками ТЭС.

Для учащихся и инженерно-педагогических работников средних профтехучилищ.

Д 3203000000(4307000000) - 262 120-88
052(01)-88

ББК 38.3
6С3

Учебное издание

Ирина Юрьевна Данилович, Наталья Алексеевна Сканави

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ ШЛАКОВ И ЗОЛ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Редактор *О.К. Мухина*. Художественный редактор *Т.В. Панина*. Художник *Ю.Д. Федичкин*. Технический редактор *Е.В. Цыганок*. Корректор *Р.К. Косинова*. Оператор *Г.А. Шестакова*.

ИБ № 7253

435179

Изд. № ИНД-446. Сдано в набор 24.12.87. Подп. в печать 14.03.88. Формат 60×88¹/₁₆. Бум. офс. № 2. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная. Объем 4,41 усл. печ. л. 4,66 усл. кр-отт. 5,15 уч.-изд. л. Тираж 9000 экз. Зак. 448. Цена 10 коп.

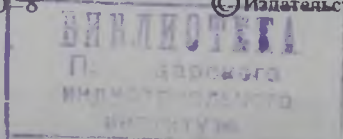
Издательство "Высшая школа", 101430, Москва, ГСП-4, Неглинная ул., д. 29/14.

Набрано на наборно-пишущих машинах издательства.

Отпечатано в Московской типографии №8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 101898, Москва, Хохловский пер., 7.

ISBN 5-06-001280-8

© Издательство "Высшая школа", 1988



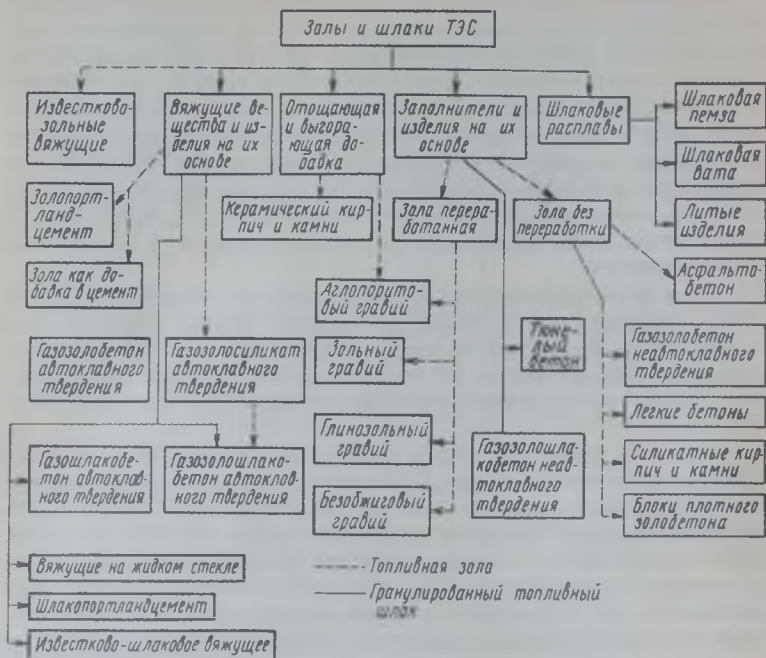
ВВЕДЕНИЕ

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года, утвержденных XXVII съездом КПСС, перед промышленностью строительных материалов поставлены задачи развивать производство эффективных строительных материалов, полнее использовать материалы попутной добычи, вторичное сырье, шлаки и другие отходы для производства строительных материалов, снизить за пятилетие себестоимость продукции на 4—5 процентов. Необходимо подходить к использованию вторичных ресурсов с принципиальных, государственных позиций, рассматривать их не как отходы производства, а как ценное сырье, источник расширения сырьевой базы промышленности.

Среди промышленных отходов одно из первых мест по объему выпуска занимают золы и шлаки от сжигания твердых видов топлива (уголь разных видов, горючие сланцы, торф) на тепловых электрических станциях (ТЭС). На многих ТЭС ежегодный выход золы и шлака превышает 1 млн. т, а на станциях, сжигающих многозольное топливо, достигает 5 млн. т.

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

Направления использования зол и шлаков ТЭС в промышленности строительных материалов



Из зол и шлаков возможно производство практически всех строительных материалов, изделий и конструкций, необходимых при возведении жилых и промышленных зданий, сельскохозяйственных объектов, дорожных и гидротехнических сооружений и т.п. Тем не менее объем использования зол и шлаков ТЭС в строительстве остается незначительным — около 3% их ежегодного выпуска.

Необходимость использования зол и шлаков диктуется не только экономическими соображениями, но и особо важными требованиями охраны окружающей среды. Замена природного сырья золами и шлаками способствует охране недр. Ликвидация золошлаковых отвалов благоприятно сказывается на атмосферном воздухе, который в местах отвалов содержит частицы пыли, разносимые ветром на значительные расстояния и отрицательно влияющие на окружающую среду и здоровье людей.

Цель учебного пособия — ознакомить учащихся с таким важным направлением ресурсосбережения в строительстве, как использование зол и шлаков теплоэлектростанций в производстве основных материалов, с которыми имеет дело рабочий: вяжущих веществ, искусственных

пористых заполнителей, различных разновидностей бетона, строительных растворов, силикатного кирпича, изделий строительной керамики. Учащиеся по любой строительной специальности найдут для себя в данном пособии полезную информацию, расширяющую кругозор, улучшающую профессиональную подготовку и способствующую воспитанию государственного подхода к вопросам экономии ресурсов и использования побочных продуктов промышленности.

Гл. II, III, § 18–20 гл. IV написаны канд. техн. наук, доц. И.Ю. Данилович; введение, гл. I, V, § 14–17, 21 гл. IV – канд. техн. наук, доц. Н.А. Сканави; гл. VI – совместно.

Г Л А В А I. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ СЖИГАНИИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

Твердое топливо сжигают как в виде кусков, так и в виде угольной пыли. Зола и шлак ТЭС представляют собой остаток от сжигания твердого топлива. Они являются продуктами высокотемпературной (до 1200...1700 °С) обработки минеральной, несгорающей части углей. Кусковое топливо используют только на мелких предприятиях. Основная масса зол и шлаков образуется на тепловых электростанциях из пылевидного угля. При этом в камерных топках получают отходы двух видов: зола уноса и шлак.

Шлак образуется в результате слипания размягченных частиц золы в объеме топки или на ее стенках и накапливается в шлаковом бункере под топкой. Размер зерен шлака 1...50 мм. Зола уноса (в дальнейшем будем называть золой ТЭС) уносится из топки с дымовыми газами и улавливается при их очистке в циклонах и электрофильтрах. Размер частиц золы менее 1 мм.

Свыше 80 % минеральной части углей переходит в золу, до 20 % — в шлак. Поэтому наибольший практический интерес для переработки в строительные материалы представляет зола ТЭС.

Минеральная часть твердого топлива обычно включает глинистые минералы, слюды, кварц, полевые шпаты, сульфиды железа, оксиды и гидроксиды железа, карбонаты кальция, магнезия и др. В процессе сжигания компоненты минеральной части изменяются, взаимодействуют друг с другом и образуют различные соединения, которые обуславливают образование зол и шлаков переменного химического и минерального состава в зависимости от температуры сжигания топлива и состава его минеральной части.

Глинистые минералы и слюды, содержащиеся в топливе, при сжигании последовательно дегидратируются (теряют воду) и аморфизуются, т.е. переходят из кристаллического состояния в аморфное. Аморфизация происходит в результате деформации и разрушения кристаллической решетки минерала при нагревании.

Изменение глинистых компонентов топлива при сжигании можно проследить на примере каолинита, как наиболее распространенного в природе глинистого минерала. При нагревании каолинита ($Al_2O_3 \cdot X \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) до 550...700 °С происходит его дегидратация до частично аморфизованного метакаолинита ($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$). При температуре 850...1050 °С происходит перестройка кристаллической решетки метакаолинита с частичным отщеплением $\gamma-Al_2O_3$ и образованием твердого раствора SiO_2 и Al_2O_3 . При температуре 900...1100 °С за счет взаимодействия ионов в твердой фазе кристаллизуются муллит ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) и кристобалит (SiO_2). При дальнейшем повышении температуры начинается спекание, а затем и плавление аморфизованного глинистого вещества.

Зерна кварца, находящегося в топливе, при сжигании почти не изменяются. Происходит лишь их растрескивание и оплавление. Значительно сильнее оплавляются зерна полевых шпатов. Соединения железа в процессе сжигания топлива переходят в гематит или магнетит. Карбонаты кальция и магнезия диссоциируют с образованием СаО и MgO и т.д.

Органическая часть исходного топлива в процессе сжигания теряет летучие компоненты и переходит в полукокс (не спекшиеся частицы) и кокс (спекшиеся частицы) с последующим окислением до СО и СО₂. Из-за неравномерности температуры в топочном пространстве полнота этих превращений существенно различается и золы ТЭС могут содержать невыгоревшие органические остатки с различными свойствами.

§ 2. СПОСОБЫ ОТБОРА ЗОЛЫ И ШЛАКА

Для извлечения золы из дымовых газов на электростанциях применяют различные золоуловители: циклоны и батарейные циклоны, мокрые золоуловители (скрубберы), электрофильтры.

В *циклонах* используется центробежная сила, развивающаяся при вращательно-поступательном движении газового потока. Под действием центробежной силы частицы золы отбрасываются к стенке циклона, теряют кинетическую энергию и выпадают в бункер. Циклоны хорошо задерживают крупные фракции золы, а мельчайшие — плохо. Они улавливают 50...80 % золы. Для повышения эффективности очистки газов циклонные элементы уменьшают в диаметре и объединяют в батарейные циклоны.

Степень улавливания золы в *скрубберах* составляет 80...95 %. Дымовые газы подводятся к ним так же тангенциально, как и к циклонам. Внутренние стенки скруббера омываются водой. Частицы золы, отбрасываемые к стенкам центробежной силой, стекают вместе с водой вниз в систему гидрозолоудаления.

Весьма высокую степень очистки газов от золы (99...99,5 %) обеспечивают *электрофильтры*, работающие на постоянном электрическом токе высокого напряжения (40...70 кВ). В камере электрофильтра на строго определенном расстоянии друг от друга установлены осадительные и коронирующие электроды, при подаче на которые высокого напряжения возникает коронный разряд. Частицы золы заряжаются и оседают на электродах, а очищенный газ выводится наружу. Осевшая на электродах зола непрерывно или периодически стряхивается и попадает в бункер электрофильтра. Для повышения эффективности очистки газа в горизонтальных электрофильтрах по ходу газа устанавливают несколько ячеек (полей) из электродов.

Из бункеров золоуловителей золу удаляют двумя основными способами: гидравлическим и пневматическим. Простой и надежный *гидравлический способ* используют в подавляющем большинстве электростанций. Он позволяет перемещать золошлаковые отходы на расстоянии 5...10 км от электростанции и совмещать гидротранспортирование и грануляцию шлака. Недостаток этого способа — большой расход воды.

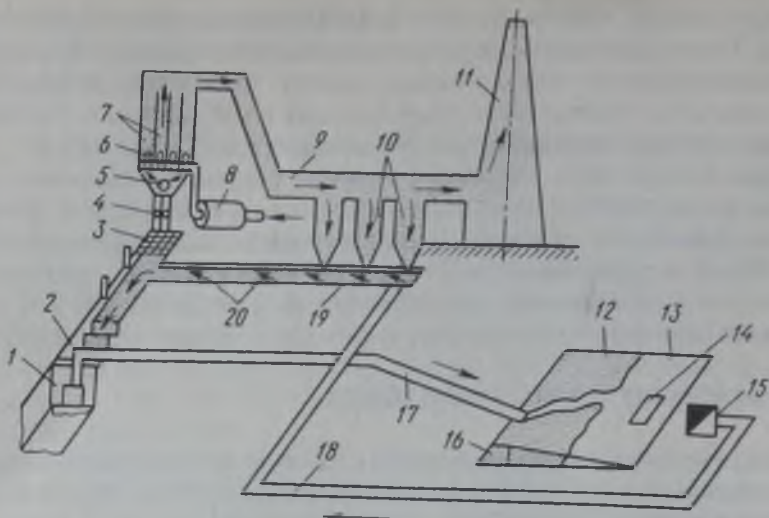


Рис. 1. Принципиальная схема гидрозолошлакоудаления на ТЭС:
 1 – багерный насос, 2 – приемный зумпф, 3 – решетка, задерживающая крупные включения шлака, 4 – шлаковые дробилки, 5 – шлаковая шахта и устройство, удаляющее из нее шлак, 6 – форсунки для подачи пылеугольного топлива, 7 – котлоагрегат, 8 – пылеугольная мельница, 9 – дымовой (зольный) канал, 10 – золоуловители, 11 – дымовая труба, 12 – надводный откос намыва золоотвала, 13 – отстойный пруд, 14 – водосбросной колодец, 15 – насосная станция оборотного водоснабжения, 16 – первичная дамба отвала, 17 – напорный пульпопровод, 18 – водовод очищенной воды, 19 – смывной канал гидрозолоудаления, 20 – побудительные сопла

Возможно совместное и раздельное гидротранспортирование золы и шлака. На ТЭС в основном используется совместное гидротранспортирование, при котором удаляемая из котельных помещений золошлаковая смесь гидравлическим способом направляется на специально оборудованные участки местности, называемые золоотвалами (рис. 1). Выбрасываемая из жерла трубопровода 17 шлакозольная пульпа распределяется по площади отвала неравномерно: более крупные частицы оседают ближе к месту выброса, а более мелкие уносятся дальше, образуя зольную зону отвала. Таким образом получается различный гранулометрический (зерновой) состав шлакозольной смеси по площади отвала. Неоднородность по зерновому составу вызывает и некоторую неоднородность химического состава, что ухудшает свойства золошлаковых отходов, как сырья для производства строительных материалов, и затрудняет их использование.

Простейшим и достаточно эффективным способом усреднения гидрозолоудаленных зол считается их многократная перевалка, например при погрузочно-разгрузочных работах при транспортировании золы. Большие осложнения производству приносят также колебания влажности золы. Возможно загрязнение отвальных зол посторонними включениями.

Этих недостатков лишены золы, отобранные *пневматическим способом*. Такой сухой способ в наилучшей степени удовлетворяет технологическим требованиям при использовании зол в производстве строительных материалов и более экономичен: капитальные затраты на удаление и складирование 1 т золошлаковых отходов при сухом способе почти в два раза меньше, чем при гидравлическом, а эксплуатационные затраты — соответственно на 30 %. Пока этот способ сравнительно редко применяют на ТЭС, но в будущем с расширением масштабов утилизации зол он получит должное распространение.

По типовой схеме сухого отбора зола из бункеров-золосборников под электрофильтром пневматическим способом подается в вакуумный золопровод, осадительную камеру с фильтром и в бункер-накопитель. Вакуум в системе отсоса создается вакуум-насосом. Из бункера-накопителя зола захватывается пневмовинтовым насосом и по напорному золопроводу закачивается в силосный склад. С помощью сжатого воздуха, подаваемого по трубопроводу, производится погрузка золы в железнодорожные золовозы или автозоловозы.

Новая система золошлакоудаления на ТЭС (рис. 2), разработанная ВНИИГ им. Д.Е. Веденеева, позволяет отгружать потребителям сухие золу и шлак, а при необходимости излишки материалов направлять в отвалы. Зола от золоуловителей 2 направляется в силосы 4 большой вместимости, откуда она может отгружаться для доставки потребителям либо в зависимости от заполнения силоса через смесительное устройство 8 подаваться в напорную гидротранспортную систему 10 для перемещения в отвал 11. При этом возможно создать консистенцию пульпы, соответствующую оптимальному режиму работы гидротранспорта. Шлак из котла удаляется по лоткам в отстойник 6, откуда он выгружается грейферным краном в автосамосвалы и направляется потребителям либо в отвал.

По способу шлакоудаления топки котлов бывают с твердым (гранулированным) и расплавленным (жидким) шлакоудалением. На ряде крупных электростанций действует система огненно-жидкого шлакоудаления с последующей грануляцией, позволяющая получить шлак повышенной однородности. В подтопочном бункере котла поддержива-

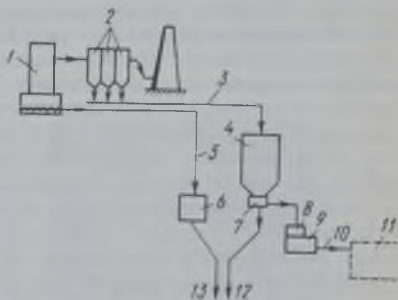


Рис. 2. Новая система золошлакоудаления на ТЭС:

1 — котлоагрегат, 2 — золоуловители, 3 — пневматическая система золоудаления, 4 — зольный силос, 5 — гидравлическая система шлакоудаления, 6 — шлакоотстойник, 7 — устройство для выдачи золы, 8 — смеситель, 9 — багерная насосная станция, 10 — магистральный пульпопровод, 11 — отвал, 12 — отгрузка сухой золы, 13 — отгрузка шлака

ется высокая температура, в результате чего в нем скапливается шлак в жидком состоянии. Для его удаления и грануляции под топками котлов установлены ванны с водой. Попадая в воду, расплавленный шлак в результате быстрого охлаждения гранулируется, т.е. распадается на гранулы размером 10...15 мм, состоящие в основном из стекла. Периодически шлак удаляют из ванны, смывая его водой под напором. При гидродальности он направляется в отвалы. При сухом удалении, что предпочтительнее, установленные под ванной непрерывные питатели подают шлак на ленточный конвейер к дробилке, измельчающей шлак до требуемой крупности.

§ 3. СОСТАВ, СТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС

Химический и минерально-фазовый состав зол и шлаков ТЭС, их строение и свойства зависят от состава минеральной части топлива, от режима его сжигания и теплотворной способности, от способа улавливания и удаления золы и шлака, от места их отбора.

Химический состав. Золой и шлаки от сжигания каменных углей и антрацитов по химическому составу представлены в основном SiO_2 и Al_2O_3 . Содержание CaO обычно не превышает в них 5%. Основную массу топливных зол составляют именно такие золы.

Соотношения главных оксидов в золах ТЭС в среднем таковы: SiO_2 — 40...58%, Al_2O_3 — 21...27%, CaO — 4...6%, Fe_2O_3 — 4...17%, Na_2O — 0,4...1,4%, K_2O — 0,4...4,7%. Помимо этого в состав зол входят SO_3 , MgO , TiO_2 и др. Нормативные требования к химическому составу зол ТЭС призваны обеспечить надлежащую прочность и долговечность бетона. Верхний предел содержания SO_3 ($\leq 3\%$) в золах ограничен требованиями сульфатостойкости. Для обеспечения равномерности изменения объема при твердении вяжущего с золой содержание свободного CaO не должно превышать 2...5% в зависимости от вида золы, а MgO — 5%. Суммарное содержание Na_2O и K_2O в золах должно быть менее 1,5...3% (в зависимости от вида исходного угля) во избежание возможных деформаций при их реакции с заполнителями.

Стандарты ограничивают также нижний предел содержания SiO_2 — 40% либо $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ — 50...70% (в зависимости от вида золы), от которых в значительной степени зависит активность золы.

Высококальциевые золы и шлаки образуются при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна (CaO — 20...40%), бурых углей месторождений Украины и Урала, каменных углей некоторых месторождений Средней Азии и Дальнего Востока ($\text{CaO} \geq 10\%$), а также горючих сланцев (CaO до 45%).

В зависимости от вида углей и условий их сжигания в золах может содержаться 0,5...20% и более несгоревших органических частиц топлива. Они считаются вредными примесями, ухудшающими важнейшие технические свойства бетонов с золой. Содержание остатков топлива оценивается по потерям при прокаливании пробы золы при 1000°C. Стандарты устанавливают допустимое содержание органических остат-

ков в золах в зависимости от вида исходного угля (антрацит, каменный или бурый уголь), вида бетона (тяжелый, легкий), вида бетонной конструкции (армированная, неармированная). По этим признакам допустимое содержание органических остатков колеблется в бурогольных золах в пределах 2...5%, в каменноугольных – 3...10, в антрацитовых – 5...20%.

Топливные остатки в шлаках практически отсутствуют, в отдельных случаях их содержание достигает 1%.

Минерально-фазовый состав. Из рассмотрения процессов, происходящих при сжигании твердого топлива, следует, что золы ТЭС состоят из неорганической и органической фаз. Неорганическая фаза включает аморфную и кристаллическую составляющие. Аморфная составляющая может быть представлена стеклом и аморфизованным глинистым веществом. Кристаллическая составляющая включает, во-первых, слабоизмененные зерна минералов исходного топлива (кварц, полевые шпаты и другие термически устойчивые минералы), а во-вторых, кристаллические новообразования, возникшие при сжигании топлива (муллит, гематит, алюминат кальция и др.).

Стекло в золах может быть силикатного, алюмосиликатного, а иногда железистоалюмосиликатного состава. В зависимости от состава стекло может быть бесцветным, желтым, бурым и даже черным.

Вид аморфной фазы (метакаолинит, слабоспекшееся аморфизованное глинистое вещество, спекшееся и частично остеклованное стекло) определяет химическую активность золы, форму и характер поверхности зольных частиц.

Большинство зол имеют сферическую форму частиц и гладкую остеклованную фактуру поверхности (рис. 3, а). Однородность шарообразных частиц может быть различной. Наиболее однородны частицы, полностью состоящие из стекла. Имеются также частицы, внутренняя

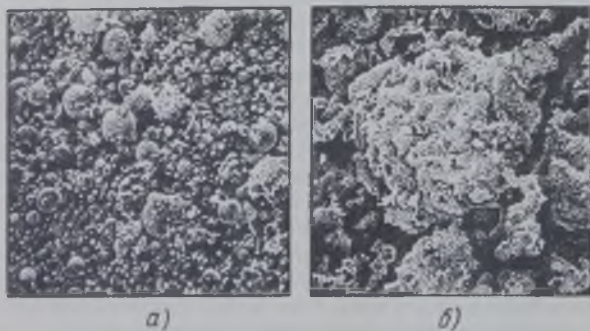


Рис. 3. Частицы топливной золы (увеличено в 460 раз):
а -- шарообразные частицы золы Ладыжинской ГРЭС, б -- агрегированные частицы золы Архангельской ТЭС

часть которых не расплавилась в процессе сжигания топлива и складывается из мельчайших минеральных и коксовых зерен. Встречаются и полые шарики в результате вспучивания стекла в момент образования частицы. Размер сферических частиц колеблется от нескольких микрон до 50...60 мкм.

Встречаются в золах также стекловидные частицы неправильной формы (рис. 3, б). Некоторые частицы содержат различное количество пузырьков, так что их поверхность может быть губчатой. Они тоже могут содержать во внутренней части большое количество кристаллических веществ.

Если температура сжигания топлива недостаточно высока, а его зольная часть тугоплавка, образуются зола, состоящие в основном из аморфизованного глинистого вещества, представленного пористыми частицами неправильной формы. Пористые частицы имеют высокое водопоглощение.

В крупных фракциях золы содержатся частицы-агрегаты, образовавшиеся в результате спекания множества мелких зерен. Такие частицы неоднородны и непрочны, что отрицательно сказывается на свойствах бетона, содержащего золу. Измельчение таких частиц повышает однородность и гидравлическую активность золы, а ввиду их низкой прочности не требует больших затрат времени и энергии.

По сравнению с золами в шлаках меньше (либо нет совсем) органических остатков и аморфизованного глинистого вещества и больше стеклофазы (до 95%). Это обусловлено увеличением длительности нахождения шлака в высокотемпературной зоне. Кристаллическая фаза в шлаках представлена кварцем, муллитом, магнетитом и т.д.

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

Гранулометрический (зерновой) состав пылевидных зол зависит от вида топлива, условий его подготовки, режима сжигания, способа улавливания золы и места ее отбора. Наиболее крупные частицы золы улавливаются циклонами, мелкие и мельчайшие — электрофильтрами, причем на каждом поле электрофильтра собирается определенная фракция золы. Например, зола из циклонов Прибалтийской ГРЭС содержит лишь 47...63% мельчайших частиц размером менее 50 мкм, в то время как электрофильтровая зола со второго поля содержит 61...87% таких частиц, с третьего поля — 78...99%, а фракция золы с четвертого поля электрофильтра практически вся состоит из мельчайших частиц. При этом происходит разделение не только по крупности, но и по химическому и фазовому составу. Максимальное содержание сферических стекловидных частиц имеют мельчайшие фракции золы. Чем крупнее фракция, тем выше в ней содержание агрегированных, шероховатых, пористых частиц.

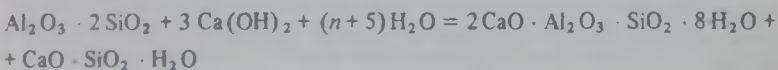
Системы совместного гидроудаления золы и шлака направляют в отвалы полидисперсные шлакозольные смеси. Вблизи места выпуска пульпы образуется шлаковая зона отвала с преобладанием частиц крупнее 0,25 мм, в отдалении — зольная зона с частицами менее 0,25 мм.

В стандартах разных стран используется характеристика дисперсности золы, оцениваемая по удельной поверхности, которая должна быть не менее 2700...4000 см²/г. Этим подчеркивается желательность использования мелких фракций золы.

От гранулометрического, химического и фазового состава золы зависит ее насыпная плотность, которая для различных зол находится в пределах 600...1300 кг/м³. Истинная плотность золы различных углей может колебаться от 1,75 до 3,5 г/см³ и в среднем составляет 2,1...2,4 г/см³. Топливные гранулированные шлаки имеют крупность зерен 10...15 мм, истинную плотность 2,83...3,26 г/см³, насыпную плотность 1100...1300 кг/м³.

Химическая активность является наиболее важным свойством зол и шлаков ТЭС, обуславливающим возможность их применения в составе вяжущих веществ и бетонов. Способностью к непосредственному взаимодействию с водой топливные золы и шлаки, как правило, не обладают. Это характерно лишь для высококальциевых зол, содержащих свободные оксиды кальция и магния. В то же время аморфные компоненты зол и шлаков обладают так называемой пуццолановой активностью, т.е. способностью при обычных температурах связывать гидроксид кальция с образованием нерастворимых соединений. Это характерно и для вулканических горных пород — пуццоланов, которые и дали название данному явлению. Накопление нерастворимых новообразований дает возможность гидравлического (сначала на воздухе, а затем и в воде) твердения вяжущих из смесей извести или портландцемента с золой или шлаком.

Пуццолановой активностью в составе зол и шлаков обладают продукты обжига глин: аморфизованное глинистое вещество типа метакаолинита, аморфные SiO₂ и Al₂O₃ и алюмосиликатное стекло. Реакционная способность по отношению к гидроксиду кальция у них различна и связана с рассмотренными ранее температурными превращениями каолиновых глин при сжигании топлива. Обладающий большой удельной поверхностью метакаолинит Al₂O₃ · 2 SiO₂ активно реагирует с Ca(OH)₂ при обычных температурах с образованием гидросиликатов кальция и гидроселенита по следующей реакции:



Активность образующихся при более высоких температурах аморфных SiO₂ и Al₂O₃ заметно меньше, что объясняется резким снижением удельной поверхности вследствие спекания и кристаллизации новообразований (муллита, кристобалита).

Высокотемпературное спекание и плавление глинистых минералов резко снижает их удельную поверхность и соответственно активность, поэтому стеклофаза зол и шлаков малоактивна при обычных температурах. Установлено, что повышение температуры сжигания топлива сверх



Рис. 4. Частицы топливной золы в бетоне нормального твердения в возрасте 28 сут (увеличено в 2080 раз)

допустимого предела приводит к падению активности большинства топливных зол.

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

При повышенных давлении и температуре проявляют активность и некоторые кристаллические компоненты зол и шлаков (кварц, полевые шпаты, алюмосиликаты кальция).

Пуццолановая реакция золы в бетоне начинается с адсорбции на поверхности частиц золы гидроксида кальция, выделяющегося при гидролизе минералов-силикатов портландцемента. Причем между покрытием из гидроксида кальция и частицами золы возникают тонкие водные слои толщиной $0,5 \dots 2$ мкм. Через них ионы кальция поступают к поверхности частиц золы и взаимодействуют с ее активными компонентами. На рис. 4 показано осаждение продуктов пуццолановой реакции в контактной зоне "зерно золы — цементный камень".

Скорость заполнения водных промежутков зависит от химического и фазового состава золы, ее дисперсности и условий твердения бетона.

Считается, что пуццолановая реакция золы в бетоне начинается не сразу, а по истечении определенного времени после приготовления бетона. Разные исследователи называют разные сроки: от 6 до 40 дней. Этот срок, во время которого зола инертна, также зависит от качества золы и условий твердения бетона.

При использовании золы или шлака в качестве добавки в цемент и бетон (активной минеральной добавки) возникает необходимость количественного определения их пуццолановой активности. С повышением активности золы и шлака возрастает степень их использования в бетоне.

В соответствии с ГОСТ 25094-82 предусмотрены следующие методы определения активности добавок: по концу схватывания теста нормальной густоты, состоящего из добавки, гидратной извести и гипсового камня $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; по водостойкости схватившегося теста; по пределу прочности при изгибе и сжатии пропаренных образцов-балочек из теста такого же состава; по содержанию гидроксида кальция в жидкой фазе, находящейся в контакте с цементом. Последний метод основан на способности активных минеральных добавок поглощать $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующийся в результате процессов твердения цемента. Чем ниже концентрация $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в жидкой фазе, тем активнее добавки. Чем активнее

добавка, тем более короткое время требуется для обеспечения схватывания и водостойкости теста, тем выше прочность образцов. Согласно ОСТ 21 9—81 "Добавки для цемента. Активные минеральные добавки. Технические условия" добавка считается активной, если она обеспечивает конец схватывания теста не позднее 7 сут после затворения, а водостойкость — не менее 3 сут после конца схватывания теста. Предел прочности при сжатии пропаренных образцов-балочек из теста, содержащего искусственные минеральные добавки, к которым относятся золы и шлаки ТЭС, должен быть не менее 3 МПа, при изгибе — не менее 1 МПа.

Термические свойства. Без исследования термических свойств зол и шлаков ТЭС нельзя установить их пригодность для производства искусственных пористых заполнителей, минеральной ваты, жароупорного бетона и других материалов, изготовление которых связано с нагреванием до высоких температур.

При нагревании до 100...300 °С пылевидные золы теряют адсорбированную воду. Причем, чем больше в золе аморфизованного глинистого вещества и органических остатков, тем больше она адсорбирует воды. При температуре 400...700 °С из золы выгорают органические остатки топлива. При 700...850 °С происходит разложение имеющихся в золе карбонатов, а при 920...980 °С происходит кристаллизация аморфизованного глинистого вещества и стеклофазы.

Высокотемпературные процессы включают размягчение частиц золы, их контактное спекание, вспучивание и кристаллизацию при охлаждении. Плавкость золы оценивают по трем показателям: началу деформации, началу размягчения и началу жидкоплавкого состояния. Различные по составу золы размягчаются при 1050...1470 °С, а плавятся при 1250...1710 °С. Подробно эти процессы будут рассмотрены в гл. III.

§ 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С целью выбора рационального направления использования золошлаковых материалов их классифицируют по различным признакам. Поскольку состав и свойства их отличаются непостоянством, единой классификации золошлаковых материалов, которая охватывала бы все признаки, еще не создано. Поэтому мы рассмотрим несколько классификаций, применяемых в строительстве.

В соответствии с ГОСТ 25818—83 "Зола-унос тепловых электростанций для бетона. Технические условия" различают золы по виду сжигаемого топлива и в зависимости от области применения.

По виду сжигаемого топлива различают золы антрацитовые, каменугольные и бурогоугольные. В зависимости от области применения золы делят на виды (I — для железобетонных конструкций и изделий, II — для бетонных конструкций и изделий, III — для конструкций гидротехнических сооружений) и классы (А — для тяжелого бетона, Б — для легкого бетона). Требования, предъявляемые к

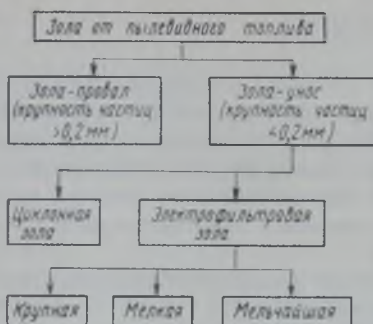
химическому составу зол различных видов и классов, приведены в ГОСТ 25818-83.

Зола класса А должна иметь удельную поверхность не менее $2800 \text{ см}^2/\text{г}$, класса Б — $1500\text{...}4000 \text{ см}^2/\text{г}$. Остаток на сите № 008 (размер отверстий $0,08 \text{ мм}$) для золы класса А должен быть не более 15 % по массе.

В соответствии с ОСТ 34 70-542-81 "Зола-унос тепловых электростанций. Общие технические требования" золы классифицируют и с х о д я и з р а й о н и р о в а н и я многочисленных месторождений угля и подчинения их крупным регионам. Этот стандарт устанавливает требования к пылевидным золам, полученным при сжигании донецких, подмосковных, львовско-волинских, кузнецких, экибастузских, ирша-бородинских, назаровских углей и прибалтийских сланцев. Помимо показателей химического состава и дисперсности нормируется характеристика плавкости зол, что необходимо в случае их применения для производства обжиговых материалов.

В зависимости от условий применения золошлаковые смеси, используемые в качестве заполнителя в бетоне, делят на классы (ГОСТ 25592-83 "Смесь золошлаковая тепловых электростанций для бетона. Технические условия"): А — для тяжелого бетона, Б — для легкого бетона, и виды: I — для железобетонных конструкций, II — для бетонных конструкций. Основным показателем для классификации здесь является зерновой состав смесей. Золошлаковые смеси классов А и Б должны иметь соответственно влажность не более 15 и 35 % по массе. Насыпная плотность смесей класса А должна быть не менее $1300 \text{ кг}/\text{м}^3$, а класса Б — не более $1300 \text{ кг}/\text{м}^3$. Нормируется также содержание органических остатков, сернистых примесей и SiO_2 . Суммарное содержание ($\text{CaO}_{\text{св}} + \text{MgO}$) не должно превышать 10 % в зольной части и 1 % — в шлаковой. Разделение смеси на зольную и шлаковую части производится просеиванием смеси через сито с размером отверстий $0,16 \text{ мм}$.

Помимо приведенных в стандартах существует ряд классификаций, разработанных различными исследователями, например, в зависимости от места осаждения и отбора зол. По-разному осажденные золы отличаются существенными особенностями. Зола-провал, выпадающая из турбулентных потоков газов в бункер подтопочного пространства, имеет крупные частицы с наибольшей истинной плотностью. Зола-унос, выносимая из зоны сгорания топлива дымовыми газами и улавливаемая в аппаратах очистки, высокодисперсна. Чем больше ступеней очистки проходят отходящие газы, тем мельче выпадающие из них частицы золы. Мелкие и мельчайшие фракции золы содержат наибольшее количество шарообразных частиц и меньше несгоревших органических остатков. При добавке в бетон они наиболее активно проявляют пуццолановые свойства и повышают удобоукладываемость бетонной смеси.



Существует ряд классификаций зол ТЭС по химическому составу. В основу их положено содержание различных оксидов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO . В зависимости от их соотношения золы делят на два класса: I – золы, при смешении с водой затвердевающие в камневидное тело; II – затвердевающие лишь при смешении с известью и водой, т.е. обладающие пуццолановыми свойствами. Этот признак наиболее важен, потому что золы, имеющие высокую гидравлическую активность и способность к самостоятельному твердению, обычно непригодны для получения многих обжиговых материалов. Класс золы определяется значением модуля основности, выраженного отношением $(\text{CaO} + \text{MgO})/(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$.

Золы и шлаки с высоким содержанием $\text{CaO} + \text{MgO}$ целесообразно использовать в первую очередь в качестве сырья для производства вяжущих веществ, а низкокальциевые – в качестве активных заполнителей в ячеистых бетонах, активных минеральных добавок к цементам и бетонам, в производстве кирпича, искусственных пористых заполнителей и т.д.

Классификация зол и шлаков ТЭС по фазовому составу учитывает три возможные фазовые составляющие: стекло, возникающее при быстром охлаждении расплавленных минеральных компонентов топлива; частично закристаллизованная фаза, образующаяся при медленном охлаждении шлакового расплава; аморфизованное вещество неорганической части топлива. Наиболее активная составляющая зол и шлаков – стекло. Аморфизованное глинистое вещество также является активной составляющей. Частично закристаллизованная фаза обладает пониженной активностью. От соотношения трех указанных фазовых составляющих и их индивидуальных особенностей зависит гидравлическая активность зол и шлаков, а следовательно, и возможные направления их использования.

Павлодарская

научно-техническая

библиотека

119277

Г Л А В А П. ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА С ДОБАВКОЙ ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС

§ 5. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Золошлаковые материалы (пылевидные золы, золошлаковые смеси из отвалов, топливные шлаки), характеризующиеся различным составом и свойствами, можно успешно использовать как эффективное сырье на цементных заводах и заводах сборного железобетона.

Золы и шлаки, образующиеся при сжигании разных видов углей и горючих сланцев, применяют при производстве следующих вяжущих веществ:

портландцементного клинкера с использованием зол и шлаков в качестве глинистого компонента;

портландцементов с минеральными добавками, в том числе с золами и шлаками, вводимыми при помоле клинкера (до 20% по массе вяжущего) (ГОСТ 10178-85 "Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия");

портландцементов, относящихся к группе пуццолановых, в которых содержание зол и шлаков допускается в количестве не менее 25 и не более 40% по массе вяжущего;

цементов для строительных растворов, содержащих не менее 40% клинкера и не более 40% золошлаковых материалов;

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

Золошлаковые отходы, как активные минеральные добавки при производстве цемента, должны отвечать требованиям ТУ 34-70-10347-81 и иметь химический состав в соответствии с нормами, приведенными в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Химический состав золошлаковых отходов, применяемых в производстве вяжущих

Компонент	Содержание компонентов, %, золошлаковых отходов	
	кислых	основных
Диоксид кремния SiO_2 , не менее	40	Не нормируется
Серный ангидрид SiO_3 , не более	2	5
Свободный оксид кальция CaO , не более	—	10
Щелочные оксиды в пересчете на Na_2O , не более	2	2
Несгоревшие частицы топлива (ППП), не более	5	5

Известно, что сырьем для производства клинкера служат карбонатные горные породы и глинистые породы, содержащие кремнезем, глинозем и оксид железа. Химический состав топливных зол и шлаков предопределяет целесообразность и эффективность использования их в качестве составляющих цементной сырьевой смеси.

Применение топливных зол и шлаков как компонента сырьевой смеси может дать цементным заводам следующие преимущества. При подходящем химическом составе золошлаковых материалов с точки зрения введения их в сырьевую смесь определенного цементного завода улучшаются условия обжига сырьевого шлама и химико-минералогический состав клинкера, т.е. качество цемента. В случае применения зол и шлаков с повышенным содержанием СаО оказывается возможным существенно уменьшить содержание карбонатного компонента в сырьевой смеси, увеличив выход клинкера и снизив удельный расход топлива на его обжиг. Использование пылевидных топливных зол позволяет снизить расход электроэнергии за счет повышенной дисперсности этих материалов. В случае применения зол с высоким содержанием несгоревшего угля будут улучшаться условия обжига сырьевой смеси.

Золу тепловых электростанций как сырьевой компонент постоянно применяют в тех или иных количествах следующие цементные заводы: Ангарский, Тимлюйский, Кантский, Сланцевский. При этом первые три завода используют кислые золы с содержанием СаО 3,3...6,2%.

В настоящее время определена пригодность зол от сжигания углей разных бассейнов для изготовления цементного клинкера. При этом разработаны рациональные составы обжигаемых смесей с золой, условия их обжига, определены характеристики получаемых клинкеров и экономический эффект от применения зол вместо традиционных материалов.

Установлено, что наибольший экономический эффект при изготовлении клинкера получается от использования зол, содержащих повышенное количество оксида кальция СаО (15...45%).

Особенностью использования топливных гранулированных шлаков является то, что они должны размалываться и практически не содержат несгоревших частиц топлива. Уже отмечалось, что наличие частиц угля в золах ТЭС, применяемых в качестве сырьевого компонента цементной шихты, является положительным фактором.

Так же как и при применении пылевидных зол, предпочтительнее использовать высококальциевые топливные шлаки (СаО — 45...55%), особенно сланцевые. Опыт полупромышленного изготовления клинкера с применением таких шлаков подтвердил, что на основе высококальциевых шлаков можно получать цементы более высокого качества, чем при использовании традиционного сырья. Сланцевский цементный завод постоянно применяет сланцевую золу в качестве сырьевого компонента. При использовании 100 тыс. т сланцевой золы годовой экономический эффект составляет около 200 тыс. руб. В целом же в цементной промышленности технико-экономический эффект от применения местных

зол ТЭС в качестве глинистого компонента шихты может составить 150...300 тыс. руб. в год. Кроме того, это позволит отказаться от специальной разработки глиняных карьеров, что, безусловно, отвечает интересам охраны окружающей среды.

§ 7. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ

Портландцемент с минеральными добавками. Для изготовления портландцементов с минеральными добавками в виде зол и шлаков в количестве до 20 % по массе вяжущего используют цементные клинкеры обычного состава с содержанием в них трехкальциевого силиката $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ в пределах 45...60 % и трехкальциевого алюмината $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ до 10...12 %. Добавка двуводного гипса допускается при помолу не более 5 %.

Технология таких цементов зависит от вида и качества золошлаковых отходов. Известно, что дисперсность различных зол может меняться от 1000 до 4000 $\text{см}^2/\text{г}$; влажность золошлаковых отвалных смесей колеблется также в широком диапазоне. На заводах организуют подачу определенного количества золы или шлака, обеспечивают их хранение в складских емкостях. При использовании влажных материалов их подсушивают до остаточной влажности 1...2 %, после чего направляют на совместный помол с клинкером и двуводным гипсом, регулируя соотношение компонентов с помощью дозирующих устройств.

Золу-унос благодаря высокой дисперсности вводят в цемент после размолы клинкера. При этом в технологической линии предусматривают смесительное устройство. В качестве смесителя можно использовать цементный силос, оборудованный интенсивным пневматическим перемешиванием. Вводить тонкодисперсную золу в цемент после его помола наиболее экономично, так как производительность завода при этом возрастает пропорционально количеству использованной золы. Однако дополнительный размол золы улучшает ее качество. В то же время мельница является интенсивным смесителем, поэтому золы, имеющие относительно невысокую дисперсность (менее 3000 $\text{см}^2/\text{г}$), целесообразно вводить в мельницу при размолу клинкера.

Наиболее эффективно подавать золу во вторую камеру мельницы, где клинкер находится уже в измельченном состоянии. Введение золы в первую камеру снижает производительность мельницы, оказывая буферное действие.

Цементы с минеральными добавками измельчают до остатка на сите с сеткой № 008 не более 15 % просеиваемой пробы. Истинная плотность такого портландцемента колеблется в пределах 3...3,1 $\text{г}/\text{см}^3$, насыпная плотность в рыхлом состоянии 900...1000 $\text{кг}/\text{м}^3$. Водопотребность цемента с золой несколько повышена по сравнению с цементами без добавок на 3...5 %. Начало схватывания этих цементов должно наступать не ранее 45 мин, а конец — не позднее 10 ч.

Активность портландцементов с добавкой зол и шлаков должна соответствовать маркам 400, 500, 550 и 600 (ГОСТ 10178—85). Разре-

шено выпускать цементы с добавкой зол и шлаков до 20 % марки 300 с прочностью через 28 сут твердения на изгиб не менее 4,5 и на сжатие не менее 30 МПа.

Цементы с минеральными добавками характеризуются пониженным тепловыделением, что открывает большие перспективы использования их для массивного, в частности гидротехнического, бетона, в котором повышенное тепловыделение цемента без добавок при твердении вызывает трещинообразование. Значительное увеличение прочностных показателей портландцементов с добавками зол и шлаков при тепловлажностной обработке предопределяет целесообразность их применения на заводах сборного железобетона.

Пуццолановый портландцемент. В соответствии с ГОСТ 22266–76* пуццолановый портландцемент (золопортландцемент) может содержать в своем составе золы 25...40 % по массе вяжущего. Зола по своим свойствам должна отвечать требованиям ОСТ 21 9–81. Допускается вводить при помоле цемента пластифицирующие или гидрофобизирующие поверхностно-активные добавки в количестве не более 0,3 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки.

Подготовка, подача, складирование золы осуществляются так же, как при получении портландцементов с добавками зол и шлаков.

Тонкость помола золопортландцемента должна характеризоваться остатком на сите с сеткой № 008 не более 15 %.

Увеличение содержания золы ведет к снижению истинной плотности золопортландцемента до 2,7...2,9 г/см³ и насыпной плотности в рыхлом состоянии до 800...1000 кг/м³; нормальная густота теста при этом возрастает до 30...35 %. Сроки схватывания золопортландцемента те же, что и для обычного портландцемента.

По прочности золопортландцемент делят на марки 300 и 400 (ГОСТ 22266–76*). Методы определения марочной прочности не отличаются от используемых для портландцемента без добавки золы.

Золопортландцемент характеризуется повышенной водостойкостью, пониженными воздухоустойкостью и экзотермией при твердении по сравнению с портландцементом. Это объясняется наличием в золопортландцементе значительного количества минеральной добавки – золы, предопределяющей резкое снижение концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердеющем цементе вследствие его связывания в низкоосновные гидросиликаты $[(0,8...1) \cdot \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ и гидроалюминаты кальция. По той же причине бетоны на золопортландцементе отличаются повышенной стойкостью против действия сульфатных вод.

Ограничением области применения бетонов на пуццолановых цементах на основе зол в сравнении с бетонами на портландцементе служит их пониженная морозостойкость и стойкость против попеременного увлажнения и высушивания. Поэтому целесообразно использовать золопортландцементы при строительстве подводных и подземных частей сооружений, особенно подверженных действию мягких и сульфатных вод, но не замораживанию и оттаиванию.

На Ангарском цементном комбинате используется в качестве активной добавки зола-унос Иркутской ТЭЦ-1. Другим примером использования в цементной промышленности золы-уноса является производство золопортландцемента на заводе "Пунане Кунда" в Эстонской ССР. Завод при производстве золопортландцемента вводит в его состав 24...25 % мельчайшей фракции летучей золы, получаемой Прибалтийской ГРЭС при сжигании горючего сланца — кукерсита. Сланцевая зола по своему химическому и вещественному составам отличается от соответствующих зол, получаемых при сжигании каменных углей. Она содержит большое количество CaO , SO_3 , K_2O и соответственно более низкое количество SiO_2 и Al_2O_3 . Мельчайшая фракция сланцевой золы имеет размер зерен менее 15 мкм и удельную поверхность более $2800 \text{ см}^2/\text{г}$. Завод производит сланцезольный портландцемент уже более 20 лет, что дает экономию 25...45 руб. на 1 т использованной золы.

В настоящее время зола-унос применяется на Ангарском и Каменец-Подольском цементных заводах при производстве портландцемента с минеральными добавками в количестве 15...20 %. В целом по стране пока используется в портландцементе около 250 тыс. т сухой золы в год, однако в двенадцатой пятилетке намечается существенно увеличить объемы ее применения.

Шлакопортландцемент. Особо эффективным является использование в качестве активной добавки в составе портландцемента топливных гранулированных шлаков. Обычно в производстве шлакопортландцемента используют доменные гранулированные шлаки. Активность тех и других шлаков обуславливается стекловидной структурой (до 80...95 % стеклофазы). При повышенном содержании в топливных гранулированных шлаках CaO (до 20...50 %) и Al_2O_3 (до 10...25 %) активность их еще более возрастает.

В зависимости от содержания CaO топливные шлаки подразделяют на кислые ($\text{CaO} < 15...20 \%$) и основные ($\text{CaO} > 30...40 \%$). К основным в первую очередь относятся шлаки, получаемые на ряде ТЭС Сибири (Назаровская ГРЭС, Красноярская ТЭЦ-1, Иркутская ТЭЦ-6 и др.). При добавке к основному топливному шлаку всего 20 % клинкера активность вяжущего может достигнуть активности чистоклинкерного цемента.

Кислые топливные гранулированные шлаки могут использоваться также в качестве добавок к цементу. Активность таких шлакопортландцементов состава 50:50 (шлак : клинкер) близка к активности аналогичных цементов на основе доменных шлаков.

Для шлакопортландцементов на основе топливных шлаков характерна пониженная прочность в начальные сроки твердения. Значительный прирост прочности наблюдается к 28 сут. Наиболее высокую активность проявляют сланцевые шлаки, содержащие 41...47 % CaO и состоящие в основном из стекловидной фазы.

Цементы с различным содержанием топливных гранулированных шлаков имеют нормальные сроки схватывания и выдерживают испытание на равномерность изменения объема. С увеличением количества

вводимого в цемент шлака (до 50 %) несколько увеличиваются сроки схватывания цемента.

В условиях пропаривания портландцементы с добавками топливных шлаков имеют активность, близкую к активности цементов на основе доменных шлаков, а в отдельных случаях и выше.

Запаривание в автоклавах значительно повышает прочность смешанных цементов, причем менее активные в условиях нормального твердения цементы показывают более высокий прирост прочности. Предел прочности цементов с добавками 50 % шлаков увеличивается в 1,2...1,7 раза и достигает при введении основных шлаков 35,0...42,0 МПа, что соответствует прочностным характеристикам цементов с добавками доменных шлаков и составляет 82...98 % от прочности бездобавочного цемента.

Усадка и набухание цементов с добавками топливных и доменных шлаков существенно не отличаются.

Шлакопортландцементы на основе топливных шлаков выдерживают 200...250 циклов замораживания-оттаивания и 100...150 циклов увлажнения-высушивания, что свидетельствует о возможности применения таких цементов наряду с шлакопортландцементами, содержащими доменные шлаки.

На Красноярском цементном заводе осуществляется выпуск крупных партий шлакопортландцемента с использованием топливных гранулированных шлаков Назаровской ГРЭС. Подсчитано, что на этом заводе экономический эффект при замене доменных шлаков Западносибирского металлургического завода топливными шлаками Назаровской ГРЭС составляет более 100 тыс. руб., топливными шлаками Красноярской ТЭС — около 200 тыс. руб. в год.

Зольные цементы для строительных растворов — разновидность золопортландцемента — содержат не менее 40 % клинкерной составляющей и не более 40 % по массе золошлаковых отходов (ТУ 21-21-8-77).

По своим свойствам золы и шлаки должны отвечать требованиям ТУ 34-70-10347-81. Основное ограничение по содержанию серного ангидрида (SO_3) — не более 3,5 % по массе цемента. Тонкость помола вяжущего должна характеризоваться остатком на сите № 008 не более 12 %.

Зольный цемент при испытании его по ГОСТ 310.4-81 "Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии" должен иметь предел прочности на сжатие не менее 15 МПа, на изгиб не менее 1,7 МПа.

Готовят такой цемент совместным помолом компонентов, однако возможно и смешение отдельно размолотых составляющих.

Замена до 40 % портландцементного клинкера золой позволяет снизить себестоимость вяжущего для кладочных и штукатурных работ на 20...30 %. Средний экономический эффект, получаемый от использования в строительных растворах 1 т золы, составляет около 6...8 руб.

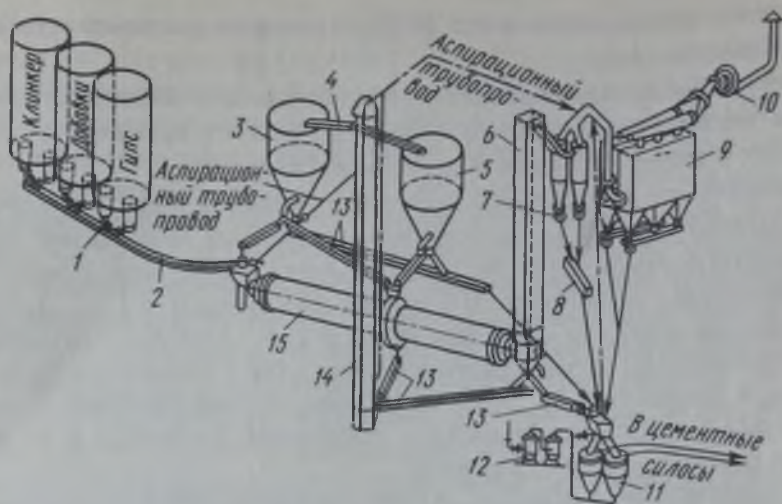


Рис. 5. Схема типовой помольной установки:

1 – дозаторы, 2 – ленточный конвейер, 3, 5 – сепараторы, 6 – аспирационная шахта, 7 – циклоны, 4, 8 и 13 – аэрожелоба, 9 – рукавный фильтр, 10 – вентилятор, 11 – камерный насос, 12 – фильтр сжатого воздуха, 14 – элеватор, 15 – мельница

Принципиальная технологическая схема приготовления портландцемента с использованием зол-уносов ТЭС предусматривает раздельное дозирование компонентов в дозаторах 1 (рис. 5) и последующий совместный помол в трубной мельнице 15.

§ 8. ИЗВЕСТКОВЫЕ ВЯЖУЩИЕ ВЕЩЕСТВА

На основе топливных зол и шлаков и воздушной или гидравлической извести могут быть получены бесклинкерные известково-золяные и известково-шлаковые вяжущие. Они получают совместным помолом извести с золой или шлаком и двуводным гипсом (в количестве до 5%). Количество извести допускается в вяжущем до 50% общей массы.

Требования к золам определены ОСТ 21 9–81. В соответствии с этими требованиями особое внимание уделяется содержанию в золах ангидрида серной кислоты (не более 5%), а также частиц не сгоревшего топлива (ППП – не более 5%). Состав известково-золошлаковых вяжущих зависит от химического состава зол или шлаков.

При использовании кислых зол и шлаков (с содержанием CaO 5...10%) берут 20...40% извести и 60...80% золы или шлака, при использовании основных зол или шлаков (с содержанием CaO 30...50%) количество извести уменьшается до 10...30%, золы или шлака увеличивается до 70...90%.

Тонкость помола вяжущих характеризуется остатком на сите с сеткой № 008 не более 10%.

Оптимальные составы известково-золошлаковых вяжущих устанавливают опытным путем, учитывая их назначение и условия твердения. Технология вяжущих аналогична представленной на рис. 5 и заключается в дозировании и совместном помолу указанных компонентов. При необходимости золу или шлак подсушивают до остаточной влажности 2...3 %.

Такие вяжущие отличаются замедленным твердением в нормальных условиях. Повышение температуры до 85...95 °С способствует значительному ускорению твердения, а автоклавная обработка при 174...200 °С ведет к получению еще более высоких показателей. Водопотребность известково-золошлаковых вяжущих в тесте нормальной густоты 30...35 %. Насыпная плотность известково-золевых вяжущих в рыхлом состоянии 700...800, а в уплотненном — 900...1200 кг/м³.

Твердение известково-золевых и известково-шлаковых вяжущих происходит в результате взаимодействия кремнеземисто-глиноземистых соединений золы с известью и водой. Образующиеся цементирующие вещества представлены гидросиликатами и гидроалюмосиликатами кальция различной основности.

Известково-золевые вяжущие подразделяют на марки 50, 100, 150, 200. Прочность и другие свойства вяжущих определяют в соответствии с ГОСТ 310.4—81*.

Существенным недостатком указанных вяжущих является их пониженная воздухо- и морозостойкость. Для улучшения этих свойств, а также для повышения прочности рекомендуется вводить в состав вяжущих 15...25 % портландцемента.

Свойства бетона на известково-золошлаковых вяжущих во многом зависят от их расхода на 1 м³ и условий тепловлажностной обработки.

Указанные цементы применяют для изготовления штукатурных и кладочных растворов, а также при изготовлении бетонных и железобетонных изделий (с добавкой 20...25 % портландцемента), твердеющих в условиях пропаривания или автоклавной обработки.

Себестоимость известково-золевых вяжущих меньше себестоимости портландцемента и шлакопортландцемента соответственно в 2,3 и 1,5 раза. Применение бесклинкерных вяжущих на основе топливных зол и шлаков снижает себестоимость бетона на 2...2,5 руб/м³.

Г Л А В А III. ИСКУССТВЕННЫЕ ПОРИСТЫЕ ЗАПОЛНИТЕЛИ НА ОСНОВЕ ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС

§ 9. ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛ ТЭС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

В производстве легких бетонов используют природные и искусственные пористые заполнители. К природным относятся заполнители из пемзы, туфа, опоки, трепела, диатомита. Наиболее распространенными искусственными пористыми заполнителями являются керамзит и аглопорит. Керамзит занимает первое место по объему производства из всех

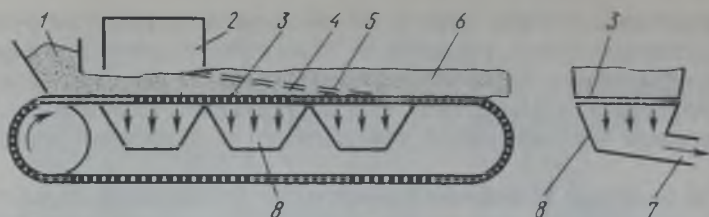


Рис. 6. Схема агломерационной машины:

1 - загрузка шихты, 2 - зажигательный горн, 3 - колосниковая решетка, 4 - слой спекаемой шихты, 5 - зона горения топлива, 6 - спекшийся корж, 7 - отсос газов, 8 - вакуум-камера

искусственных пористых заполнителей. Его получают из легкоплавких глинистых пород, способных вспучиваться при обжиге во вращающихся печах при температуре 1300...1400 °С. Аглопорит получают в виде щебня спеканием малопластичных глинистых пород, которые при обжиге не вспучиваются.

Ленточные агломерационные машины - более универсальные агрегаты, чем вращающиеся печи. На них можно получать как аглопоритовый гравий, так и щебень из зол разнообразного химического состава.

Основная технологическая операция при производстве аглопорита - спекание шихты на решетке 3 (рис. 6) агломерационной машины непрерывного или периодического действия. За счет горения угля в шихте 4 развивается температура до 1100 °С и выше, что приводит к ее спеканию в виде пористой остеклованной массы, которая подвергается дроблению и рассеву.

Керамзит по насыпной плотности делят на марки 250...800, аглопоритовый щебень - 400...900. Использование зол и шлаков ТЭС позволяет значительно расширить сырьевую базу для получения искусственных заполнителей, а также экономить топливно-энергетические ресурсы на их получение.

Изготовление крупных пористых заполнителей является одним из наиболее рациональных направлений в использовании золошлаковых отходов ТЭС, что объясняется максимальной золоемкостью этого материала.

Различают три вида обжиговых зольных заполнителей: аглопоритовый гравий, зольный гравий, глинозольный керамзит.

Вместе с этим возможно получение безобжигового зольного гравия, твердение которого осуществляется за счет вяжущих веществ, добавляемых к золе. Все перечисленные заполнители имеют форму окатанных частиц - гранул размером 5...20 мм.

Пригодность зольных материалов для производства пористых заполнителей предопределяется рядом их показателей: химическим и минеральным составом, количеством частиц несгоревшего топлива, степенью плавкости, степенью вспучивания, гранулометрическим составом.

Основой производства спекаемых и вспучиваемых зольных заполнителей являются свойства, проявляемые золошлаковым сырьем при высоких температурах: плавкость золы, вязкость и вспучиваемость расплава (см. § 3).

Для зол разных ТЭС с различным химическим составом показатели плавкости существенно отличаются. Наличие в составе зол так называемых оксидов-плавней CaO, MgO, FeO способствует более раннему образованию расплава при нагревании минеральной части топлива. Содержание SiO₂ и Al₂O₃ (кварца и глинозема) повышает тугоплавкость зол.

Важнейшей характеристикой золы, определяющей состав шихты для получения заполнителя и параметры агломерации, является температура плавления.

По температуре плавления, °С, различают три категории зол: легкоплавкие — до 1200, среднеплавкие — 1200...1400 и тугоплавкие — более 1400.

Важную роль в оценке пригодности золы для производства искусственных пористых заполнителей сыграло то, что золы способны вспучиваться аналогично глинистому сырью. При этом параллельно происходят два процесса: газообразование внутри гранулы и размягчение массы ее при нагревании.

Источником газообразования при нагревании зол являются остатки несгоревшего топлива в виде полукокса.

На первой стадии взаимодействия окислованных частиц с кислородом (500...700 °С) реакция протекает по схеме: $C + O_2 = CO_2$. С уменьшением количества кислорода изменяется протекание реакции: $CO_2 + C \rightarrow 2CO$. Этот процесс идет при 1100...1200 °С. Установлено, что хорошее качество заполнителя достигается в том случае, когда в определенном интервале температур совпадает максимум газовыделения с такой вязкостью массы, при которой она может деформироваться без разрыва сплошности.

Все обжиговые пористые заполнители по технологии и составу имеют много общего, но существует и ряд особенностей.

Количество окислованных частиц в золе, химический и минеральный состав, температура плавления в значительной степени определяют состав исходной шихты. Эффективным способом регулирования состава шихты является добавка 15...25 % глины, в результате чего получают глинозольный аглопорит. Добавка глины дает возможность изменять зерновой состав зол, улучшая этим их грануляцию, позволяет регулировать количество несгоревших частиц в шихте, обеспечивая нормальный ход процесса спекания.

При образовании пористой структуры аглопорита может преобладать контактное спекание частиц, усиливаться вспучивание и образование замкнутых сферических пор. В случае использования зол, способных вспучиваться, спекание на агломерационной решетке ухудшается и более предпочтительным становится обжиг во вращающихся печах, в которых образуются окатанные гранулы.

Различают три категории (I–III) зольного сырья в зависимости от температуры его плавления (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Категории зольного сырья для производства аглопорита

Категория сырья	Температура плавления золы, °С	Рекомендации по введению легкоплавкого компонента (глины)	Аглопорит
I	До 1200	Не вводят	Зольный
II	1200..1400	Желательно вводить	Зольный или глинозольный
III	Более 1400	Вводить обязательно	Глинозольный

Для получения отдельных, хорошо обожженных, но не спекшихся между собой гранул оптимальное содержание топливных остатков в золе должно составлять 3...12%. Если количество их превышает 12%, в результате спекания гранул между собой образуется сплошной пористый брус, из которого дроблением получают аглопоритовый щебень и песок.

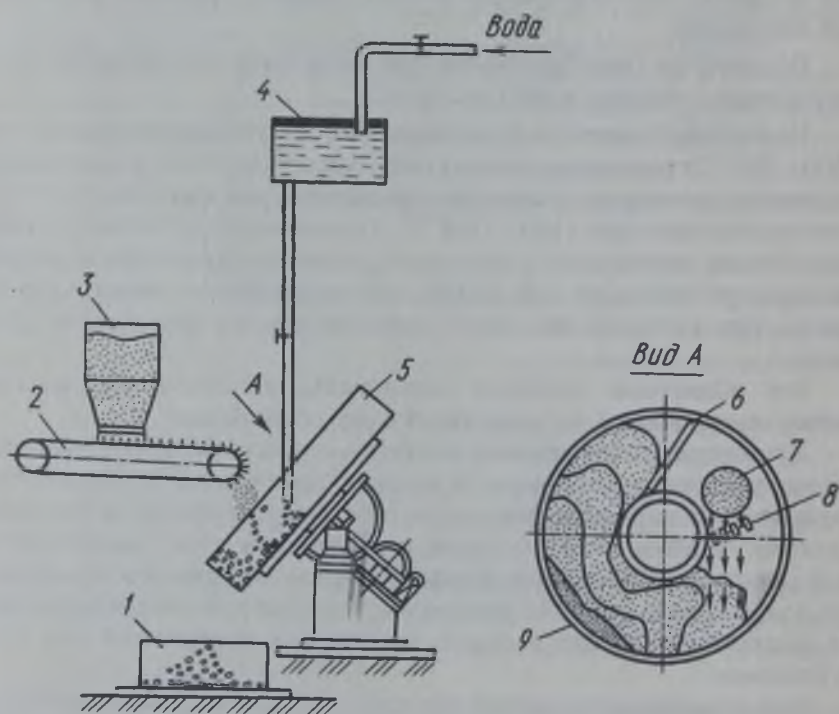


Рис. 7. Схема работы тарельчатого гранулятора:
 1 - бункер-приемник гранул, 2 - питатель, 3 - бункер сырьевой смеси,
 4 - уравнивательный бачок для воды, 5 - тарельчатый гранулятор, 6 - нож
 очистки дна, 7 - место загрузки, 8 - форсунка подачи воды, 9 - место
 выгрузки гранул

Для улучшения процессов, протекающих при обжиге, и качества зольного заполнителя рекомендуется применять различные добавки. Основными из них являются легкоплавкие глины и суглинки, тугоплавкие золы, лигносульфонаты технические (ЛСТ) (бывшее название СДБ), молотый уголь, молотый песок.

Наиболее универсальной добавкой являются легкоплавкие глины, позволяющие изменять теплотворную способность глинозольной шихты, улучшить температурный режим обжига. ЛСТ, а также бентонитовые глины улучшают процесс грануляции шихты. Тугоплавкие золы, молотый уголь, кварцевый песок способствуют уменьшению спекания гранул при обжиге.

Общим технологическим переделом для всех видов зольных заполнителей является грануляция сырьевой шихты. Для этой цели используют преимущественно тарельчатые грануляторы, применяемые в металлургической промышленности при агломерации руд.

Производительность гранулятора зависит от диаметра тарелки, скорости ее вращения и угла наклона к горизонту. Схема работы тарельчатого гранулятора 5 изображена на рис. 7. Предварительно подготовленная сырьевая смесь из бункера 3 подается питателем 2 на гранулятор 5, где увлажняется водой 4. Взаимное сближение частичек шихты и их уплотнение в гранулы обусловлены действием капиллярных и молекулярных взаимодействий, возникающих при увлажнении под действием центробежных сил.

На рис. 8 приведена схема приготовления шихты для глинозольных пористых заполнителей. Отдозированные глина и зола 3 поступают для предварительного смешения в винтовой конвейер 4, затем в смеситель 6, где увлажняются и поступают на грануляцию 7. В результате грануляции должен быть получен заполнитель, характеризующийся определенной прочностью, пористостью, влажностью и разделенный на две фракции – 5...10 и 10...20 мм.

При обжиге в результате спекания частиц шихты между собой получается требуемая структура заполнителя.

Общим для всех обжиговых материалов на основе зол и шлаков является то, что в их исходной шихте содержатся органические частицы в виде кокса или полукокса, во многом определяющие протекание обжига, качество получаемого материала, экономичность процесса. Благодаря этому экономия топлива в ряде случаев может составлять 30...40 % от его требуемого количества. Кроме того, повышается пористость и улучшаются теплотехнические свойства заполнителя.

Однако использование зол с повышенным содержанием несгоревшего топлива приводит к ухудшению качества зольного аглопорита. При содержании углерода в золе более 5 % структура заполнителя характеризуется пористой оболочкой и спекшимся ядром, что приводит к снижению прочности и повышению средней плотности. Оптимальной же структурой пористых заполнителей считается такая, при которой гранула имеет пористое ядро и плотную, спекшуюся оболочку. При этом достигается снижение средней плотности, водопоглощения и повышение прочности заполнителей.

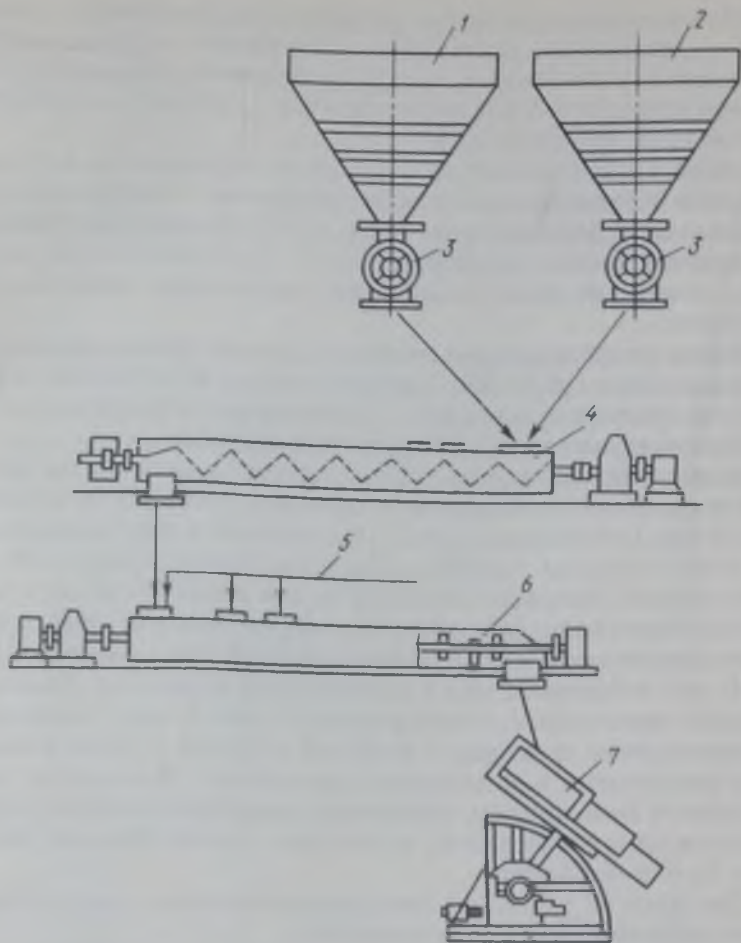


Рис. 8. Схема приготовления шихты для глинозольных пористых заполнителей:

1, 2 – расходные бункера золы и глины, 3 – весовой дозатор, 4 – винтовой конвейер, 5 – подача воды, 6 – смеситель, 7 – тарельчатый гранулятор

Чтобы гранулы имели поризованное ядро и плотную оболочку, количество несгоревшего углерода в сырьевых гранулах не должно превышать 3%.

Таким образом, с точки зрения экономии энергетических ресурсов целесообразно полностью использовать ококсованные остатки топлива в золах, технологические же режимы обжига заполнителей требуют ограничений. Поэтому при производстве обжиговых заполнителей из зол с повышенным (> 5...10%) содержанием углерода рекомендуются различные приемы (флотация зол с целью максимального выделения окок-

сованных частиц, применение глинозольных шихт и т.п.), позволяющие обеспечить требуемые свойства материала. Однако эти способы ведут к значительному удорожанию золы и усложнению технологии.

§ 10. АГЛОПОРИТОВЫЙ ГРАВИЙ И ЗОЛЬНЫЙ АГЛОПОРИТ

Производство аглопоритового гравия — одно из основных направлений утилизации зол ТЭС вследствие высокой золоемкости (85...100 % массы шихты).

Зола может быть как сухой, так и гидроудаленной с удельной поверхностью не менее $2000 \text{ см}^2/\text{г}$. Для изготовления аглопоритового гравия и зольного аглопорита допустимы следующие изменения количества основных соединений в золе, %: SiO_2 — 45...65; Al_2O_3 — 15...25; Fe_2O_3 — 5...15; $\text{CaO} + \text{MgO}$ — до 12; SO_3 — до 3. Интервал между максимальной усадкой и вспучиванием в золах для производства аглопоритового гравия должен быть не менее 100°C . Оптимальное количество несгоревшего топлива в золе должно быть следующим, %: в легкоплавких золах — 2...4; в среднеплавких золах — 4...7; в тугоплавких золах — до 13.

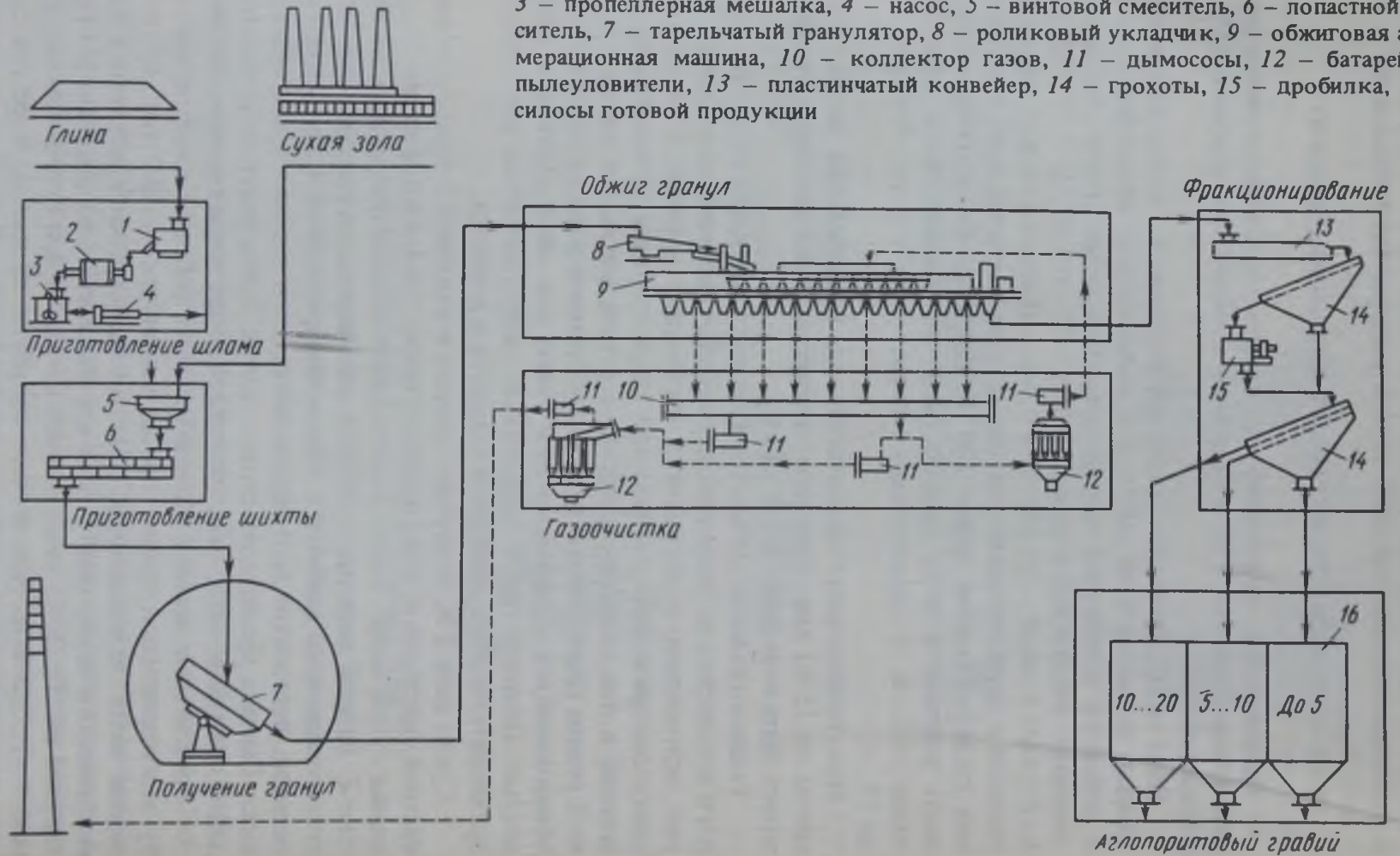
При производстве заполнителя из глинозольной шихты (добавка глины до 15 %) максимальное количество несгоревшего топлива в золе может быть повышено до 10...12 %.

Технологические схемы производства аглопоритового гравия и зольного аглопорита не имеют между собой существенных различий. Некоторые осложнения в технологии возникают в связи с непостоянством гранулометрического состава зол гидроудаления и меняющимся содержанием в них шлаковых частиц. В результате может нарушаться заданный режим грануляции и вместо требуемого размера зерен (14...16 мм) образовываться крупные комки массы или же гранулы с низкой прочностью. Поэтому при использовании гидроудаленных зол требуется их предварительное усреднение и контроль крупности.

Сухая зола ТЭС поступает вначале в винтовой 5 (рис. 9), затем в лопастной смеситель 6, куда подается также глина в количестве 10...15 % от массы сухой золы. Затем глинозольная смесь направляется на грануляцию 7. Второй этап изготовления заполнителя осуществляется на ленте агломерационной машины 9. Под агломерационной лентой создается разрежение, вследствие чего перемещение зоны горения происходит сверху вниз. Сначала происходит сушка гранул, затем прогрев их горячими газами, отходящими из расположенной выше зоны горения, вспучивание.

В настоящее время в Молдавской ССР работает завод по производству аглопоритового гравия производительностью 300 тыс. м^3 в год на основе золы гидроудаления. Положительными особенностями в технологии зольного аглопорита являются снижение расхода технологического топлива на 20...30 %, возможность спекания при более низком разрежении — 1,5...2 кПа, увеличение скорости спекания, в результате чего удельная производительность агломерационной машины может быть повышена в 1,3...1,5 раза.

Рис. 9. Технологическая схема получения аглопоритового гравия из сухой золы ТЭС:
 1 – глинорезательная машина, 2 – агрегат для приготовления глиняного шлама, 3 – пропеллерная мешалка, 4 – насос, 5 – винтовой смеситель, 6 – лопастной смеситель, 7 – тарельчатый гранулятор, 8 – роликовый укладчик, 9 – обжиговая агломерационная машина, 10 – коллектор газов, 11 – дымососы, 12 – батарейные пылеуловители, 13 – пластинчатый конвейер, 14 – грохоты, 15 – дробилка, 16 – силосы готовой продукции



Использование зол ТЭС в производстве керамзита целесообразно и дает значительный экономический эффект. В том случае, когда количество золы в сырьевой шихте составляет 10...30 %, ее следует рассматривать как добавку к глине. Если количество золы превышает 50 %, она является основным компонентом сырьевой смеси для производства керамзита.

Изменяя соотношение между глиной и золой, можно регулировать интервал плавкости (вспучиваемости), вязкость расплава, степень кристаллизации черепка гранул, вспучиваемость глинистого сырья и, таким образом, прочностные свойства заполнителя.

Установлено, что прочность гранул повышается, если используемая зола содержит глинозем (Al_2O_3) в пределах 20...35 %, вспучивание гранул происходит при содержании оксида железа от 12 до 20 %; содержание СаО не должно превышать 7...12 %, остатков несгоревшего топлива — 10 %. Удельная поверхность золы должна находиться в пределах 2000...3000 $см^2/г$.

Роль глины сводится к обеспечению связности частиц золы в гранулах до обжига, образованию расплава в определенном температурном интервале, созданию устойчивого источника кислорода, выделяющегося в результате дегидратации глинистых минералов и обеспечивающего выгорание оокосованных частиц.

Для производства глинозольного керамзита не требуется строительства новых специализированных предприятий. Могут быть использованы действующие предприятия керамзитовой промышленности, располагающие сырьевой базой и необходимыми транспортными средствами.

Производство глинозольного керамзита освоено на нескольких предприятиях, к числу которых относятся Нижне-Тагильский, Дубровский и Алексинский заводы.

Технология производства глинозольного керамзита состоит из следующих переделов. Комовую глину фракции 80...100 мм грейферным краном загружают в приемный бункер дисковой дробилки, где измельчают до 40...60 мм и далее направляют на вальцы грубого помола, а затем на вальцы тонкого помола. Измельченная до крупности 2...3 мм глина поступает на ленточный конвейер, на который с ленточного питателя поступает из бункера зола. Молотая глина и зола перемешиваются в глиномешалке с пароувлажнением и еще раз в глиномешалке открытого типа. Предварительно золошлаковую смесь рассеивают на барабанном грохоте для удаления посторонних примесей. Затем на дырчатых вальцах формируют цилиндрические гранулы диаметром — 14, длиной — 20 мм. При движении по наклонному конвейеру цилиндры опудривают мелким кварцевым песком. Перед обжигом целесообразно подсушивать гранулы для предотвращения их растрескивания. В описанной технологии сушильный барабан отсутствует, вследствие чего количество мелочи, получившейся при разрушении гранул, достигает 30 %, что снижает качество заполнителя.

Мазут для обжига подают в печь через форсунку. Вспучивание гранул происходит в обжиговой вращающейся печи в интервале 1080...1150 °С при следующем режиме: медленный нагрев до 500...600 °С, затем быстрый подъем температуры до 950...1150 °С. Обожженные гранулы охлаждаются в барабанном холодильнике и затем сортируют на фракции.

Насыпная плотность глинозольного керамзита — 700 кг/м³, прочность при сдавливании в цилиндре — 3,5...4,5 МПа. Изготовление глинозольного керамзита вместо обычного глиняного позволяет достигнуть: более высоких технико-экономических показателей, например экономии топлива на 25...30%; уменьшения территории, отводимой под карьеры глины; утилизации дешевого, загрязняющего окружающую среду сырья.

§ 12. ЗОЛЬНЫЙ ГРАВИЙ

Зольный гравий, как и керамзит, получают обжигом во вращающейся печи. Однако при производстве зольного гравия длина обжиговой печи значительно (в 2 раза) меньше печи для обжига керамзита и составляет около 20 м. Золоемкость зольного гравия еще выше, чем аглопоритового, так как он производится только из золы без добавок глины.

Для производства зольного гравия пригодны зола-унос и золошлаковые смеси гидроудаления. Наличие частиц шлака оказывает положительное влияние на обжиг гранул, облегчая переход зольной массы в размягченное состояние и способствуя их вспучиванию.

Производство зольного гравия состоит из четырех этапов: сушки, помола, гранулирования и обжига. В случае применения золы сухого отбора технологическая схема упрощается, поскольку сушка и в большинстве случаев помол могут не производиться.

Основные требования, предъявляемые к золе как к сырью для получения зольного гравия, следующие:

дисперсность, характеризуемая удельной поверхностью, — не менее 3000 см²/г и остатком на сите № 008 — не более 5 %;

влажность золы по массе не более 2...4 %;

температура размягчения, при которой зола переходит в пиропластическое состояние, не более 1300 °С; интервал плавкости около 1000 °С; содержание SiO₂ + Al₂O₃ — 70...87 %, CaO — не более 8 %, Fe₂O₃ — 7...15 %;

содержание остатков несгоревшего топлива не более 3 %.

Если содержание топливных частиц превышает указанную норму, однородность и прочность гравия ухудшаются.

Анализ приведенных требований к золам позволяет сделать вывод, что лишь весьма ограниченное их количество может быть рекомендовано для производства обжигового зольного гравия.

На Каширском заводе ЖБИ № 3 освоено производство зольного гравия (рис. 10). Зола из отвала поступает в сушильный барабан 3. После кратковременной сушки отходящими из печи горячими газами зола транспортируется в бункер сухой золы, а из него — в шаровую мельницу

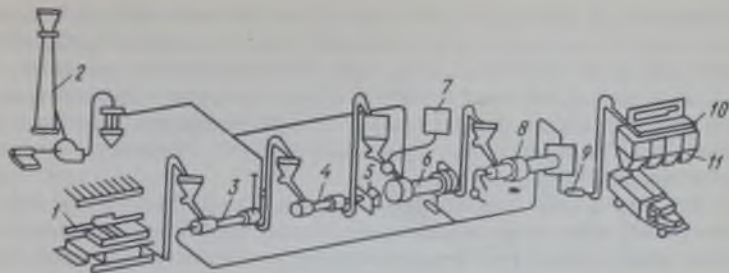


Рис. 10. Технологическая схема производства зольного гравия:

1 - ящикный подаватель, 2 - дымосос, 3, 6 - сушильные барабаны, 4 - шаровая мельница, 5 - тарельчатый гранулятор, 7 - узел приготовления ЛСТ, 8 - обжиговая печь, 9 - холодильник, 10 - классификатор, 11 - бункер готовой продукции

4, где измельчается до удельной поверхности $3000 \text{ см}^2/\text{г}$. Подсушенная зола из бункера питателем дозируется на тарельчатый гранулятор 5, где она увлажняется водным раствором ЛСТ и окатывается в гранулы. ЛСТ является хорошей связкой при грануляции. Количество ЛСТ составляет 0,3% от массы золы. Для упрочнения сырые гранулы подсушивают во втором сушильном барабане 6, после чего подают во вращающуюся прямоточную печь 8, где обжигают при температуре $1050\text{...}1200^\circ\text{C}$. Гранулы охлаждают до $50\text{...}100^\circ\text{C}$ в холодильнике 9, затем направляют на фракционирование и на склад. Такая технология позволяет получать наполнитель размером $10\text{...}40 \text{ мм}$.

Зольный гравий выпускают в основном марок 350...450 с пределом прочности на сжатие в цилиндре $1\text{...}1,5 \text{ МПа}$.

§ 13. БЕЗОБЖИГОВЫЙ ЗОЛЬНЫЙ ГРАВИЙ

Кроме рассмотренных обжиговых способов получения искусственных наполнителей из зольного сырья разработан безобжиговый способ. В основу его положен принцип гидратационного твердения различных вяжущих веществ и взаимодействие их с активными составляющими зол и золошлаковых смесей. В качестве вяжущего можно применять портландцемент, известь, гипсовое и гипсоцементнопуццолановое вяжущее (ГЦПВ).

Для производства безобжиговых наполнителей используют золы, отвечающие требованиям ОСТ 21 9-81, с удельной поверхностью не менее $2500 \text{ см}^2/\text{г}$. В отличие от зол ТЭС, используемых для производства обжиговых наполнителей, количество несгоревших частиц топлива в которых жестко ограничивается (до $10\text{...}15\%$), в производстве безобжиговых наполнителей можно применять золы с содержанием несгоревшего топлива до 25%, что значительно расширяет возможности утилизации зол. Правда, при этом несгоревшие частицы топлива "замуровываются"

в заполнителе и энергетический потенциал их не используется. Тем не менее сравнение топливно-энергетических затрат на производство различных видов искусственных заполнителей показывает экономическую целесообразность данной технологии. С целью снижения насыпной плотности гравия в состав сырьевой смеси вводят различные облегчающие добавки (перлитовый песок, древесные опилки, стеклопор, отходы пеностекла, газосиликата и др.).

Технологический процесс производства безобжигового зольного гравия (БЗГ) состоит из следующих основных переделов: совместного помола золы и вяжущего, приготовления гранул методом закатки их на грануляторе, твердения и сортировки гранул.

Совместный помол вяжущего и золы (или золошлаковой смеси) в мельнице "на проход" увеличивает удельную поверхность сырьевой смеси на 400..500 см²/г, обеспечивая при этом требуемую однородность. Количество воды для каждого состава смеси (21...26 %) подбирают экспериментальным путем в зависимости от заданного фракционного состава гранул и тонкости измельчения сырьевой смеси.

Твердение может осуществляться в нормальных условиях, однако с целью ускорения процесса нарастания прочности гранул рекомендуется термическая обработка гранул (в паровой или беспаровой среде) при температуре 90...95 °С в течение 4 ч до достижения ими прочности при сжатии в цилиндре 0,6...0,8 МПа. Окончательное затвердевание гранул происходит непосредственно в бетоне при пропаривании готовых изделий и конструкций.

Безобжиговый зольный гравий, полученный из сырьевой смеси, состоящей из 10...15 % портландцемента и 85 % пылевидной золы, имеет насыпную плотность 800...950 кг/м³ и прочность при сжатии в цилиндре 4...6 МПа.

Повысить прочность гранул путем снижения водотвердого отношения вода: (вяжущее + зола) возможно при введении пластифицирующих и гидрофобизирующих поверхностно-активных добавок (ЛСТ, мылонафта, асидол-мылонафта и т.д.) в количестве 0,1 % от массы сухой смеси.

Твердение гравия на основе портландцемента происходит замедленно в начальные сроки, так как это связано с его сроками схватывания и скоростью твердения, в то же время для транспортирования гранулы должны характеризоваться определенной начальной прочностью (0,08...0,1 МПа). С целью интенсификации процесса твердения в этот период в сырьевую смесь целесообразно вводить вместе с водой затворения различные добавки-ускорители твердения в количестве 1...3 % от массы вяжущего. При этом достигается повышение прочности гравия в первые часы твердения на 20...30 %, что позволяет сократить время тепловлажностной обработки на 1...2 ч. Указанные добавки обеспечивают также 28-суточную прочность гравия на 20...25 %, превышающую прочностные характеристики заполнителя без добавок.

Наибольшее ускорение твердения гравия достигается при затворении исходной сырьевой смеси водой, содержащей 5 % жидкого стекла

(Na_2SiO_3). При этом прочность гранул через 2 ч твердения составляет 0,5...0,7 МПа, а через 24 ч твердения — 2,3...2,5 МПа.

Хорошие результаты при изготовлении БЗГ дает использование в качестве вяжущего молотой негашеной извести. Сырьевую смесь получают совместным помолом извести (20...25 %), золы (70...75 %) и полуводного гипса (5 %). Прочность гранул после грануляции 0,1...0,12 МПа, при этом влажность гравия через 1 ч после грануляции уменьшается с 26...28 до 15...16 %. Собственная температура гранул достигает 60...70 °С за счет теплоты, выделяющейся при гашении извести и гидратации полуводного гипса, входящего в состав исходной смеси. Прочность известковозолного гравия во многом зависит от тонкости помола сырьевой смеси. Оптимальной удельной поверхностью смеси можно считать 4200...4500 $\text{см}^2/\text{г}$.

Использование для получения быстротвердеющего безобжигового золного гравия сырьевой смеси на основе негашеной извести позволяет исключить из состава исходной смеси дефицитный портландцемент и тепловую обработку и получить заполнитель с прочностью при сжатии в цилиндре 1...1,2 МПа через 1 ч после грануляции, что гарантирует его сохранность при транспортировании, хранении и при перемешивании бетонной смеси в бетономесителе. Через 1 сут прочность такого гравия 0,2...0,3 МПа, через 14 сут — 0,8...0,9 МПа, через 28 сут — 1,8...2,2 МПа; насыпная плотность гравия — 780...850 $\text{кг}/\text{м}^3$.

Использование в качестве связующего компонента ГЦПВ позволяет отказаться от тепловой обработки и получать гравий прочностью, МПа: непосредственно после грануляции — 0,1...0,15, через 1 сут — 1...1,5, через 3 сут — 2,3...3, через 28 сут — 4,5...5.

Повышенная насыпная плотность БЗГ (800...950 $\text{кг}/\text{м}^3$) не позволяет использовать его для получения легких теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных бетонов. В связи с этим возникает необходимость его облегчения. В качестве порообразующих наполнителей могут быть использованы легковесные отходы различных производств, например древесные опилки, крошка пенобетона, пеностекла и другие с насыпной плотностью, не превышающей 450...550 $\text{кг}/\text{м}^3$.

В случае экономической целесообразности хороший эффект достигается введением искусственных легких пористых заполнителей мелких фракций, таких, как перлитовый песок марок 50...100 (насыпная плотность в $\text{кг}/\text{м}^3$). Облегчающие наполнители дозируют и подают в смеситель для перемешивания с сырьевой смесью и увлажнения, после чего смесь направляют на грануляцию. Оптимальное содержание перлитового песка 15...25 % от массы сухих материалов, при этом насыпная плотность облегченного золного гравия 400...500 $\text{кг}/\text{м}^3$, прочность при сжатии в цилиндре в сухом состоянии — 1...1,6 МПа.

Пористая крошка пенобетона, газобетона и пеностекла фракций 0...10 мм, являясь облегчающим наполнителем, служит одновременно и структурообразующей добавкой, при этом гранулы имеют относительно прочную пористую сердцевину и плотную золоцементную оболочку. Введение пористых отходов в количестве 50...70 % позволило получить

заполнитель с насыпной плотностью 500...700 кг/м³ и прочностью при сжатии в цилиндре в сухом состоянии 1,2...2,9 МПа при расходе цемента, не превышающем 100 кг/м³. Сравнение данных о затратах топливно-энергетических ресурсов на производство различных видов искусственных пористых заполнителей показало, что наиболее экономичным с этих позиций является производство безобжигового зольного гравия.

Г Л А В А IV. БЕТОНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС

§ 14. ВЛИЯНИЕ ЗОЛЫ ТЭС НА СВОЙСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ И СТРУКТУРУ ЗАТВЕРДЕВШЕГО БЕТОНА

Тяжелый бетон является основным видом бетона для изготовления железобетонных конструкций. Зола ТЭС используют для замены части цемента и кварцевого песка в обычных тяжелых бетонах для изготовления строительных изделий и в бетонах естественного твердения, в частности гидротехнических.

Введение золы ТЭС в бетон сказывается прежде всего на изменении водопотребности и подвижности бетонной смеси. Влияние золы на водопотребность бетонной смеси определяется ее дисперсностью, формой и характером поверхности частиц, минерально-фазовым составом.

При введении в бетон взамен части цемента золы ТЭС, состоящей из сферических частиц с гладкой остеклованной фактурой поверхности, подвижность бетонной смеси возрастает, благодаря уменьшению внутреннего трения бетонной смеси. Причем, чем дисперснее зола, а следовательно, чем больше в ней остеклованных шарообразных частиц, тем большее пластифицирующее действие оказывает она на бетонную смесь.

Увеличение подвижности бетонной смеси при замене части цемента золой ТЭС можно также объяснить следующим. При введении золы вместо цемента объем теста вяжущего в бетоне увеличивается, так как замена цемента золой производится по массе, а плотность золы значительно меньше плотности цемента. Увеличение же объема теста вяжущего (цементно-зольного теста), при прочих равных условиях, приводит к увеличению подвижности бетонной смеси.

При введении в бетоны зол ТЭС, содержащих большое количество крупных пористых, агрегированных частиц неправильной формы, необходимое количество воды в бетонной смеси возрастает. Это объясняется высоким водопоглощением таких частиц. Измельчение подобных зол приводит к уменьшению пористости частиц, а следовательно, к снижению водопоглощения золы. Так, измельчение крупнодисперсной золы Архангельской ТЭЦ, имеющей удельную поверхность 1320 см²/г, до 2900 и 5600 см²/г, привело к снижению водовяжущего отношения в бетоне с 0,65 до соответственно 0,60 и 0,58.

Изменение водопоглощения золы при помоле зависит от двух факторов: увеличения удельной поверхности и уменьшения количества крупных пор. В первое время в большей степени сказывается снижение пористости, поэтому водопоглощение уменьшается. Дальнейшее увели-

чение времени помола приводит к преобладающему влиянию повышения удельной поверхности, и водопоглощение вновь будет возрастать. Поэтому важно установить оптимальный предел измельчения крупнодисперсных зол.

Водопотребность золы обычно возрастает с увеличением содержания в ней остатков несгоревшего топлива, которые способны в значительной степени поглощать воду. Несгоревшее топливо обычно преобладает в крупной фракции золы, отсев которой приводит к снижению водопотребности.

Использование золы ТЭС для замены кварцевого песка в бетонах приводит к увеличению водопотребности бетонных смесей. Это связано с тем, что даже высококачественные золы имеют гораздо большую водопотребность (около 45 %) по сравнению с кварцевым песком (10 %).

Снижению водопотребности бетонных смесей с использованием золы ТЭС способствует применение пластифицирующих добавок, например ЛСТ.

Снижение водопотребности бетонной смеси при замене части цемента золой ТЭС характеризуется уменьшением водовяжущего отношения (вяжущее : цемент + зола). Фактическое же значение водоцементного отношения при этом возрастает. Это связано с тем, что зола непосредственно с водой не реагирует и, следовательно, больше воды приходится на единицу массы цемента. Чем больше водопотребность золы, тем в большей степени повышается В/Ц.

Повышенное значение В/Ц в бетонах с золой ухудшает их структуру, особенно в раннем возрасте. Образование водных пленок толщиной 1...2 мкм вокруг частиц золы увеличивает капиллярную пористость бетона, которая оказывает отрицательное влияние на прочность, морозостойкость и другие важные строительно-технические свойства бетона. Капиллярные поры ($1 \cdot 10^{-6}$... $50 \cdot 10^{-6}$ м), образуемые "капиллярной" испаряющейся водой, благоприятствуют впитыванию и миграции влаги, которая замерзает в них, начиная с -6 до -8 °С.

Отрицательное влияние повышения В/Ц в некоторой степени компенсируется усиленной гидратацией цемента в присутствии золы, в результате чего поры интенсивно заполняются продуктами гидратации цемента. Повышение степени гидратации цемента объясняется эффектом мелкодисперсных порошков, который заключается в том, что частицы золы расширяют свободное пространство, в котором осаждаются продукты гидратации цемента. Кроме того, зола, связывая выделяющийся при твердении цемента гидроксид кальция в нерастворимые соединения, снижает его концентрацию в водном растворе твердеющей цементной массы и тем ускоряет гидролиз содержащихся в клинкере силикатов кальция. Таким образом, в присутствии золы повышается степень использования цемента в бетоне.

Взаимодействие золы с гидроксидом кальция приводит к зарастанию водных пленок вокруг частиц золы продуктами пуццолановой реакции (см. рис. 4), в результате чего капиллярная пористость уменьшается. Чем активнее зола, тем быстрее идет этот процесс. Со временем

образуются прочные связи между частицами золы и окружающим цементным камнем, происходит уплотнение структуры бетонов с золой, что ведет к улучшению физико-механических свойств таких бетонов.

Однако ни вовлечение золы в пуццолановую реакцию, ни более активная гидратация цемента в присутствии золы не могут преодолеть отрицательных последствий повышения водоцементного отношения. Даже в позднем возрасте капиллярная пористость в цементно-золных составах больше, чем в составах без золы, что влечет за собой и более низкие физико-механические свойства бетонов нормального твердения с добавками золы.

Для улучшения поровой структуры бетона с золой необходимо вводить добавки, снижающие водопотребность бетонной смеси, активизировать золу помолом и применять другие технологические приемы снижения В/Ц и повышения активности золы.

§ 15. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛЫ ТЭС В БЕТОНАХ ЕСТЕСТВЕННОГО ТВЕРДЕНИЯ

В бетонах естественного твердения, в частности гидротехнических, зола ТЭС используется в основном для замены части цемента. Гидротехническое строительство потребляет огромные объемы бетона, ежегодно исчисляемые миллионами кубометров. Поэтому использование золы в таких бетонах дает существенную экономию цемента.

При замещении части цемента золой ТЭС для бетонов нормального твердения характерна более низкая прочность в раннем возрасте по сравнению с бетонами без золы. Так, даже при замене 10 % цемента различными золами прочность бетона в возрасте 14 сут снижается на 20...35 % (в зависимости от качества золы). С течением времени разница в прочности бетонов с золой и без золы постепенно сокращается, а в поздние сроки твердения (180...360 сут) бетоны с умеренным содержанием золы приобретают прочность, равную прочности бетона без золы и даже превышающую ее.

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

В случае гидротехнических бетонных сооружений, вступающих в эксплуатацию в достаточно позднем возрасте, замедленное нарастание прочности бетонов с золой не является недостатком. К 6-месячному возрасту бетона, в котором определяются марки по прочности и водонепроницаемости, положительное влияние активности золы на эти свойства сказывается в достаточной степени и его следует учитывать при подборе состава бетона, снижая соответственно расход цемента на 1 м³ бетона.

Для конструкций, быстро вводимых в эксплуатацию, прочность бетона с золой в раннем возрасте может быть повышена применением

цемента более высокой марки, использованием добавок-ускорителей твердения бетона, повышением активности золы помоллом (без цемента или совместно с цементом).

При замене части цемента золой в бетонах нормального твердения необходимо установить оптимальную добавку золы, не вызывающую снижения прочности бетона в требуемые сроки, а в случае использования крупнодисперсной золы — оптимальный предел ее измельчения. На рис. 11 показана зависимость прочности бетона $R_{сж}$ различного возраста от дозировки золы и ее дисперсности. Видно, что помол данной золы до удельной поверхности $S_{уд} = 2900 \text{ см}^2/\text{г}$ является недостаточным, так как использование такой золы вызывает снижение прочности бетона (кривые 1 и 3). Оптимальная дозировка молотой золы с $S_{уд} = 5600 \text{ см}^2/\text{г}$, не вызывающая снижения прочности бетона нормального твердения, составляет 15% и может быть выявлена уже по результатам испытания бетона в возрасте 28 сут.

На рис. 12 показано определение оптимального предела измельчения крупнодисперсной золы. Горизонтальные штрихпунктирные линии характеризуют прочность бетона $R_{сж}$ без золы в разные сроки твердения. Точки пересечения кривых с соответствующими горизонтальными линиями находятся в интервале $S_{уд} = 5000 \dots 6000 \text{ см}^2/\text{г}$. До такой удельной поверхности и следует молоть данную крупнодисперсную золу.

Домол золы может осуществляться в шаровых мельницах, а также в вибромельницах. Затраты энергии на помол невелики ввиду малой прочности частиц — агрегатов золы. Для отвалных зол, имеющих влажность 20...50%, целесообразнее применять мокрый помол и вводить золу в бетон в виде шлама.

Положительной особенностью бетонов с золой является их повышенная прочность на растяжение по сравнению с бетонами без золы. Увеличение отношения прочности на растяжение к прочности на сжатие

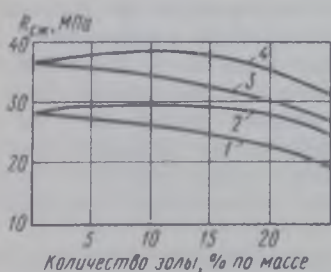


Рис. 11. Зависимость прочности бетона от дисперсности и расхода молотой золы:

возраст бетона 28 сут при $S_{уд}, \text{ см}^2/\text{г}$: 1 — 2900, 2 — 5600; возраст бетона 90 сут при $S_{уд}, \text{ см}^2/\text{г}$: 3 — 2900, 4 — 5600

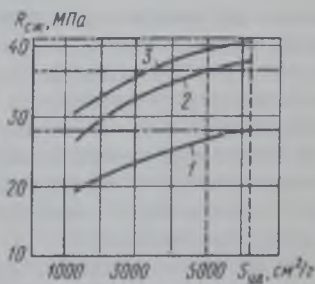


Рис. 12. Влияние дисперсности молотой золошлаковой смеси на прочность бетона (возраст бетона, сут: 1 — 28, 2 — 90, 3 — 180)

(на 30 % и более) свидетельствует об улучшении деформативных характеристик бетона с золой.

При бетонировании массивных конструкций (плотины, шлюзы и т.п.) внутри бетонного массива за счет тепловыделения при гидратации цемента развиваются высокие температуры, что вызывает опасность термического растрескивания бетона. Поэтому проводятся специальные мероприятия по охлаждению бетонного массива. Существенным преимуществом бетона с золой является его пониженное тепловыделение при твердении. Замена 25...30 % цемента золой снижает тепловыделение на 15...20 %. При этом помимо экономии цемента и улучшения температурного режима внутри массива достигается существенная экономия за счет отказа от искусственного охлаждения бетона. Введение золы ТЭС практически не изменяет усадку бетона.

Для бетона гидротехнических сооружений важным требованием является стойкость против коррозии в различных агрессивных средах. Под действием мягкой проточной воды, например речной, из бетона вымывается $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образовавшийся при твердении портландцемента. Выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в количестве 15...30 % от общего содержания в цементном камне вызывает понижение его прочности на 40...50 % и более. Зола ТЭС связывает $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в нерастворимые соединения и тем самым повышает стойкость бетона к данному виду коррозии. Связывание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ золой приводит также к повышению стойкости бетона против действия кислот, содержащихся, например, в сточных водах промышленных предприятий. Повышается также стойкость против действия солей магния, которые встречаются в грунтовых водах и в большом количестве содержатся в морской воде, а также против солей — сульфатов.

Долговечность бетонов в конструкциях, подвергающихся совместному действию атмосферных факторов и воды, зависит от морозостойкости, т.е. способности материала выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание в водонасыщенном состоянии. Замена части цемента золой, как правило, приводит к снижению морозостойкости. Это объясняется, во-первых, увеличением фактического водоцементного отношения и образованием дополнительного объема капиллярных пор. Снижению морозостойкости способствует также уменьшение содержания вовлеченного воздуха при введении золы и присутствие в золе органических остатков, которые набухают в воде, плохо сцепляются с вяжущим, способны образовывать соединения, разрушающие вяжущее.

Органические остатки содержатся обычно в крупной фракции золы. Помол золы приводит к разрушению органических частиц и их равномерному распределению во всем материале, что положительно влияет на морозостойкость бетона.

Существенно повысить морозостойкость бетонов с золой можно введением в бетон поверхностно-активных добавок гидрофобно-пластифицирующего типа. Пластифицирующий компонент таких добавок снижает водопотребность бетонной смеси, а следовательно, и объем капил-

лярных пор. Гидрофобизирующий (отталкивающий воду) компонент воздействует на стенки пор и капилляров в бетоне и тем самым препятствует впитыванию в них воды. Так, после 150 циклов замораживания и оттаивания бетоны с заменой 20 % цемента молотой отвалной золой в сочетании с комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавкой повысили прочность на 10 % по сравнению с бетоном без золы. Использование гидрофобно-пластифицирующей добавки при замене 25 % цемента мелкодисперсной золой позволило получить бетон, не уступающий по морозостойкости бетону без золы и выдерживающий 200 циклов замораживания и оттаивания.

Важной характеристикой гидротехнических бетонов является их водонепроницаемость. Бетоны, содержащие золу, обычно характеризуются повышенной водонепроницаемостью, что объясняется набуханием гелеобразных продуктов твердения цемента с золой в водном растворе $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Кроме того, зола часто улучшает гранулометрический состав бетонной смеси, в результате чего получается более плотный бетон. Так, замена 20 % цемента молотой золой в сочетании с гидрофобно-пластифицирующей добавкой позволила получить бетон, имеющий в возрасте 40 сут марку по водонепроницаемости W12, т.е. выдерживающий одностороннее гидростатическое давление 1,2 МПа.

Если требования к бетону ограничиваются его классом (маркой) по прочности, то зола может вводиться во всех случаях, когда активность цемента превышает рекомендуемую для данного класса бетона. Количество добавки золы a , %, при этом определяют по формуле: $a = (R_{\text{ц}} - R_{\text{см}})/R_{\text{ц}}$, где $R_{\text{ц}}$ — марка цемента; $R_{\text{см}}$ — требуемая для данного класса бетона активность смешанного вяжущего (цемент + зола).

Расчетное количество золы является приблизительным, в частности, по той причине, что водопотребность золы в чистом виде не всегда соответствует влиянию ее на водопотребность бетонной смеси.

Для установления окончательной дозировки золы следует подобрать четыре состава бетона с заданной прочностью: без золы, с расчетным количеством золы, с количеством золы на 5 % меньше расчетного и с количеством золы на 5 % больше расчетного. Например, если расчетное количество золы получилось равным 20 % (от суммарной массы цемента и золы), то кроме 20 % нужно взять еще 15 и 25 %. Та дозировка золы, при которой получение заданной прочности бетона (при заданной подвижности бетонной смеси) требует наименьшего расхода цемента, принимается за наилучшую. Если требуемая прочность бетона обеспечивалась при всех дозировках золы, то желательно испытать еще один или два состава, увеличив содержание золы на 5...10 % по сравнению с максимальным.

В тех случаях, когда цемент не обладает излишней активностью для данного класса бетона, целесообразность введения золы устанавливают подбором аналогичным образом.

Опыты по установлению оптимальной дозировки золы необходимо проводить на заполнителях и цементе, которые будут использоваться на строительстве. Также в лабораторных испытаниях должен учитываться способ введения золы в бетон.

Золу можно вводить в бетон следующими способами: 1) сухую золу в бетоносмеситель через отдельный дозатор; 2) в бетоносмеситель в виде водно-зольной суспензии, приготовляемой отдельно; 3) предварительно смешивают в сухую с цементом; 4) предварительно смешивают в отдельной мешалке с цементом и водой и вводят в бетоносмеситель в виде цементно-зольной суспензии.

Чтобы выбрать наиболее удобный для строительства способ введения золы в бетон, следует сопоставить технико-экономические показатели отдельных вариантов с учетом имеющегося на строительстве оборудования. Наиболее простым является первый способ. С точки зрения равномерного распределения золы в бетонной смеси наиболее надежны третий и четвертый способы.

Необходимо помнить, что для гидротехнических бетонов оптимальную дозировку золы помимо требований по прочности нужно устанавливать с учетом ее влияния на морозостойкость, водонепроницаемость, коррозионную стойкость и другие описанные выше свойства.

§ 16. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛЫ ТЭС В ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНАХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В тяжелый бетон для изготовления различных строительных изделий золу можно вводить взамен части цемента и части заполнителя. В условиях пропаривания добавка золы оказывается более эффективной, чем при нормальном твердении. Для пропаренного бетона установлена оптимальная добавка золы: 150 кг на 1 м³ бетона. При этом достигается экономия цемента 50...70 кг/м³ бетона. Зола в бетоне выполняет роль активной минеральной добавки и микрозаполнителя, улучшающего свойства смеси. При введении золы в оптимальном количестве водопотребность бетонной смеси практически не изменяется. Поэтому для корректировки состава смеси, подобранного общепринятыми способами, следует сократить расход цемента в рекомендуемом количестве и уменьшить расход песка и щебня (гравия) в принятой пропорции на величину, равную разности между массой введенной золы и сокращаемого цемента.

Примерные составы бетона, твердеющего в условиях тепловой обработки с добавкой золы 150 кг/м³, приведены в табл. 3. Бетонная смесь с ОК < 2 см может приготовляться в смесителях гравитационного действия, менее подвижные и жесткие смеси следует готовить в смесителях принудительного перемешивания. Пропаривание конструкций и изделий из бетона на портландцементе и шлакопортландцементе с добавкой золы рекомендуется производить при температуре 90...95 °С с продолжительностью изотермического прогрева 8...10 ч.

Особенно рационально использовать тяжелые бетоны с добавкой золы при изготовлении плоских крупных элементов (панелей для стен, перекрытий и др.) в кассетных установках.

При производстве изделий из тяжелого бетона в кассетах на их поверхности образуются многочисленные поры и раковины, обусловленные вовлечением воздуха в бетонную смесь при ее укладке в кассеты

Т а б л и ц а 3. Примерные составы тяжелого бетона с добавкой 150 кг/м³ золы

Класс бето-на по проч-ности	Удобоукла-дываемость бетонной смеси		Расход материалов на 1 м ³ бетона, кг							
			на шлакопортландцементе М300				на портландцементе М400			
			ОК, см	Жест-кость, с	цемент	ще-бень*	песок**	вода	цемент	ще-бень*
В7.5	5	—	155	1275	600	180	130	1280	620	180
	2	—	140	1290	615	165	115	1300	630	165
	—	30	125	1210	625	150	100	1320	640	150
	—	60	115	1315	635	145	90	1325	650	145
В15	5	—	270	1200	545	185	240	1220	555	185
	2	—	255	1225	550	170	220	1245	565	170
	—	30	240	1240	565	155	200	1265	580	155
	—	60	230	1250	570	150	180	1280	590	150
В25	5	—	420	1105	465	190	350	1155	500	185
	2	—	390	1135	480	175	325	1180	515	170
	—	30	370	1160	490	160	300	1205	530	155
	—	60	350	1180	495	155	270	1225	545	150

* Гранитный щебень крупностью 10...20 мм.

** Мелкозернистый кварцевый песок.

и при вибрации. Введение золы повышает подвижность бетонной смеси и уменьшает воздухововлечение, в результате чего число дефектов на поверхности изделий уменьшается. При оптимальном содержании золы в бетонной смеси наряду с уменьшением расхода цемента уменьшается ее водоотделение и расслоение.

Содержание золы в смеси может быть увеличено при использовании высокоактивных портландцементов, ускорителей твердения и добавок, повышающих морозостойкость и водонепроницаемость бетона. В ряде случаев возможна замена 50 % по массе и более цемента золой, что очень важно с точки зрения повышения степени утилизации золы.

Частичная замена кварцевого песка золой в пропаренном бетоне повышает жесткость бетонной смеси. При этом уменьшается средняя плотность бетона и растет его прочность на сжатие. Сохранение постоянной подвижности бетонной смеси за счет увеличения водосодержания при умеренных дозировках золы (замена кварцевого песка золой до 200 кг/м³) также сопровождается ростом прочности. При увеличении содержания золы прочность падает.

При частичной замене цемента золой ТЭС при постоянном расходе воды жесткость смеси уменьшается и улучшается ее удобоукладываемость. Замена цемента золой до 100 кг/м^3 мало сказывается на прочности бетона. Дальнейшее увеличение дозировки золы приводит к падению прочности бетона.

При среднем расходе цемента с повышенным содержанием золы достигается подвижность смеси $OK = 20...22 \text{ см}$ при неизменном расходе воды, в то время как без золы она не превышает $2...4 \text{ см}$. Прочность же остается на одинаковом уровне. Это очень важно при изготовлении изделий в кассетах, так как появляется возможность улучшить качество поверхности изделий, снизить уровень шума при вибрации, повысить производительность труда при формовании и последующей отделке изделий.

Введение в бетонную смесь, содержащую золу, добавок поверхностно-активных веществ, например ЛСТ ($0,1...0,3 \%$ от массы цемента), позволяет снизить начальное водосодержание смеси на $5...16 \text{ л/м}^3$ при сохранении требуемой подвижности смеси. Это приводит к повышению прочности бетона на $5...10 \%$ как после пропаривания, так и в возрасте 28 сут. Введение ЛСТ способствует снижению воздухоовлечения и поверхностной пористости изделий, а также уменьшению размеров пор.

Деформативные характеристики бетонов с золой соответствуют нормам. Для расчетов конструкций из бетона с повышенной дозировкой золы ТЭС можно пользоваться данными, приведенными в СНиП 2.03.01—84 для тяжелого бетона.

Добавка золы 200 кг на 1 м^3 бетона из смеси подвижностью $20...24 \text{ см}$ с $0,2 \%$ ЛСТ не уменьшает сцепления бетона с арматурой, не увеличивает усадочные деформации и ползучесть бетона, поэтому такие бетоны можно применять в несущих конструкциях крупнопанельного домостроения.

Введение золы, обладающей высокой пуццолановой активностью, приводит к снижению концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющегося при гидратации цемента. При этом снижается щелочность водной среды в бетоне и возникают условия для коррозии стальной арматуры. Испытания бетонов с золой показали, что щелочность с течением времени изменяется незначительно и остается достаточно высокой.

Для обеспечения защиты арматуры от коррозии в бетоне с золой минимальный расход цемента Ц , кг , на 1 м^3 бетона в зависимости от количества в смеси золы Р , кг , и содержания несгоревшего угля в ней А , $\%$, определяется по формуле: $\text{Ц} = (0,4 + 0,04\text{А})\text{Р}$.

Расчеты по этой формуле показали, что рекомендуемые составы тяжелого бетона с золой (см. табл. 3) обеспечивают сохранность арматуры в бетоне при содержании несгоревшего топлива в золе до $20...25 \%$.

Основными слагаемыми экономической эффективности бетонов с золой в заводских условиях являются: снижение расхода цемента на $20...25 \%$ и песка на $20...30 \%$, снижение стоимости отделки (шпатлевки) панелей, увеличение срока службы кассетного оборудования и навесных вибраторов, сокращение времени формования изделий.

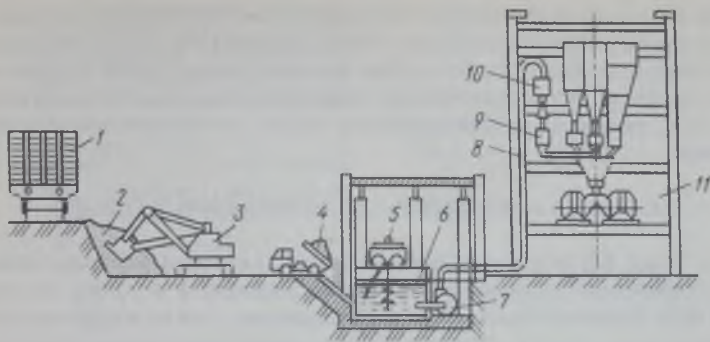


Рис. 13. Схема переработки золошлаковой смеси и использования шлама: 1 — железнодорожный полувагон, 2 — открытый склад золошлаковой смеси, доставленной из отвала, 3 — экскаватор на гусеничном ходу, 4 — самосвал для подачи золошлаковой смеси в бассейн, 5 — самоходная шламомешалка, 6 — бассейн для приготовления шлама, 7 — шламонасос, 8 — шламопровод в бункер бетоносмесительного отделения, 9 — дозатор для шлама, 10 — бункер для шлама, 11 — бетоносмесительное отделение

В зависимости от способа отбора золы на электростанциях и их удаленности от заводов ЖБИ выбирают необходимые мероприятия и оборудование по приему и переработке золы. При использовании сухой золы вблизи электростанции ее можно подавать по пневматическому трубопроводу прямо в бункера бетоносмесительной установки.

На заводах прием, хранение, подачу к бетоносмесителям, дозирование сухой золы осуществляют аналогично цементу. Вместе с тем емкости для хранения целесообразно оборудовать пневмоустройствами для усреднения золы и предотвращения слеживания с возможной перекачкой из одного силоса в другой.

Если применяют золошлаковые смеси из отвалов, можно использовать технологический комплекс по приготовлению и применению гидроудаленной золы в виде шлама усредненного состава и определенной влажности. Схема такого комплекса производительностью 30 тыс. м³ готовых изделий в год показана на рис. 13. Зола в отвале электростанции перемещается бульдозером в борты, экскаватором грузится в железнодорожные полувагоны 1 и доставляется на завод. За пять летних месяцев на заводе в открытом складе 2 создается запас золы на всю зиму. Из открытого склада зола экскаватором 3 и автосамосвалом 4 подается в шлам-бассейн 6, где смешивается с водой и добавкой ЛСТ в количестве, обеспечивающем получение шлама постоянного состава и консистенции. Шлам насосом 7 перекачивается в дозировочное отделение бетоносмесительного узла и расходуется через жидкостный автоматический дозатор 9.

Отделение по приготовлению шлама имеет два шлам-бассейна 6 вместимостью 36 м³ каждый. Бассейны работают поочередно: в одном

готовят шлам, из другого шлам отбирают. Шлам перемешивается скоростными самоходными мешалками. Шлам содержит 90...100 % необходимого количества воды для получения бетонной смеси. Такой технологический комплекс по использованию гидроудаленной золы Южно-Кузбасской ГРЭС действует на Польшаевском заводе крупнопанельного домостроения.

§ 17. БЕТОНЫ НА ЗАПОЛНИТЕЛЯХ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ СМЕСЕЙ

Эти виды бетонов характеризуются максимальным использованием в них отвальных золошлаковых смесей. Вяжущими в таких бетонах могут быть портландцемент и его разновидности, а также воздушная или гидравлическая известь обычно в смеси с двухводным гипсом. Золошлаковую смесь можно использовать как непосредственно из отвала, так и получать смешиванием золы и шлака.

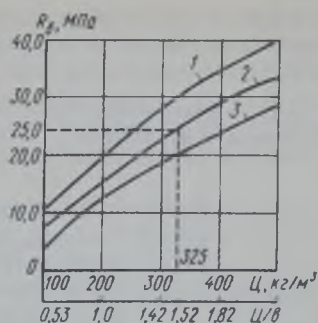
Золошлаковые смеси используют в качестве однокомпонентного заполнителя в мелкозернистых бетонах (без природного песка и крупного заполнителя), а также в различных бетонах в сочетании с другими природными или искусственными заполнителями. В ряде случаев для получения наилучших свойств бетона состав золошлаковой смеси специально корректируют с целью достижения оптимального соотношения между зольной и шлаковой составляющей.

В мелкозернистом бетоне из золошлаковой смеси обычные заполнители (щебень и песок) полностью заменяют золошлаковой смесью, содержащей мелкодисперсные золы, мелкие и крупные фракции шлака. При замене песка и щебня низкого качества (загрязненный и запесоченный щебень из песчаника и известняка, мелкозернистый песок) расход цемента в бетоне на однокомпонентном заполнителе из золошлаковой смеси не повышается. При замене в бетоне такой же прочности высококачественного гранитного щебня и песка золошлаковой смесью расход цемента повышается на 10...20%. Содержание золы в золошлаковой смеси (фракция менее 0,315 мм) должно находиться в пределах 20...50%.

Состав бетона на заполнителе из золошлаковой смеси можно определять по графикам, построенным на основе экспериментальных данных для применяемых видов и марок цемента, требуемой подвижности бетонной смеси и условий твердения бетона (рис. 14). Пользуясь этим графиком, можно по требуемой прочности бетона в возрасте 28 сут R_6 установить расход цемента C на 1 м^3 бетона и цементно-водное отношение, исходя из которого устанавливают расход воды. Расход золошлаковой смеси определяется при условии, что плотность свежееотформованного бетона, зависящая от расхода цемента, составляет $2000...2200 \text{ кг/м}^3$. Затем состав бетона уточняют на пробных замесах. Так, для бетона класса В20 (прочность 25 МПа) на цементе марки 400 расход цемента получается 325 кг/м^3 при $C/V = 1,52$; расход воды затворения $V = 325 : 1,52 = 214 \text{ кг/м}^3$; расход золошлаковой смеси $2000 - (325 + 214) = 1561 \text{ кг/м}^3$.

Рис. 14. Зависимость предела прочности на сжатие бетона на заполнителе из золошлаковой смеси от расхода цемента, его марки и цементно-водного отношения:

1 — марка цемента 500, 2 — то же, 400, 3 — то же, 300; подвижность бетонной смеси (жесткость) 20...30 с



Приготовление бетонной смеси на заполнителе из золошлаковой смеси рекомендуется производить в смесителях принудительного действия в течение 3...5 мин в зависимости от вместимости смесителя и жесткости смеси. Для ускорения твердения изделий из такого бетона рекомендуется пропаривание при температуре 90...95 °С с продолжительностью изотермического прогрева 8...10 ч. При этом через 1 мес нормального твердения бетон достигает проектной прочности. Автоклавная обработка обеспечивает получение требуемой прочности сразу после термообработки при расходе цемента на 20...30% меньше, чем в бетоне на обычных заполнителях.

Мелкозернистый бетон на заполнителе из золошлаковой смеси получают прочностью 5...50 МПа, морозостойкостью 15...150 циклов, теплопроводностью 0,87...0,93 Вт/(м · °С).

Бетон на заполнителе из золошлаковой смеси рекомендуется применять в шахтном строительстве для изготовления сборных бетонных и железобетонных крепежных элементов и рудничных шпал, в сельскохозяйственном и малоэтажном строительстве для изготовления мелких и крупных фундаментных и стеновых блоков, плит перекрытий и покрытий, перемычек, колонн и балок длиной до 6 м. Широкую номенклатуру строительных изделий из бетонов на золошлаковых смесях донецких и приднепровских ТЭС выпускают на предприятиях Донбасса.

При использовании в качестве заполнителей специально подобранных смесей из золы и топливного гранулированного шлака ТЭЦ-22 Москвы установлено, что наилучшие свойства цементных золошлакобетонов достигаются при содержании шлака 0,45...0,7 м³ и золы 0,1...0,15 м³ на 1 м³ бетона. Если объемная концентрация шлака в бетонной смеси ниже 0,45 м³/м³, то его оказывается недостаточно для создания в золошлаковых бетонах прочного структурного каркаса. Так как содержание шлака в составе золошлаковых отходов ТЭС составляет в среднем 20...25%, то при их комплексном использовании могут возникнуть обстоятельства, при которых количество шлака в отвале окажется недостаточным. В этих случаях в состав золошлаковых бетонов вводят кварцевый песок. В отличие от пылевидной золы кварцевый песок создает структурный скелет, способный выдерживать значительные нагрузки и передавать их на крупный заполнитель (шлак).

По физико-механическим характеристикам золошлаковые и золошлакопесчаные бетоны оптимальных составов практически не уступают обычному тяжелому бетону (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Физико-механические свойства золошлаковых и золошлакопесчаных бетонов

Показатель	Бетон		
	золошлаковый	золошлакопесчаный	тяжелый
Состав бетона, мас. ч.	Ц : З : Ш = = 1 : 0,8 : 4,3	Ц : З : Ш : П = = 1 : 0,45 : 2,7 : 2,4	Ц : П : Щ = = 1 : 1,8 : 3,4
Расход цемента, кг/м ³	350	350	350
Водопотребность смеси, л/м ³	197	185	190
В/Ц	0,55	0,53	0,54
Средняя плотность, кг/м ³	2070	2240	2385
Прочность, МПа:			
при сжатии	29	35	28
при изгибе	5	6	4,5
Модуль упругости, МПа	22 000	23 500	27 000
Усадка, мм/м	0,52	0,5	0,47

Средняя плотность золошлаковых и золопесчаных бетонов оптимальных составов на 10...15 % ниже, чем у тяжелых бетонов, а прочностные показатели несколько выше. Твердение таких бетонов наиболее интенсивно протекает в водной среде.

Разновидностями мелкозернистых бетонов на золошлаковых смесях являются бетоны на шлакопесчаном заполнителе и на золопесчаном заполнителе.

Мелкозернистый бетон на шлакопесчаном заполнителе готовится из шлака отдельного гидроудаления и природного кварцевого песка. Расход цемента в таком бетоне на 20...25 % ниже, чем в обычном мелкозернистом бетоне на двухфракционном кварцевом песке. Такой бетон эффективен при изготовлении густоармированных и тонкостенных конструкций.

Золопесчаные бетоны получают путем введения в тощие цементно-песчаные смеси золы ТЭС. Расход цемента в таких бетонах классов В15 и В25 практически не превышает норм для обычного тяжелого бетона с крупным заполнителем, в то время как мелкозернистые цементно-песчаные бетоны характеризуются повышенным на 20...40 % расходом цемента по сравнению с тяжелым бетоном. Оптимальные составы золопесчаных бетонов достигаются при соотношении компонентов по массе цемент : зола : песок = (1 : 0,2 : 3,8) ... (1 : 0,8 : 5,4).

Зола в песчаном бетоне выполняет роль микрозаполнителя и пуццолановой добавки. Она заполняет пустоты между песчинками, увеличи-

вает содержание теста вяжущего (цементнозольного теста) и объемную концентрацию твердой фазы в бетонной смеси. Для повышения активности золы используют ее мокрый помол до дисперсности 2500...3000 см²/г — для буроугольных зол и до 4000...4500 см²/г — для каменноугольных. Введение золы увеличивает прочность песчаных бетонов на 20...50 % по сравнению с прочностью бетонов при тех же расходах цемента, но без золы.

Золоспесчаные бетоны имеют мелкозернистую структуру с высокой однородностью пор, что обуславливает их высокую морозостойкость (более 150 циклов) и водонепроницаемость (более 0,8 МПа).

Золоспесчаные бетоны нашли применение при изготовлении элементов железобетонных колодцев, стен подвалов и т.д.

При изготовлении тяжелого бетона золошлаковая смесь может заменить песок частично или полностью. Особенно выгодно вводить золошлаковую смесь вместо мелкозернистого песка, требующего повышенного расхода цемента. Бетон, в котором золошлаковая смесь сочетается со щебнем, по прочности не уступает бетону на высококачественных заполнителях. Золошлаковая смесь или шлак, применяемые в сочетании с обычными заполнителями, улучшают зерновой состав и удобоукладываемость бетонной смеси при экономии дорогостоящих заполнителей, а в отдельных случаях и цемента.

Составы бетонов на комбинированных заполнителях устанавливают строительные лаборатории с учетом вида и качества местных материалов, условий производства и требований к бетону. Бетоны на комбинированных заполнителях можно применять наравне с обычными тяжелыми бетонами, за исключением напряженно-армированных, специальных и особо ответственных конструкций.

Эффективно сочетать золошлаковые смеси с легкими пористыми заполнителями, особенно шлаковой пемзой, получаемой путем быстрого охлаждения шлакового расплава. Шлакопемзозолобетоны, отвечающие по своим свойствам требованиям стандартов, получают классов В15, В25, В30. Они рекомендуются для изготовления предварительно напряженных пустотных панелей перекрытий. Выпускаемые шлакопемзозолобетонные панели на Енакиевском заводе (Донецкая обл.) позволили снизить трудоемкость на 0,75 чел-ч и себестоимость 1 м³ бетона на 1,67 руб. по сравнению с изделиями из обычного тяжелого бетона.

В г. Красноармейске (Донецкая обл.) из шлакопемзозолобетона производят комплекты железобетонных изделий для 5...9-этажных домов, включая лестничные марши и площадки, сантехкабины и пр. Использование шлакопемзозолобетона вместо обычного тяжелого бетона позволило уменьшить массу конструкций на 5...18 %, расход цемента и стали в среднем на 9...10 %, стоимость изготовления и монтажа на 9...10,6 %.

Использование отвальных золошлаковых смесей вместо гранитного щебня и частично песка при изготовлении объемных элементов на Приднепровском заводе ЖБИ позволило уменьшить стоимость 1 м² жилой площади на 5 руб.

Общие сведения. В легких бетонах возможно наиболее полно использовать золы ТЭС в виде зольных пористых заполнителей, а также взамен кварцевого песка.

Легкие бетоны на пористых заполнителях применяются в основном в ограждающих конструкциях и для снижения массы несущих конструкций, причем именно комплексное применение их при строительстве современных жилых и общественных зданий считается наиболее рациональным и эффективным. Подсчитано, что при уменьшении массы бетона на каждые 10% стоимость конструкции снижается примерно на 3% за счет уменьшения толщины изделий, укрупнения монтируемых элементов, снижения трудоемкости строительства и сроков возведения сооружений. Применение легких бетонов позволяет уменьшить стоимость строительства в среднем на 5%, а в некоторых районах на 30...40%. Поэтому для таких бетонов наряду с прочностью очень важное значение имеет их плотность. Обычно легкие бетоны подразделяют на конструкционно-теплоизоляционные со средней плотностью 500...1400 кг/м³ и прочностью 2,5...10 МПа и на конструкционные со средней плотностью 1400..1800 кг/м³ и прочностью 10...30 МПа.

Одним из самых распространенных видов легкого бетона на пористых заполнителях является керамзитобетон, в котором в качестве мелкого заполнителя используется кварцевый песок. Применение золы ТЭС взамен кварцевого песка позволяет снизить среднюю плотность бетона и обеспечить необходимые теплозащитные свойства наружных стен.

Керамзитозолобетон для наружных стеновых панелей. В золе содержится значительное количество частиц пористого строения со средней плотностью 1,9...2 г/см³. Пористость отдельных частиц золы 10...20%. Поэтому при замене кварцевого песка золой средняя плотность легкого бетона снижается примерно на 200 кг/м³.

Бетонные смеси, содержащие золу, лучше уплотняются и не расслаиваются. Хорошая водоудерживающая способность золы, обеспечивающаяся развитой внутренней пористостью ее частиц, приводит к тому, что удаление влаги из них происходит замедленно. Этим объясняется длительность процесса высыхания золобетонов. С другой стороны, наличие в пористых частицах золы влаги делает возможным интенсивный тепловой прогрев керамзитозолобетона при температуре 120...140 °С без снижения его конечной прочности. Постепенное и длительное поступление влаги из золы в цементный камень обеспечивает процесс гидратации в сухой высокотемпературной среде, что успешно используется, например, при прогреве изделий из керамзитозолобетона в шелевых камерах на Бескудниковском комбинате строительных материалов и Московском комбинате ЖБИ-2.

При использовании золы в качестве мелкого заполнителя для легких бетонов в соответствии с ТУ 21-31-45—82 необходимо соблюдать определенный гранулометрический состав золы, чтобы получить долговечный и морозостойкий керамзитозолобетон.

Серьезным препятствием к использованию зол в качестве мелкого заполнителя являются содержащиеся в них органические остатки, определяемые по величине потерь при прокаливании (ППП). Для зол бурых углей их содержание ограничивается 5%, для зол каменных углей – 10%, однако исследованиями доказана возможность применения в отдельных случаях зол с содержанием ППП до 15...20%.

В Москве и Новосибирске накоплен многолетний опыт применения керамзитозолобетона в строительстве. В Москве используют золу гидроудаления Каширской, Новомосковской и частично Алексинской ТЭЦ, работающих на бурых подмосковных углях, в Новосибирске – золу сухого отбора от сжигания тощих каменных углей.

На Московском комбинате ЖБИ-2 работает линия для производства керамзитозолобетонных панелей с немедленной распалубкой. Состав бетонной смеси на 1 м³ бетона класса В7,5 следующий: портландцемент марки 400 – 225 кг; керамзитовый гравий фракции 5...20 мм марок 500...600 – 0,9...0,95 м³; золы Новомосковской или Каширской ТЭЦ плотностью 950 кг/м³ – 0,37...0,42 м³; вода – 240...260 л. При использовании жестких керамзитобетонных смесей интенсивного уплотнения с вибропригрузом можно производить распалубку панели сразу после формирования. Вагонетки с изделиями подают в камеру предварительной тепловой обработки, где панели выдерживаются при температуре 40...50 °С в течение 1...1,5 ч для достижения керамзитозолобетоном начальной критической прочности, позволяющей осуществлять последующий более интенсивный прогрев. Дальнейшая тепловая обработка происходит в щелевой камере с трубчатыми электронагревателями (ТЭНами). Температура в камере 120...130 °С, продолжительность прогрева – 7 ч. Технология керамзитозолобетонных панелей с немедленной распалубкой позволяет сократить численность рабочих на 30%, металлоемкость – на 40%.

На Бескудниковском комбинате строительных материалов стеновые панели изготавливают из поризованного керамзитобетона плотностью 1000 кг/м³. В качестве мелкого заполнителя используют смесь золы Каширской ТЭЦ с мелкими отсевами керамзитового гравия.

Принципиальная схема разгрузки, подачи и дозирования золы в бетоносмесительном цехе завода ЖБИ аналогична приведенной на рис. 13. Влажная золошлаковая смесь поступает в шлам-бассейн 6, откуда по шламопроводу 8 – в бункер шлама 10, затем – в бетономешалку 11.

В Новосибирске на ДСК-1 изготавливают наружные стеновые панели из керамзитозолобетона с использованием золы сухого отбора Новосибирской ТЭЦ-3. Зола от сжигания тощих каменных углей Кузбасса характеризуется удельной поверхностью 2800...3000 см²/г, ППП = 15%. Использование золы позволяет снизить расход цемента на 15...20%.

Бетоны на глинозольном керамзите. Свойства глинозольного керамзита меняются в широких пределах в зависимости от соотношения глинистого компонента и золы ТЭС (см. гл. III). Так, насыпная плотность этого заполнителя колеблется в пределах 440...770 кг/м³.

При изготовлении однослойных стеновых панелей из бетона классов В3,5 и В7,5 на Верхне-Тагильском заводе используют глинозольный ке-

рамзит насыпной плотностью 440 кг/м³ и золы гидроудаления в качестве мелкого заполнителя. С целью снижения средней плотности керамзитобетона в сырьевую смесь вводят воздухововлекающую добавку – СНВ (смола нейтрализованная воздухововлекающая).

Выпускают также несущие предварительно напряженные плиты покрытий размеров 3X18 м из бетона классов В25 и В30 на глинозольном керамзите. Трудозатраты на монтаж таких плит (по сравнению с конструкцией типовых плит размером 3X6 и 3X12 м) уменьшились на 30 %, масса конструкций на 20 %, расход бетона на 5...10 %, стали на 8...10 %. Опробовано и дало положительные результаты изготовление плит размером 3X24 м.

Бетоны на зольном аглопоритовом гравии. *Аглопоритовый гравий*, получаемый путем спекания зольного сырья на агломерационных машинах, пригоден для изготовления разнообразных легких бетонов классов В7,5...В30.

В зависимости от прочности, определяемой сдавливанием в цилиндре, зольные заполнители (по аналогии с керамзитовым гравием) подразделяют на семь марок, в зависимости от которых устанавливают проектный класс легкого бетона. Плотность бетонов на аглопоритовом гравии в высушенном состоянии должна соответствовать показателям, приведенным в табл. 5.

Т а б л и ц а 5. Плотность высушенного бетона на аглопоритовом гравии из золы ТЭС

Насыпная плотность аглопоритового гравия, кг/м ³	Средняя плотность бетона, кг/м ³ , при его классе		
	В7,5...В20		В25...В30
	на мелком заполнителе (песке)		
	пористом	кварцевом + пористом	кварцевом
500	1100	1400	1500
600	1200	1500	1600
700	1300	1600	1700
800	1400	1700	1800

Область применения аглопоритового гравия – в основном конструкционный бетон. Получение бетона с указанным в табл. 6 показателями возможно при условии, если плотность заполнителя не больше 500...800 кг/м³, а прочность при сжатии в цилиндре соответственно 1,5...4 МПа. Морозостойкость таких бетонов около 300 циклов.

Бетон на аглопоритовом гравии по свойствам не уступает керамзитобетону, в том числе и по деформативным показателям.

Таблица 6. Характеристика бетона на зольном гравии

Класс бетона	Расход материала на 1 м ³ бетона						Средняя плотность, кг/м ³
	зольный гравий, л	зольный песок, л	зола ТЭС, кг	кварцевый песок, кг	цемент марки 400, кг	вода, л	
B3,5	950	100	350	—	190	170	950
B7,5	900	140	400	—	220	180	1100
B25	850	—	—	600	400	170	1600

Использование предварительно напряженных плит покрытий 3X6 м из бетона на зольном аглопорите вместо перекрытий из тяжелого бетона дает экономический эффект 2,78 руб. на 1 м³ конструкций.

Зольный гравий, получаемый на Каширском заводе ЖБИ-3, имеет насыпную плотность 320...500 кг/м³, прочность при сжатии (в цилиндре) 1,2...7,3 МПа и водопоглощение 12...17 % по массе. На основе зольного гравия можно получать легкие бетоны классов B3,5...B25, по свойствам аналогичные керамзитобетону (см. табл. 6).

На Каширском заводе бетон классов B3,5...B7,5 используют для изготовления стеновых панелей отапливаемых промышленных зданий. Зола гидроудаления Каширской ГРЭС используют в бетоне комплексно, т.е. как сырье для изготовления крупного заполнителя и одновременно как пористый мелкий заполнитель. Для улучшения гранулометрического состава мелкого заполнителя, а также чтобы получить бетон с плотной структурой и исключить из его состава тяжелый кварцевый песок, используют смесь золы с отсевам песчаных фракций из зольного гравия. В конструктивных бетонах классов B15...B25 в качестве мелкого заполнителя должен применяться кварцевый песок.

За десять лет применения зольного гравия на Каширском заводе изготовлено и использовано в строительстве Каширы, Москвы, Ленинграда, Воронежа более 1 млн. м² панелей наружных ограждений зданий.

В сопоставлении с керамзитобетонными панелями себестоимость конструкций, изготавливаемых в Кашире, ниже на 15,4 %. Такой значительный эффект достигается за счет комплексного использования золы близлежащей Каширской ГРЭС в бетоне.

Бетоны на безобжиговом зольном гравии. Безобжиговый зольный гравий (БЗГ) в зависимости от состава сырьевой шихты можно получать насыпной плотностью 800...950 кг/м³ и прочностью при сжатии 4...6 МПа или насыпной плотностью 400...600 кг/м³ и прочностью при сжатии 1...2 МПа. Из этих заполнителей изготавливают конструктивно-теплоизоляционные бетоны со средней плотностью 850...1000 кг/м³ классов B3,5 и B7,5 для ограждающих конструкций и конструкционные бетоны со средней плотностью 1700...1900 кг/м³ классов B20...B30 для несущих конструкций.

Особенностью безобжигового зольного гравия является то, что его

в отличие от пористых заполнителей (керамзита, аглопорита, обжигового зольного гравия), обладающих к моменту применения в бетоне окончательной заданной прочностью, используют в виде полуфабриката, завершение твердения которого происходит вместе с растворной частью бетона при тепловой обработке. Прочность гравия, твердеющего совместно с бетоном, повышается на 2...4,5 МПа.

Возможность получения бетонов высоких классов В15...В30 на заполнителе с относительно невысокой прочностью обусловлена тем, что во время твердения заполнителя в бетоне происходит диффузия (проникновение) гидроксида кальция из цементного раствора в пористые зольные гранулы. В результате обеспечивается упрочнение заполнителя и создается непрерывная структура новообразований, захватывающая контактные слои раствора и заполнителя.

Еще одной отличительной чертой безобжиговых, в особенности облегченных, заполнителей является их высокое водопоглощение (20...50%), определяющее их работу в бетоне.

Повышенная пористость гранул не препятствует их влагообмену с цементным тестом, существенно влияющему на структурообразование бетона. При введении в бетонную смесь пористые заполнители, отсасывая влагу из цементного теста, способствуют получению более плотного и прочного контактного слоя на границе "зерно заполнителя – цементный камень". На последующем этапе при уменьшении количества воды в цементном камне вследствие гидратации цемента пористые заполнители возвращают ранее поглощенную воду, создавая благоприятные условия для протекания гидратации цемента и уменьшая усадочные явления в цементном камне. Расход цемента на бетоны классов В15...В30 составляет 220...380 кг/м³.

Бетоны на БЗГ характеризуются высокой атмосферо- и морозостойкостью. Модуль упругости этих бетонов на 20...30% ниже, чем у тяжелого бетона на традиционных заполнителях (щебне, гравии). Бетоны на БЗГ пригодны для изготовления несущих железобетонных конструкций с обычным и предварительно напряженным армированием.

На основе облегченного безобжигового зольного гравия с насыпной плотностью 500...600 кг/м³ могут быть получены конструктивно-теплоизоляционные бетоны с плотной золоцементной растворной частью (т.е. использованием в качестве мелкого заполнителя золы ТЭС) со средней плотностью 1100...1200 кг/м³ и прочностью 10...12 МПа.

Дальнейшее снижение средней плотности бетонов на основе облегченного БЗГ возможно при поризации растворной части. Поризация осуществляется с помощью алюминиевой пудры, которая при взаимодействии с Ca(OH)₂ выделяет водород, а также путем введения в растворную часть стойкой пены. Таким способом получены поризованные бетоны классов В2,5...В3,5 со средней плотностью 800...950 кг/м³.

Экономический эффект от использования бетонов на основе БЗГ для производства несущих конструкций взамен бетонов на традиционных дефицитных дорогостоящих заполнителях 2...5 руб. на 1 м³ бетона. Экономический эффект от применения конструктивно-теплоизоляцион-

ного бетона на облегченном БЗГ взамен керамзитобетона 1,5...3 руб. на 1 м³.

§ 19. ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ С ЗОЛОЙ ТЭС

Ячеистый бетон (газо- и пенобетон) представляет собой разновидность легкого бетона, отличительной особенностью структуры которого является значительное количество искусственно созданных пор в виде ячеек, заполненных воздухом. Ячейки, имеющие преимущественно сферическую форму и диаметр 0,5...3 мм, равномерно распределены в теле бетона, что обеспечивает его пониженную плотность и теплопроводность. Газобетоны получают вспучиванием бетонной смеси газом, выделяющимся в результате взаимодействия газообразующей добавки и вяжущего; пенобетоны — при смешивании бетонной смеси с технической пеной.

Вяжущими в ячеистых бетонах могут быть портландцемент, смешанные цементы, известково-кремнеземистые вяжущие, гипсовые вяжущие и т.п. В качестве кремнеземистого компонента обычно применяют молотый кварцевый песок с удельной поверхностью 2000...2500 см²/г. Его добавляют в бетонную смесь в виде песчаного шлама, получаемого в мельницах мокрого помола.

По характеру твердения различают автоклавные и безавтоклавные бетоны. Автоклавная обработка при давлении пара 0,8...1,2 МПа и температуре 174...200 °С способствует получению бетонов с высокими показателями механических свойств и сокращению технологического процесса. Безавтоклавные способы твердения включают твердение в естественных условиях, при атмосферном давлении в пропарочных камерах, специальных формах с электропрогревом и т.д.

Применение зол тепловых электростанций для производства ячеистых бетонов считается одним из перспективных направлений в использовании энергетических отходов (табл. 7).

Т а б л и ц а 7. Физико-механические свойства ячеистого золобетона для изделий различного назначения

Показатель	Стеновые панели с облицовкой, плиты покрытий	Неармированные мелкие стеновые блоки	Теплоизоляционные изделия
Средняя плотность, кг/м ³ . не более	800	700; 800	400, 500
Прочность при сжатии, МПа	5	3,5; 5	0,8; 1,2
Отпускная влажность, %	25	35	35
Морозостойкость, циклы	25	10; 25	

Так как основной составляющей золы является стекловидное вещество, а не кристаллический кварц, как в песке, то зола значительно более

активна и ее применение в качестве кремнеземистого компонента эффективнее.

Вследствие того что частицы золы отличаются развитой внутренней пористостью, ячеистые золобетоны при прочих равных условиях характеризуются меньшей плотностью по сравнению с подобными бетонами на песке.

К золам ТЭС, применяемым при изготовлении ячеистых бетонов, предъявляют следующие требования:

содержание стекловидных и оплавленных частиц не должно быть менее 50 %;

содержание несгоревшего топлива для зол от сжигания каменных углей — не более 5 %, для зол от сжигания бурых углей — не более 3 %;

удельная поверхность золы для каменноугольных зол допускается не более 5000 см²/г, для буроугольных — не менее 4000 см²/г;

содержание SO₃ не должно превышать 3 %.

Производство ячеистых бетонов предусматривает следующие технологические переделы: подготовку сырьевых материалов, приготовление бетонной смеси, формование изделий и тепловлажностную обработку.

Газобетонные изделия изготовляют литьевым или вибрационным способом. Ячеистобетонную смесь перемешивают в газобетоносмесителях. Сначала загружают песчаный или зольный шлам, затем воду, вяжущее и суспензию газообразователя. Газообразователем чаще всего является алюминиевая пудра. Перемешивание осуществляют в процессе вибрации корпуса смесителя. По окончании перемешивания смесь в возможно короткий срок выгружают в формы. При литьевой технологии изделия формируют из жидкотекучих смесей, содержащих до 50...60 % воды от массы сухих компонентов. На стадии формования образуется поризованная масса: при литьевой технологии ее получают в неподвижных формах, при вибрационной — в вибрируемых формах в течение 3...6 мин.

Безавтоклавные ячеистые бетоны изготавливают в основном на портландцементе или шлакопортландцементе. Для улучшения газообразования в состав сырьевой смеси добавляют известь.

Ориентировочный расход материалов на 1 м³ газозолобетона со средней плотностью 900...950 кг/м³ и прочностью 6,5...7,5 МПа может быть следующим, кг: портландцемент марки 400 — 250; зола-унос — 600; молотая известь — 25; гипс — 10; вода — 420; алюминиевая пудра — 0,3.

Наличие развитой внутренней пористости у частиц золы имеет и свою негативную сторону, которая выражается в большей гигроскопичности и увлажняемости ячеистых золобетонов. Повышенная влажность бетонов вызывает значительные деформативные изменения при их высушении (усадку), которые могут сопровождаться трещинообразованием. Величина усадки находится в прямой зависимости от начального водосодержания. Вибрационная технология позволяет использовать высоковязкие смеси с пониженным содержанием воды — 35...40 % от массы сухих компонентов. Уменьшить водосодержание ячеистобетонной

смеси можно также путем использования кремнеземистых компонентов (песка, золы) с меньшей удельной поверхностью.

Усадка автоклавного газозолобетона 0,6...0,75 мм/м. Для снижения усадочных деформаций и повышения трещиностойкости золобетона рекомендуется добавлять в сырьевую смесь крупный пористый заполнитель (керамзит, аглопорит и т.д.). Свойства ячеистых золобетонов улучшаются при совместном применении золы и доменного гранулированного шлака, измельченного до разной крупности. Наличие заполнителя способствует созданию структурных образований, препятствующих усадке.

Морозостойкость ячеистого золобетона (10...25 циклов) может быть повышена до 50 циклов путем добавления взамен известково-золяного вяжущего в бетонную смесь 50...70 кг/м³ поргланццемента.

Значительный опыт производства безавтоклавного газозолобетона накоплен в Ангарске, Ухте, Воркуте, Новокузнецке, Донбассе, на Урале.

Автоклавная обработка газозолобетонных изделий позволяет интенсифицировать взаимодействие активных составляющих золы с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и в более короткие сроки тепловлажностной обработки получить повышенные физико-механические показатели.

На Ступинском заводе ячеистых бетонов было изготовлено более 2,5 млн. м³ изделий из газозолобетона с золой Ступинской ТЭЦ-17, в том числе: панели для стен жилых и общественных зданий, панели и плиты покрытий для промышленных зданий, теплоизоляционный бетон и стеновые камни. Производство всех конструкций и изделий производилось в соответствии с технологической схемой, показанной на рис. 15. Известь, гипс и зола после дробления и сушки поступают в мельницы 10 и 11 для помола. Затем смесь усредняется в гомогенизаторах 12, после чего из бункеров 13 и 14 дозируется в газобетономешалку 18. Газообразователь — водно-алюминиевая суспензия приготавливается в смесителе 17 и также дозируется в газобетономешалку. Формование изделий осуществляется на полуконвейерной линии 19, 22, после чего изделия твердеют в автоклаве 24.

Особое место в технологии ячеистых бетонов занимает производство автоклавных изделий из сланцевых зол, содержащих CaO до 55 %, в том числе в свободном состоянии до 18 %. Производство автоклавных сланцевольных газобетонов организовано на двух предприятиях: Ахтмесском и Нарвском комбинатах стройматериалов производительностью 420 тыс. м³ изделий в год. Последний является самым крупным предприятием в СССР, выпускающим изделия разной номенклатуры для жилищного, промышленного и сельского строительства с заменой зольным вяжущим не только цемента, но и извести. На Нарвском комбинате исходными составляющими ячеистого бетона являются дешевые зола и песок, которые берут в соотношении 1 : 1 по 30 кг на 1 м³ бетона.

Особенность технологии производства сланцевольного газобетона — раздельный или совместный помол золы и песка до удельной поверхности 2500...3500 см²/г. Средняя плотность сланцевольного газобетона

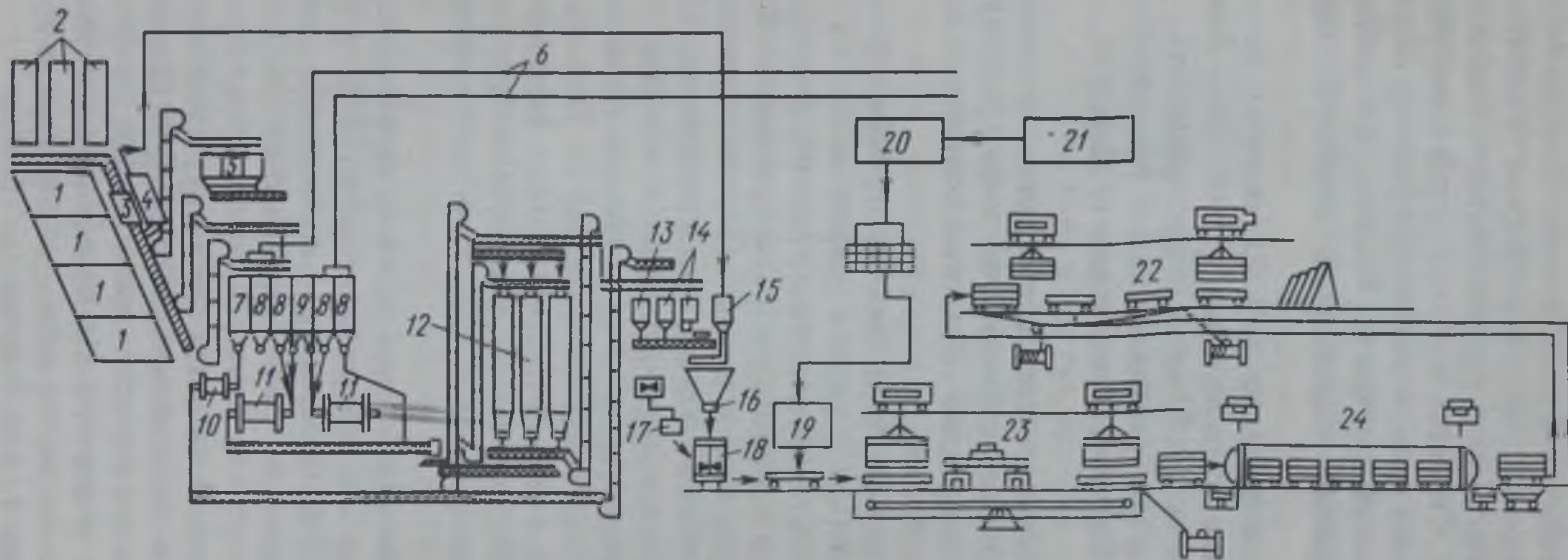


Рис. 15. Технологическая схема производства газосиликатных изделий:

1 – открытый склад известнякового, гипсового камня, угля и аглопорита, 2 – известковые печи, 3 – дробилка для комовой извести и гипсового камня, 4 – сушильный барабан для гипсового камня, 5 – силосы для хранения негашеной извести, 6 – золопровод с ТЭС, 7 – расходный бункер гипсового камня, 8 – бункера для золы, 9 – расходный бункер негашеной извести, 10 – шаровая мельница для гипса, 11 – шаровые мельницы совместного помола извести и золы, 12 – гомогенизаторы, 13 – бункер молотого гипсового камня, 14 – бункера известково-зольной смеси, 15 – бункер для аглопорита, 16 – весовой дозатор, 17 – установка для приготовления водно-алюминиевой суспензии, 18 – самоходная газобетономешалка, 19 – пост очистки, смазки, укладки фактурного слоя и арматурных каркасов в формы крупноразмерных изделий, 20 – отделение антикоррозийной защиты закладных деталей и арматурных каркасов, 21 – арматурное отделение, 22 – распалубочное отделение и склад готовой продукции, 23 – резательная машина, 24 – автоклавы

600...800 кг/м³, прочность при сжатии 5...7,7 МПа. Экономический эффект от замены молотого песка золами в зависимости от местных условий 2...3,5 руб. на 1 м³ ячеистого бетона.

§ 20. ИЗВЕСТКОВО-ЗОЛОПЕСЧАНЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА И ПЛОТНОГО СИЛИКАТНОГО БЕТОНА

Силикатными называют искусственные каменные материалы и изделия, получаемые в результате формования и последующей тепловлажностной обработки в автоклавах смесей, состоящих из извести или других вяжущих на ее основе (известково-кремнеземистых вяжущих), заполнителей (кварцевого песка, шлака и др.) и воды. Твердение таких композиций осуществляется при температуре насыщенного пара 174 °С и более и давлении — 0,8 МПа и выше. В этих условиях SiO₂ песка приобретает химическую активность и между ним и известью происходит взаимодействие с образованием гидросиликатов кальция, цементирующих зерна песка в прочный монолит.

Производство силикатного кирпича является материалоемким: для выпуска 1 тыс. шт. расходуется 2,3...2,5 м³ песка и 350...400 кг извести. Введение в состав массы для производства кирпича активных высокодисперсных добавок, какими являются золы ТЭС, позволяет существенно снизить расход извести и песка. В производстве силикатного кирпича применяют как кислые, так и основные золы ТЭС. Причем они могут использоваться при приготовлении известково-золяного вяжущего и в качестве кремнеземистого компонента вместо песка.

Известково-золяное вяжущее готовят совместным помолом извести и золы в соотношении 75 : 25. Введение 20...30 % золы в силикатные смеси взамен кварцевого песка повышает прочность кирпича-сырца на 30...40 %, а запоренных образцов на 60...80 %.

Оптимальное количество вводимой золы взамен кварцевого песка — 30...50 %. При этом улучшаются формовочные свойства массы, увеличивается прочность сырца, а также улучшаются условия работы прессов. Расход воды в зависимости от количества золы меняется от 9 до 16 % от массы смеси. Обычно смесь перед формованием выдерживается в течение 3...4 ч, затем подвергается прессованию под давлением 15...20 МПа. Тепловлажностная обработка производится в автоклавах по режиму (2...4) + (6...8) + 2 ч (подъем температуры + изотермическая выдержка + остывание).

Оптимальная добавка золы зависит от крупности и зернового состава песка, расхода и дисперсности известкового вяжущего, дисперсности самой золы.

Золосиликатный кирпич по сравнению с обычным силикатным кирпичом характеризуется повышенной прочностью на сжатие и изгиб, более высоким модулем упругости, меньшим коэффициентом размягчения (табл. 8). Морозостойкость его достигает 35...45 циклов и выше, тогда как у силикатного кирпича — 15...25 циклов, деформации усадки и набухания золосиликатного кирпича несколько выше, чем у обычного.

Т а б л и ц а 8. Свойства золосиликатного кирпича

Содержание золы взамен песка, %	Прочность, МПа	Водопоглощение, % по массе	Влажность после запаривания, %	Коэффициент размягчения	Средняя плотность, кг/м ³
0	15	17	7	0,57	1880
20	18	18	8	0,6	1830
30	21	20	10	0,67	1810
40	19	22	12	0,7	1750
60	19	25	13	0,72	1690
80	15	28	14	0,75	1590
100	12	32	16	0,78	1430

Увеличение доли золы в золосиликатном кирпиче (см. табл. 8) сопровождается значительным уменьшением средней плотности на 15...20 %).

Отрицательными особенностями золосиликатного кирпича являются повышенная влажность и водопоглощение, что свойственно всем бетонам на основе зол.

Использование некоторых технологических приемов позволяет улучшить эти свойства. Так, например, влажность кирпича после автоклавной обработки может быть уменьшена при продувке автоклава и создании режима сушки по окончании тепловлажностной обработки.

Существенное влияние на прочность золосиликатного кирпича оказывает введение в сырьевую смесь двуводного гипса в количестве 0,5...1 % от ее массы. При этом возможно сокращение продолжительности тепловлажностной обработки. Техничко-экономические расчеты показывают, что при использовании золы расход извести может быть сокращен в среднем на 30...35 %.

Плотные автоклавные силикатные бетоны изготовляют обычно на известково-кремнеземистом вяжущем без применения крупного заполнителя (на кварцевом песке). Они имеют среднюю плотность 1800...2300 кг/м³ и класс В10...В40. Кремнеземистым компонентом в известково-кремнеземистом вяжущем силикатных бетонов также могут служить золы и шлаки ТЭС. Золо ТЭС могут полностью или частично заменить кварцевый песок.

При полной замене песка золой структура золобетона характеризуется значительной пористостью, что обусловлено повышенной микропористостью самой золы и большим содержанием в бетонной смеси воды затворения. В результате этого силикатный золобетон представляет собой микропористый искусственный камень.

Наличие у зол пуццолановой активности обуславливает их способность при определенных условиях вступать в химическую реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ вяжущего. Это позволяет в ряде случаев значительно сократить расход вяжущих или, в случае применения высококальциевых (например, сланцевых) зол, совсем отказаться от них.

Для изготовления плотных золобетонов могут применяться золы сухого отбора, а также золы гидроудаления из отвалов.

Средняя плотность золобетона находится в пределах 1200...2000 кг/м³, увеличиваясь с увеличением доли кварцевого песка. По прочности плотный золобетон делится на классы В3,5...В30. Морозостойкость этих бетонов может также изменяться в широком диапазоне в зависимости от состава бетона и режимов тепловлажностной обработки — 15...100 циклов замораживания и оттаивания.

В каждом отдельном случае при подборе состава золобетона необходимо обеспечить определенную среднюю плотность и предел прочности при сжатии.

Среднюю плотность бетона можно регулировать в процессе приготовления, укладки и твердения бетонной смеси различными способами: выбором зернового состава золы или смеси золы с песком; введением в золобетонную смесь оптимального количества воды для изменения объема цементного теста; уменьшением расхода вяжущих с одновременным повышением их активности; применением воздухововлекающих добавок; выбором соответствующего агрегата для приготовления золобетонной смеси; назначением способов укладки и уплотнения бетона, позволяющих получать золобетон требуемой плотности; применением режимов тепловлажностной обработки, позволяющих повысить прочность золобетона.

Золы и золошлаковые смеси должны удовлетворять требованиям ГОСТ 25592—83.

Существенным недостатком плотных золобетонов является их повышенная влажность после тепловой обработки, довольно высокое водопоглощение и соответственно значительные деформативные изменения (усадка). Улучшить указанные показатели можно различными способами, например введением в состав бетона молотого гранулированного доменного шлака. Для уменьшения усадочных деформаций рекомендуется также вводить до 30...50 % песка, что способствует значительному повышению трещиностойкости бетонов. Выбор оптимального режима автоклавной обработки также способствует уменьшению деформативности золобетонов.

Автоклавный золобетон является достаточно воздухостойким материалом, т.е. сохраняет свои качества в воздушно-сухой среде. Улучшению этого свойства в значительной мере способствует добавка к вяжущему портландцемента в количестве 50...75 кг/м³. Добавка портландцемента положительно сказывается также на водо- и морозостойкости автоклавных золобетонов.

Ориентировочные расходы смешанного вяжущего (70 % извести и 30 % цемента) приведены в табл. 9.

На свойства золобетона в значительной степени влияют технологические факторы. Так, например, повышение расхода воды снижает морозостойкость бетона, тщательное перемешивание смеси повышает коэффициент морозостойкости. Несоблюдение принятых режимов тепловой обработки (например, быстрый спуск давления пара в автоклаве) нару-

Т а б л и ц а 9. Расход смешанного вяжущего для производства плотных автоклавных золобетон

Средняя плотность сухого золобетона, кг/м ³	Расход смешанного вяжущего, кг, на 1 м ³ золобетона класса				
	B5	B7,5	B10	B15	B25
1200	180...200	210...230	240...280	—	—
1400	160...180	190...210	220...240	250-270	300...320
1650	140...160	170...190	200...220	230...250	280...300

шает структуру золобетона, ухудшая его свойства. Вместе с тем на повышение морозостойкости весьма благоприятно влияет применение плотных золобетонных смесей, воздухововлекающих и пластифицирующих добавок, замена части золы кварцевым песком (30...50 %) или молотым гранулированным доменным шлаком.

Золобетон требует более тщательного и длительного перемешивания смеси, чем обычный бетон. Не все смесители пригодны для перемешивания золобетонной смеси, которая часто прилипает к винтам вала и вместе с ними вращается в мешалке. Наиболее эффективным является перемешивание золобетонной смеси в бегунах с вращающимися катками, которые обеспечивают дополнительное перетирание и гомогенизацию компонентов.

При уплотнении золобетонной смеси для повышения эффективности уплотнения и получения гладкой поверхности изделий рекомендуется применять вибро- и пневмопригрузочные щиты.

Золобетонные или золопесчаные камни формуют на поддонах механическим способом. При этом золобетон в камнях уплотняют трамбованием, вибрацией, вибропрессованием и вибротрамбованием. Особенность формования камней заключается в том, что они сразу после уплотнения смеси освобождаются от боковой опалубки и лежат на специальных поддонах. Это не позволяет применять пластичные бетонные смеси, так как избыток воды вызывает деформацию камней при формовании.

При автоклавной обработке важное значение имеет назначение оптимальных режимов. Ориентировочно для крупноразмерных изделий можно рекомендовать следующие режимы: выдержка перед запариванием 2...3 ч, подъем давления в автоклаве до 0,8 МПа — 2...4 ч, выдержка при максимальном давлении 6...10 ч и снижение давления 3...4 ч. Одним из важных требований при запаривании является медленный спуск давления. Невыполнение данного требования часто снижает трещиностойкость и морозостойкость изделий.

Из плотного золобетона изготавливают стеновые материалы в виде крупных блоков, панелей, камней, а также перегородочные плиты и перемычки. Золобетон служит также для изготовления армированных панелей и плит перекрытий (сплошных, пустотелых, ребристых и т.д.)

Использование зол тепловых электростанций в производстве изделий из плотного золобетона обеспечивает получение значительного

экономического эффекта. Применение золы взамен кварцевого песка позволяет снизить себестоимость изделий из золобетона на 10...20%. Так, ориентировочная стоимость 1 м² стены жилого здания из крупных золобетонных блоков на 10% ниже стоимости стены из силикатного кирпича и на 20...25% ниже стоимости стены из керамического кирпича. Массовое использование зол в этом направлении обеспечит значительный народнохозяйственный эффект.

§ 21. ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ ТЭС В СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ

На изготовление строительных растворов расходуется до 15...20% общего количества цемента, применяемого в строительных работах, поэтому сокращение расхода клинкерных цемента в растворах дает большой экономический эффект. Одним из путей экономии цемента в растворах является использование зол ТЭС.

Зола может применяться в цементных, цементно-известковых и известковых растворах. Она играет роль активной минеральной добавки, пластификатора и микрозаполнителя, улучшающего пластичность, водоудерживающую способность и прочность растворов.

С применением золы могут быть получены растворы следующих марок (по прочности на сжатие): 4, 10, 25, 50, 75, 100 и 150.

Строительные растворы с добавкой золы можно применять для каменной кладки и возведения стен из крупноразмерных элементов. Их рекомендуется применять в зимний период при кладке методом замораживания в связи с замедленным твердением при пониженной температуре. Применение растворов с добавкой золы для армированной кладки возможно после проверки в лаборатории сохранности арматуры в таком растворе.

Наиболее эффективным оказалось введение золы в тощие цементно-песчаные смеси (с малым расходом цемента). Оптимальное содержание золы составляет в них 80...125% от массы цемента. С увеличением расхода цемента содержание золы уменьшается до 50% от массы цемента, а при высоком расходе цемента — более 400 кг/м³ введение золы в состав строительного раствора малоэффективно.

Оптимальное содержание золы в цементных растворах на портландцементе и шлакопортландцементе рекомендуется в пределах 100...200 кг/м³. Зола улучшает удобоукладываемость растворной смеси и снижает расход цемента на 30...50 кг и более. Зола вводится в растворную смесь взамен части цемента и песка. Крупнодисперсную золу следует применять только взамен части песка без изменения расхода цемента.

Оптимальное содержание золы в цементно-известковых растворах также 100...200 кг/м³. Зола вводится взамен части цемента, извести и песка. При этом достигается экономия до 30...50 кг цемента и 40...70 кг известкового теста на 1 м³ раствора без ухудшения удобоукладываемости и прочности.

В известковых растворах при замене извести золой расход известкового теста уменьшается на 50% без снижения прочности и других

свойств раствора. При замене 50 % извести удвоенным по массе количеством золы (вместо части извести и части песка) достигается экономия извести и повышается марка раствора. Бесцементные известково-золяные растворы марок 10 и 25 экономичны и могут применяться в массовом малоэтажном и сельском строительстве.

Подбор составов растворов с золой осуществляется на основании рекомендуемых оптимальных дозировок золы и уточняется на пробных замесах. Добавка золы в оптимальном количестве практически не изменяет водопотребность смеси.

Строительные растворы с добавкой золы готовят централизованно на бетонорастворных заводах или растворосмесительных узлах. Контроль качества растворов с добавкой золы должен включать регулярную проверку качества исходных материалов, точности дозирования и времени перемешивания, физико-механических свойств растворной смеси и затвердевшего раствора.

Г Л А В А V. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

Основным сырьем для изготовления всех керамических изделий являются глинистые породы. При затворении водой глины способны образовывать пластичное тесто, которое в высушенном состоянии обладает некоторой прочностью (связностью), а после обжига приобретает камнеподобные свойства. На этой особенности глин и основано производство керамических изделий.

Одним из направлений в работах по повышению качества керамических изделий и улучшению технико-экономических показателей кирпичных заводов является использование корректирующих добавок, позволяющих уменьшить, а в отдельных случаях исключить расход технологического топлива, вводимого в шихту. Такой добавкой могут служить золы ТЭС. Они действуют одновременно как выгорающие добавки вследствие наличия в них коксового остатка и как отошающие, т.е. понижающие пластичность, воздушную и огневую усадку глины.

Добавкой при производстве керамического кирпича и камней может служить зола-унос ТЭС, а также золошлаковая смесь из отвалов. В отдельных случаях для улучшения сушильных свойств керамической (глинозольной) массы в нее вводят небольшое количество мелкодисперсного топливного шлака (зерна размером менее 5 мм).

Золошлаковая смесь или зола-унос, которые используют в производстве строительной керамики, должны отвечать следующим требованиям: золы должны быть легкоплавкими или средней плавкости (температура размягчения соответственно до 1200 и 1400 °С). Сюда относятся золы донецких, кузнецких и подобных углей;

содержание несгоревшего топлива в золе не ограничивается, так как при содержании в золе горючей части 10 % и более введение в шихту технологического топлива может быть значительно снижено;

количество топливного шлака с размером зерен более 3 мм должно быть не более 5 % объема золошлаковой смеси;

содержание серы в золе (в пересчете на SO_3) не должно быть более 2 %; содержание карбонатных пород с размером зерен более 1 мм не допускается.

Для добавки в шихту стеновой керамики необходимо использовать золы с содержанием $\text{CaO} + \text{MgO}$ не выше 5 %, количеством несгоревшего топлива не менее 20 %. Добавляют золу в сырьевую смесь обычно в количестве до 15 %, а на некоторых заводах дозировку золы увеличивают до 50 %, что позволяет снизить среднюю плотность кирпича до 1250 кг/м^3 (у обычного керамического кирпича средняя плотность колеблется в пределах $1600 \dots 1900 \text{ кг/м}^3$).

Физико-механические свойства кирпича и керамических камней с добавкой золы должны удовлетворять требованиям действующих ГОСТов на соответствующие керамические изделия.

В связи с многообразием свойств глинистых пород, а также зол ТЭС, применяемых в качестве добавки в шихту, технология керамических изделий и технологические схемы могут различаться. Однако принципиальная схема их получения одна и та же. Основной является технологическая линия производства керамического кирпича. Золу используют или как отошающую, или как топливную добавку. Если нет топливосодержащей золы предусмотрено введение соответствующим образом подготовленного угля (бурый, каменный, антрацит). Чаще в том и другом варианте в шихту вводят дополнительно один из следующих видов добавок — древесные опилки, шамот, кварцевый песок и др. Количество добавок устанавливают опытным путем. При использовании в качестве добавки золошлаковой смеси из отвалов ТЭС ее предварительно сушат, рассеивают и дробят.

В зависимости от пластических свойств к глине добавляют разное количество золы, %; для высокопластичной глины — $40 \dots 48$; среднепластичной — до 30; низкопластичной — $8 \dots 20$. Свыше 20 % золы или золошлаковой смеси вводят лишь на отдельных заводах, использующих умеренно пластичные высокочувствительные к сушке глины.

К отличительным особенностям технологии керамических изделий с золой ТЭС относятся: более равномерный обжиг за счет равномерно распределенных тонкодисперсных горючих остатков в золе, сгорающих в массе кирпича-сырца; более высокое качество изделий, в том числе повышенная прочность и меньшая плотность; меньший расход технологического топлива. С технико-экономической точки зрения добавка золы ТЭС приводит к снижению затрат на производство изделий, сокращению расходов на сырье, снижению себестоимости готовой продукции.

Прочность изделий при введении золы ТЭС повышается на $15 \dots 60$ % (соответственно увеличивается марка изделий). Средняя плотность не превышает 1500 кг/м^3 . Расход технологического топлива снижается на $20 \dots 70$ %. Цикл сушки кирпича-сырца сокращается более чем на 20 %.

Задача рационального обжига глинозольных шихт заключается в том, чтобы как можно ближе подойти к пределу спекаемости массы без

повреждения изделий. Установлено, что оптимальными являются ступенчатые режимы обжига последовательными выдержками при 500...600 и 800...900 °С. Конечную температуру обжига смеси устанавливают конкретно для каждого состава.

Первая выдержка (500...600 °С) необходима для возможно более полного выгорания ококсированных частиц в толще изделия. При этих же температурах удаляется химически связанная вода из глинистых минералов. В результате газопроницаемость изделий увеличивается.

Повышение температуры до 850...900 °С приводит к снижению газопроницаемости кирпича вследствие начала процессов уплотнения и структурообразования. Вторая выдержка необходима для предотвращения деформаций кирпича в период спекания. При 900 °С обеспечивается наиболее полное удаление органических компонентов из массы изделия.

Введение золы в сырьевую смесь оказывается более эффективным при полусухом способе производства кирпича по шликерной технологии, чем при способе пластического формования. При полусухом способе доля золы в шихте может быть доведена до 50...60 %, что вдвое-втрое превышает возможности обычного пластического способа. Однако производительность заводов, работающих по полусухому способу, не превышает 10 % общесоюзного выпуска кирпича. Поэтому более актуальными являются работы по использованию золы в производстве кирпича пластического формования.

Разработана технология кирпича по способу пластического формования, получившего название "золокерам". Главная особенность технологии – тщательная, многоступенчатая подготовка зологлиняной смеси с применением комплекса механизмов, включающего вальцы тонкого помола и тангенциальную мельницу. Чем пластичнее глина, тем большую часть шихты может составлять зола – до 60...70 % общей массы. Сушку и обжиг приводят в туннельных агрегатах. Другая особенность технологии – использование для формования прессов, в которых поддерживается вакуум не ниже 80 кПа. Вакуумирование удаляет из глины заземленный воздух, который нарушает связь между отдельными зернами глинистых минералов и отдельными молекулами воды и ухудшает тем самым прочностные и формовочные свойства глинистого теста. Благодаря снижению формовочной влажности и отощению пластичных глин добавкой золы время сушки кирпича-сырца сокращается почти вдвое, что наряду с существенным повышением дозировки золы (при обычном пластическом способе ее количество, как правило, не превышает 15 %) открывает новые возможности в утилизации зол. Экономия топлива на обжиг 1 тыс. шт. кирпича может составлять до 70 кг условного топлива. Формование изделий осуществляется как полусухим, так и пластическим способом. Прочность изделий находится в пределах 15...35 МПа, средняя плотность 1400...1700 кг/м³, водопоглощение 14...16 % в зависимости от методов и параметров формования и тепловой обработки.

Г Л А В А VI. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛ И ШЛАКОВ ТЭС. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Огромная эффективность применения золошлаковых отходов ТЭС в производстве строительных материалов доказана многочисленными научными исследованиями и практическим опытом. Она заключается в уменьшении расхода сырьевых материалов, топливно-энергетических ресурсов, сокращении технологического цикла производства изделий, улучшении их свойств (табл. 10). Помимо этого существенная экономия достигается в результате ликвидации золошлаковых отвалов. Удаление зол и шлаков в отвалы и содержание отвалов требует затраты колоссальных средств. Только за 1 сут работы на ТЭС мощностью 1 млн. кВт (по современным масштабам это средняя электростанция) сжигается около 10 000 т угля и образуется свыше 1000 т золы и шлака, под отвал которых (высотой 8 м) требуется площадь более 1 га в год. Стоимость же 1 га отчуждаемой под отвалы земли составляет 10 тыс. руб., а расходы по удалению отходов ТЭС в отвалы составляют до 1,5 руб. на 1 т.

Однако необходимость использования золошлаковых отходов связана еще и с их вредным влиянием на окружающую природную среду. Распыление золы ТЭС при ее хранении в отвалах представляет опасность для водного и особенно воздушного бассейнов. Вблизи отвалов резко ухудшаются условия жизни людей. Поэтому необходимо наиболее полно использовать золошлаковые отходы во всех возможных направлениях, даже в тех случаях, когда их использование не дает ощутимого экономического эффекта в денежном выражении.

Использование многотоннажных отходов тепловой энергетики прямо отвечает задаче разработки и внедрения малоотходных и безотходных, ресурсосберегающих технологий, поставленной XXVII съездом КПСС. Отходы одной отрасли промышленности — энергетики являются ценным сырьем для другой отрасли — строительства. Помимо рассмотренных в данном учебном пособии основных видов строительных материалов золы и шлаки ТЭС успешно применяются в дорожном строительстве, в производстве шлакоситаллов и золоситаллов (стеклокристаллические материалы с высокой прочностью, твердостью, термической и химической стойкостью), шлаковой ваты и т.д.

Таким образом, использование зол и шлаков ТЭС дает возможность производить новые эффективные виды строительных материалов с улучшенными строительно-техническими свойствами, позволяет резко уменьшить капитальные и текущие затраты на сооружение новых и содержание действующих золоотвалов и в конечном счете существенно снизить себестоимость получаемой электроэнергии.

Т а б л и ц а 10. Основные направления и эффективность использования золы и шлака ТЭС в народном хозяйстве

Направление использования	Вид золошлаковых отходов	Эффект использования	
		технический	экономический
Тяжелый бетон (включая гидротехнический)	Зола ТЭС – заменитель части цемента	Экономия цемента 15...30 %; улучшение удобоукладываемости бетонной смеси; повышение коррозионной стойкости бетона; снижение тепловыделения при твердении	Снижение стоимости 1 м ³ бетона на 0,6...2,3 руб.
Бетон из золошлаковых смесей	Золошлаковая смесь из отвалов – заменитель природных заполнителей	Экономия дорогостоящих природных заполнителей; снижение транспортных расходов; снижение средней плотности бетонов	Снижение стоимости 1 м ³ бетона на 2...2,3 руб.
Легкие бетоны на пористых заполнителях	Зола ТЭС – мелкий заполнитель	Экономия 10...20 % цемента; снижение плотности бетона на 100...300 кг/м ³ по сравнению с керамзитобетоном на кварцевом песке	Снижение стоимости 1 м ³ керамзитобетона на 2...4 руб.
Ячеистый бетон	Зола ТЭС – заменитель песка и компонент смешанного вяжущего	Снижение расхода электроэнергии; уменьшение толщины стен по сравнению с кирпичными в 1,5...2 раза	Снижение себестоимости на 2...2,5 руб. на 1 м ³ бетона
Плотный силикатный бетон	То же	Экономия извести на 10...20 %, песка – на 20...30 %; снижение средней плотности изделий на 150...300 кг/м ³	Снижение себестоимости на 1,5...2 руб. на 1 м ³
Силикатный кирпич	Зола ТЭС – заменитель песка	Экономия песка 20...50 %, извести – 50...70 кг на 1000 шт. кирпича; экономия топлива – 8...12 %	Снижение себестоимости 1000 шт. кирпича на 1,5...2,5 руб.
Строительные растворы	Зола ТЭС – заменитель части цемента, извести и песка	Снижение расхода цемента или извести на 30...50 кг на 1 м ³ , песка – на 200...300 кг; повышение удобоукладываемости; уменьшение водоотделения	Экономия – 0,6...1,2 руб. на 1 м ³
Портландцемент (с минеральными добавками, пуццолановый; шлакопортландцемент)	Золы и шлаки ТЭС – активные минеральные добавки	Экономия клинкера 15...60 %; снижение расхода топлива на 30...40 %, электроэнергии – на 10...15 %; повышение коррозионной стойкости цемента; снижение тепловыделения при твердении	Снижение стоимости 1 т цемента на 3...5 руб.

Направление использования	Вид золошлаковых отходов	Эффект использования	
		технический	экономический
Известковые вяжущие вещества	Зола и шлак – компоненты бесклинкерного вяжущего взамен песка	Снижение расхода извести на 30...60 %, топлива – в 2...2,5 раза, электроэнергии на 50...60 %	Экономия на 1 т вяжущего – 2...3 руб.
Цементный клинкер	Зола ТЭС – взамен глинистого компонента сырьевой смеси	Сокращение расхода топлива на 10...15 %; снижение расхода основных сырьевых материалов на 20...30 %	Экономия в целом по стране – 150...300 тыс.руб. в год
Искусственные пористые заполнители: обжиговые – глинозольный керамзит, аглопоритовый и зольный гравий безобжиговый зольный гравий	Зола ТЭС – основное сырье	В сравнении с керамзитовым гравием снижение расхода топлива на 20...30 %	Экономия приведенных затрат – 1,5...2,6 руб. на 1 м ³ заполнителя
	Зола ТЭС – основной компонент сырьевой смеси	По сравнению с керамзитовым гравием сокращается расход топлива на 60...70 %, электроэнергии на 10...15 %	Экономия на 1 м ³ по сравнению с обжиговыми заполнителями – 1,5...2,5 руб.
Керамический кирпич	Зола ТЭС – отощающая и выгорающая добавка	Экономия глинистого сырья на 15...50 %; сокращение расхода топлива на 90...100 кг на 1 тыс. шт. кирпича; повышение марки изделий; улучшение внешнего вида; сокращение срока сушки кирпича; снижение средней плотности	Снижение себестоимости 1000 шт. кирпича на 6 руб.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава I. Характеристика зол и шлаков ТЭС как сырья для производства строительных материалов	6
§ 1. Процессы, происходящие при сжигании твердого топлива	6
§ 2. Способы отбора золы и шлака	7
§ 3. Состав, строение и свойства зол и шлаков ТЭС	10
§ 4. Классификация зол и шлаков ТЭС как сырья для изготовления строительных материалов	15
Глава II. Вяжущие вещества с добавкой зол и шлаков ТЭС	18
§ 5. Общие сведения	18
§ 6. Цементный клинкер	19
§ 7. Портландцементы	20
§ 8. Известковые вяжущие вещества	24
Глава III. Искусственные пористые заполнители на основе зол и шлаков ТЭС	25
§ 9. Особенности использования зол ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей	25
§ 10. Аглопоритовый гравий и зольный аглопорит	31
§ 11. Глинозольный керамзит	33
§ 12. Зольный гравий	34
§ 13. Безобжиговый зольный гравий	35
Глава IV. Бетоны с применением зол и шлаков ТЭС	38
§ 14. Влияние золы ТЭС на свойства бетонной смеси и структуру затвердевшего бетона	38
§ 15. Использование золы ТЭС в бетонах естественного твердения	40
§ 16. Использование золы ТЭС в тяжелых бетонах для изготовления строительных изделий	44
§ 17. Бетоны на заполнителях из золошлаковых смесей	48
§ 18. Легкие бетоны на пористых заполнителях	52
§ 19. Ячеистые бетоны с золой ТЭС	57
§ 20. Известково-золоспесчаные смеси для производства силикатного кирпича и плотного силикатного бетона	61
§ 21. Применение золы ТЭС в строительных растворах	65
Глава V. Использование золошлаковых отходов ТЭС в производстве строительной керамики	66
Глава VI. Экономическая эффективность использования зол и шлаков ТЭС. Охрана окружающей среды	69

10 κοπ.

0-98