

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

УДК .691

РУЗАНОВ АЗИЗ ЖУРАХАНОВИЧ

**Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций в
производстве строительных материалов**

5A320101-Материаловедение и технология материалов

Диссертации для получения академической степени

Магистра

Научный руководитель:

к.т.н., доц. Газиев У.А.

Ташкент 2014 год

Оглавление

Введение	3
Глава I .Сырье для производства цемента	13
1.1. Карбонатные породы.....	13
1.2. Глинистые породы.....	16
1.3.Корректирующие добавки.....	17
1.4. Дополнительные компоненты сырьевой смеси.....	18
1.5. Технические и технологические требования к золам, применяемых в бетонах.....	21
Глава II.Теоретическая и исследовательская части по применению золо - шлаковых отходов	23
2.1. Проблемы промышленных отходов и основные направления их решения.....	24
2.2. Характеристика золошлаковых отходов теплоэлектростанций...29	
2.3.Вяжущие материалы на основе золошлаковых отходов.....	31
2.4.Заполнители из топливных зол и шлаков.....	36
2.5. Классификация зол и шлаков теплоэлектростанций.....	47
Глава III.Бетоны и строительные растворы с использованием зол теплоэлектростанций	54
3.1. Влияние зольных добавок на свойства бетона.....	54
3.2. Влияние золы на удобоукладываемость бетонной смеси и прочность бетона.....	56
3.3.Ячеистые бетоны с добавкой золы–уноса.....	58

3.4. Составы бетонов и строительных растворов с и без использования зол теплоэлектростанций.....	60
3.5. Эффективность применения золы и золошлаковых отходов в дорожном бетоне.....	64
Глава IV. Экспериментальная часть.....	66
Заключение.....	71
Список использованной литературы.....	73

Введение

Прогноз развития производства цемента и бетона в строительной индустрии в разных странах мира, охватывающий период до 2050 г, предусматривает сохранение цемента и бетона в качестве основного строительного материала, в частности, для сооружений и зданий, для изготовления изделий и конструкций, а также в дорожном строительстве. При этом улучшение экологии предполагает сокращение расходов природных сырьевых материалов при производстве цемента и изготовления бетона, снижение энергоёмкости, а также сокращение выбросов в атмосферу диоксида углерода (CO₂) и пыли фракцией менее 0,1 мм при производстве портландцемента. Анализ научно-технической и патентной литературы свидетельствует о возможности частичной замены портландцемента различными промышленными отходами топливно-энергетической отрасли.

Перспективность применения в этих целях золы-уноса (далее-золы, ГОСТ 25818-91) диктуется её свойствами и низкой стоимостью. В настоящее время ассортимент выпуска цемента с золой значительно ниже. По этому наиболее целесообразно введение этого отхода теплоэнергетики непосредственно на бетонном заводе.

В процессе деятельности предприятий теплоэнергетики образуется много золошлаковых отходов. Годовое поступление золы в золоотвалы составляет сотни миллионов тонн.

Установлено, что количество отходов производства увеличивается более высокими темпами, чем общественное производство, и имеет тенденцию к опережающему росту. На удаление отходов расходуется в среднем 8-10% стоимости производимой основной продукции. В тоже время доказано, что в 70-80% случаях производства, где рационально используются отходы имеют

срок фактической окупаемости капитальных вложений существенно ниже нормативного.

При комплексных и кооперативных производствах ликвидируются отвалы и свалки, которые занимают сельскохозяйственные угодья. Использование золошлаковых отходов и попутных отходов производства топливноэнергетической отрасли в полезных целях не только позволяет увеличить выпуск продукции, но и предотвращает резкое оздоровление окружающей среды-предотвращает загрязнение почвы, воды, воздуха. Одним словом улучшает экологическую обстановку в регионе, а это забота о здоровье людей, подрастающего поколения и государства в целом. Одним из наиболее перспективных направлений утилизации промышленных золошлаковых отходов является использование их в производстве цемента и строительных материалов. Стоимость материальных ресурсов в сметной стоимости строительно-монтажных работ составляет приблизительно ~ 60%. Применение промышленных отходов позволяет снизить на 10-30% затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природно-сырьевых материалов. Экономия капитальных вложений достигает 35-50%.

Зола тепловых электростанций-дешевый и практически неисчерпаемый источник сырья, из которого можно изготавливать различные строительные материалы и изделия. Особенно широкие возможности имеются для утилизации золы в легких бетонах, как в виде мелкого заполнителя и добавки к цементам, так и в виде сырьевого источника для изготовления крупного заполнителя. Широко применяются золошлаковые отходы в ячеистых бетонах.

При использовании золошлаковых отходов следует учитывать, что наиболее эффективен тот путь, который не требует сложной технологической переработки зол для последующего использования их в строительстве. При этом необходимо исходить из возможной замены золой дефицитных

источников минерального сырья с учетом топливно-энергетических ресурсов, а также важности охраны окружающей среды и природы в целом.

Размер частиц золы колеблется от 5 до 100 мкм. По зерновому составу зола очень близка к портландцементу. Для использования в строительстве золу не требуется измельчать. Топливо-энергетическая промышленность дает ее в готовом виде для производства ячеистых бетонов, автоклавных изделий и в качестве добавок к различным видам цементов.

Положительные особенности золы не всегда удается полностью использовать. Объясняется, это прежде всего, большой изменчивостью некоторых ее показателей, например, гранулометрического состава, количеством окислов и несгоревших частиц. Они колеблются в широких пределах не только на разных теплоэлектростанциях, но даже в одной ТЭС в зависимости от времени года и места отбора.

Золышлаковые отходы (ЗШО) можно использовать в производстве различных марок цемента, а также бетонов, строительных растворов, керамики, теплогидроизоляционных материалов, дорожном строительстве, где они могут использоваться взамен песка и цемента.

В производстве цемента и бетона все большее применение находит зола с электрофильтров. Использование таких отходов — одна из наиболее актуальных проблем сегодняшнего дня. Это возможно путем удаления или извлечения из золы вредных и ценных компонентов использования оставшейся массы золы в строительной индустрии, а также в производстве удобрений для сельскохозяйственных нужд страны.

Цемент и бетонные смеси с золами обладают большей связностью, лучшей перекачиваемостью, меньшим влагоотделением и расслоением. Цемент и бетон при этом имеют большую прочность, плотность, водопроницаемость, стойкость к некоторым видам коррозии, меньшую теплопроводность, а также является хорошим строительным

теплоизоляционным материалом для строительства зданий, сооружений, где необходимо сохранить технологическое тепло или холод.

Наиболее эффективны активные добавки в цемент и бетоны кислые золы, не обладающие вяжущими свойствами; их пуццолановая активность проявляется во взаимодействии с цементным вяжущим. В зависимости от этой характеристики по отношению конкретному цементу, водопроницаемости и удобоукладываемости бетонной смеси, условий и длительности затвердевания удастся существенно сократить расход цемента.

Оптимальное содержание золы ($\text{кг}/\text{м}^3$), составляет для бетонов: пропариваемого-около 150; нормального твердения-100. В соответствии с известными рекомендациями применение 150 кг золы-уноса на 1 м^3 тяжелого бетона классов В 7,5-В 30 позволяет сэкономить 40-80 кг цемента. В бетонах подвергаемых тепловой обработке, применение золы дает возможность сэкономить до 25 % цемента.

Значительный практический опыт применения золы-уноса в бетонах накоплен в гидротехническом строительстве. В настоящее время доказана эффективность замены 25-30% портландцемента золой-уносом для бетонов внутренних зон массивных гидротехнических сооружений. В ряде случаев обоснованна целесообразность увеличения содержания в гидротехническом бетоне золы-уноса до 50-60% от массы цемента. При замене золой 40 % цемента при их совместном измельчении, прочность бетона через 28 суток близка, а через 60 суток практически равна прочности бетона без добавки. Впервые в 1961 г произведена опытно-производственная укладка бетона с добавкой 15-20% золы-уноса в тело плотины Братской ГЭС. Было уложено около 5000 м^3 бетона с золой, который по основным физико-механическим свойствам не отличается от бетона без добавки золы.

В настоящее время все шире применяется зола в производстве сборных железобетонных конструкций. Сухую золу вводят в бетон классов В 40 в количестве до 20-30% от массы цемента.

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

Требования к золам, как к активным минеральным добавкам в бетонную смесь, обусловлены физико-химическим механизмом их влияния на процессы твердения и структурообразования бетона. Гидравлическая активность зол, как и других веществ пуццоланного типа, в значительной мере обусловлена химическим взаимодействием входящих в них оксидов кремния и алюминия с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидролизе клинкерных минералов с образованием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Гидратации золы способствует их стекловидная фаза, кристаллическая фаза в этом процессе практически инертна. Химическая активность зол непосредственно связана также с их дисперсностью.

По современным представлениям прочность цементов и бетонов с добавкой золы зависит от толщины затронутого химическими процессами поверхностного слоя зольной частицы.

Положительному влиянию золы на структурообразование бетона способствует также “эффект мелких порошков”, расширяющих свободное

пространство, в котором осаждаются продукты гидратации, что ускоряет процесс твердения цемента.

Действующие нормативные документы разрешают применять золу-унос в качестве добавки для приготовления бетонов сборных и монолитных конструкций зданий и сооружений, кроме конструкций, эксплуатируемых в средах со средней и сильной агрессивностью.

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

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

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

Ряд исследователей считают, что шарообразные частицы золы могут рассматриваться как твердые “шарикоподшипники” в смеси, они аналогично пузырькам эмульгированного воздуха при использовании воздухововлекающих добавок оказывают пластифицирующее действие на бетонную смесь.

В последнее время в промышленности сборного железобетона расширяется применение высокоэффективных химических добавок - разжижителей бетонной смеси типа С-3, которые принято называть суперпластификатором. Согласно классификации суперпластификаторы в широком смысле подразделяются на 4 класса.

- продукт конденсации нафтолиносulfатокислоты с формальдегидом;
- продукт конденсации меламина sulfокислоты с формальдегидом;
- модифицированные мегносulfонаты;
- вещества, содержащие эфиры углеводов.

Опытное внедрение добавки С-3 произведено более чем на 50-ти предприятиях при изготовлении конструкций различной номенклатуры: плит перекрытий, ферм, стеновых панелей, ригелей, колонок, балок, труб и т.д и т.п.

Наиболее рациональными областями применения суперпластификаторов С-3 являются следующие: железобетонные трубы и конструкции и высокопрочные бетоны.

В Республике Узбекистан создана многоотраслевая промышленность с развитой инфраструктурой, сформированы национальные кадры рабочего класса. В настоящее время на территории республики действует 11 тысяч предприятий в народном хозяйстве государства.

Отраслевая структура промышленности Узбекистана совершенствуется и приобретает форму взаимосвязанного комплекса. Опережающими темпами развиваются машиностроение, электроэнергетика, цветная металлургия, химия, металлообработка, то есть те отрасли, которые определяют научно-технический потенциал и прогресс страны. Только за последние несколько лет в республике построены такие крупные промышленные предприятия, как Ташкентская и Сырдарьинская ГРЭС, Навоинский электрохимкомбинат Алмалыкский химический завод, Ангренский резиновый комбинат, Ташкентский моторный завод, Самаркандский завод бытовых холодильников, Кувасайский фарфорово-фаянсовый завод и много других.

Проблема ресурсосбережения особенно актуальна в строительстве, так как это отрасль народного хозяйства потребляет около 30% всей массы продукции материального производства. Материальные ресурсы составляют более половины всех затрат на производство строительно-монтажных работ.

На основе применения отходов промышленности возможно развитие производства новых эффективных строительных материалов. Новые материалы должны обладать комплексом улучшенных технических свойств и в тоже время характеризоваться наименьшей ресурсоемкостью как в процессе производства, так и при применении.

Одним из важнейших материальных ресурсов, необходимых для производства строительных материалов является топливо. В последние годы проблема повышения эффективности топлива, его экономного расходования приобрела особую актуальность в связи с ростом его потребления на технологические нужды, увеличением затрат на его добычу из-за удаленности месторождений и сложности залегания.

Развитие совершенствования производства строительных материалов, повышения их экономической эффективности на современном этапе в значительной степени будут определяться рациональностью использования

сырьевых ресурсов, полнотой вовлечения в производство отходов различных отраслей промышленности.

“ Узбекистан по праву гордится богатством своих недр - найдены практически все элементы известной периодической системы Менделеева. Сегодня выявлено более 2,7 тысяч месторождений и перспективных рудопроявлений различных полезных ископаемых, включающих около 100 видов минерального сырья, из которых более 60 уже вовлечены в производство. Разведано более 900 месторождений, в которых подтвержденные запасы оцениваются в 970 млрд.долларов США. При этом следует отметить, что общий минерально-сырьевой потенциал оценивается более чем в 3,3 триллиона долларов США ” - написал И.А.Каримов в своей книге: “ Узбекистан на пороге XXI-века ” .

Уже сейчас в экономике Республики Узбекистан добыча и переработка минерального сырья занимает одно из ведущих мест, оказывая большое влияние на развитие промышленного и сельскохозяйственного производства. На базе разведанных запасов действуют около 400 рудников, шахт, карьеров, нефтегазопромыслов.

Внимание инженерно-технических работников многих стран мира уже давно привлечено к тому, что золошлаковые отходы характеризуются разнообразием химического состава и ценными технологическими свойствами. Тонкодисперсные золы (угольные, сланцевые, торфяные), получаемые в результате сжигания твердого и пылевидного топлива в зависимости от вида сжигаемого топлива, режима горения, устройства топок, но все они близки к составу гидравлических добавок. Как показали исследования ученых, эти золы с успехом могут быть использованы для автоклавного производства плотных и ячеистых камней, блоков, панелей и других изделий.

Целью данной магистерской диссертации является изучение и описание комплексного использования отходов тепловых электростанций в производстве современных строительных материалов.

Для достижения цели в диссертации решены следующие задачи:

- Рассмотрены свойства и состав сырья для производства цемента, расчет сырьевого состава смеси с необходимыми к нему данными и вариантами;
- Изучены свойства и состава отходов теплоэлектростанций;
- Рассмотрены области применения зол ТЭС в производстве строительных материалов;
- Изучены свойства и характеристики строительных материалов изготовленных на основе отходов ТЭС;
- Изучены вопросы использования зол и шлаков ТЭС зарубежными предприятиями отрасли;
- Изучены производство портландцемента с добавками зол тепловых электростанций;
- Разработаны составы растворов и бетонов с применением отходов теплоэлектростанций;

При выполнении с данной работы были изучены труды отечественных и зарубежных авторов, рассмотрена как научная, так и периодическая литература в этой области, а также использованы изыскания изложенные студентами нашего ВУЗа в своих научных рефератах.

Глава I . Сырье для производства цемента.

Для производства цемента могут применяться как природные горные породы так и промышленные отходы. Исходными материалами служат минералы, содержащие главные составные части цемента: оксид кальция, кремнезем, глинозем и оксид железа. Эти компоненты редко содержатся в нужном соотношении в каком - либо одном виде сырья. Поэтому часто приходится подбирать сырьевую смесь по расчету из составляющей, богатой известью (карбонатный компонент), и составляющей, бедной известью, но содержащей кремнезем, глинозем и оксид железа (глинистый компонент). Двумя основными компонентами сырьевой смеси, как правило, служат известняк и мергель.

1.1. Карбонатные породы.

Содержание карбонатного компонента в цементной сырьевой смеси обычно достигает 70-80%. Поэтому физические и химические свойства этого компонента оказывают решающее влияние на выбор технологии производства цемента и производственных агрегатов.

1.1.1.Известняк. Карбонат кальция CaCO_3 , широко распространен в природе. Для производства портландцемента пригоден карбонат кальция всех геологических формаций. Наиболее частыми формами известняка является известковый шпат (кальций)и аргонит. Известковый шпат имеет

гексогональную кристаллическую решетку структуры материала, а аргонит-ромбическую. Плотность известкового шпата равна 2,7, аргонит-2,95 г/см³. Макрозернистой разновидностью известкового шпата является мрамор. Однако использовать мрамор для производства цемента не экономично.

Наиболее распространенными и часто похожими на мрамор формами карбоната кальция являются известняк и мел. Известняк имеет в основном мелкозернистую кристаллическую структуру. Твердость известняка определяется его геологическим возрастом: чем древнее геологическая формация, тем, как правило тверже известняк. Твердость известняка находится в интервале от 1,8 до 3,0 по шкале твердости Мооса, а плотность - в интервале от 2,6 до 2,8 т/м³. Наиболее чистый известняк имеет белый цвет. Чаще всего в известняке содержатся примеси глинистых веществ и соединений железа, которые и определяют его цвет.

1.1.2. Мел. С точки зрения геологии мел является относительно молодой осадочной породой, образовавшейся в меловый период. В противоположность известняку мел имеет более рыхлую, землистую структуру; это свойство позволяет отнести мел к сырью, как бы специально предназначенному для мокрого способа производства цемента. Обычно содержание карбоната кальция в меле составляет 98-99% при незначительных примесях SiO₂, Al₂O₃ и MgCO₃.

1.1.3. Мергель. Известняк с примесями кремнезема и глиноземистых веществ, а также оксида железа называют мергелом. Мергели представляют собой переходную ступень к глинам. Благодаря широкому распространению мергели часто служат сырьем для производства цемента.

В геологическом отношении мергели относятся к осадочным породам, образовавшимся при одновременном осаждении карбоната кальция и глинистых веществ. Твердость мергеля ниже твердости известняка; чем больше глинистых веществ содержится в мергеле, тем ниже его твердость.

Иногда в мергеле также содержатся битумные составляющие. Цвет мергеля зависит от глинистых веществ и меняется от желтого до серо-черного. Мергель является прекрасным сырьем для производства цемента, так как представляют собой однородную смесь карбонатной и глинистой составляющих.

Известковый мергель, химический состав которого соответствует составу портландцементной сырьевой смеси, применяется для производства так называемого натурального портландцемента;

Однако месторождения такого сырья встречаются редко. В зависимости от количественного соотношения карбонатного и глинистого компонентов в состав цементной сырьевой смеси входят различные карбонатно - глинистые породы(табл.1.1.) .

Классификация карбонатно-глинистых пород

Таблица 1.1

Порода	Содержание CaCO ₃ , %
Известняк	96-100
Известняк мергелистый	90-96
Мергель известняковый	75-90
Мергель	40-75
Мергель глинистый	10-40
Глина мергелистая	4-10
Глина	0- 4

В (табл.1.2.) приведен химический состав различных известняков и мергелей, применяющихся для производства портландцемента.

Химический состав известняков и мергелей, % .

Таблица 1.2

Компонент	Извест- няк	Извест- няк	Извест- няк	Извест- няк	Мер- гель	Мер- гель	Мер- гель
SiO ₂	3,76	6,75	4,91	4,74	27,98	30,20	21,32
Al ₂ O ₃	1,10	0,71	1,28	2,00	10,87	8,22	4,14
Fe ₂ O ₃	0,66	1,47	0,66	0,36	3,08	4,90	1,64
CaO	52,46	49,80	51,55	51,30	30,12	27,30	39,32
MgO	1,23	1,48	0,63	0,30	1,95	1,02	0,75
K ₂ O	0,18	следы	следы	0,16	0,20	0,12	0,06
Na ₂ O	0,22	следы	следы	0,28	0,33	0,18	0,08
SO ₃	0,01	1,10	0,21	-	0,70	0,37	-
Итого	100,00	99,96	100,00	100,00	99,91	99,90	99,93

1.2. Глинистые породы.

Другим важным сырьем для производства цемента является глина. Глина в основном представляет собой продукт выветривания щелочных и щелочноземельных алюмосиликатов, таких как полевые шпаты и слюды.

Основными компонентами глин являются гидроалюмосиликаты. Глины подразделяются на следующие минеральные группы: группа каолинов $Al_2O_3 \times 2SiO_2 \times 2H_2O$ - каолинит, диккит, накрит, галлуазит; группа монтмориллонитов $Al_2O_3 \times 4SiO_2 \times H_2O + n H_2O$, бейлиллиит $Al_2O_3 \times 3SiO_2 \times n H_2O$, контронит $(Al_2Fe)_2O_2 \times 3SiO_2 \times n H_2O$, сапронит $2MgO \times 3SiO_2 \times n H_2O$; группа группа щелочносодержащих глин - глинистые гидроксиды, включая иллит с различным соотношением K_2O , MgO , Al_2O_3 , SiO_3 , H_2O .

Минералы группы каолинов различаются содержанием SiO_2 , кристаллической структурой и оптическими свойствами. Название "каолинит" применяется для обозначения основного минерала группы. Глинистые минералы имеют тонкозернистую текстуру, размер зерен, как правило, не превышает 2 мкм.

Глинистые материалы имеют следующие удельные поверхности, m^2/g : каолин-около 15, галлуазит- около 43, иллит- около 100, монтмориллонит- около 800.

Объемная масса этих минералов составляет t/m^3 каолина - 2,60-2,68, галлуазита- 2,00-2,20, иллит- 2,76-3,00.

Точка плавления глин различна, имеются глины, в состав которых входит значительное количество химических примесей, например, гидроксид железа, пирит, кварц, карбонат кальция и т.д. Гидроксид железа чаще всего является красящим компонентом глины: различную окраску глинам также могут придавать органические вещества. Глина без примесей

имеет белый цвет. Главным источником появления щелочей в цементах является глинистый компонент сырьевой смеси.

1.3.Корректирующие добавки.

Корректирующие добавки вводят в цементную сырьевую смесь в тех случаях, когда ее химический состав не отвечает установленным требованиям. Так, например, для повышения содержания кремнезема в качестве добавки или корректирующего материала применяют песок, глину с высоким процентом кремнезема, трепел и т.д. При недостатки оксида железа в качестве корректирующего материала применяют колчеданные огарки.

В (табл.1.3.) приведен химический состав некоторых корректирующих материалов.

Химический состав корректирующих добавок, %.

таблица 1.3.

Компонент	Диатомит	Боксит	Колчеданные огарки	Железная руда	Колосниковая пыль	Зола-уноса	Песок
-----------	----------	--------	--------------------	---------------	-------------------	------------	-------

SiO ₂	77,0	16-22	6,6-25	20-25	11-22	26-36	99,2
Al ₂ O ₃	-	-	2-16	3-9	5-14	6,5-9,5	-
Fe ₂ O ₃	9,6	48-58	62-87	45-60	54-69	5-8	0,5
CaO	0,3	10-16	0,7-0,9	0,5-2,5	1-9	42-50	-
MgO	0,9	0,2-1,0	0,2-2	1,5-7	0,5-2,5	3-4	-
SO ₃	-	-	0,8-8	0,3-0,6	0,2-2,5	2,5-3	-
Na ₂ O	1,5	-	-	-	-	0,8-3,5	-
K ₂ O	1,5	-	-	-	-	-	-
Потери при прокаливании	6,2	15-20	-	5-12	5-150	0,2-4,0	0,2

1.4. Дополнительные компоненты сырьевой смеси.

Здесь приведены материалы, содержание которых в цементе ограничивается нормами или опытными данными.

1.4.1. Оксид магния. Оксид магния в количестве около 2% по массе находится в связанном состоянии в основных клинкерных фазах и кроме того, содержится в клинкере в виде свободного MgO (периклаз). Периклаз с водой образует Mg(OH)₂ : $MgO + H_2O = Mg(OH)_2$, однако это реакция протекает очень медленно, когда остальные реакции твердения уже завершены. Поскольку Mg(OH)₂ занимает большой объем, чем MgO, то возникает опасность разрушения цементного камня и появления усадочных трещин (магниева усадка). Постоянство объема портландцемента зависит от размера кристаллов периклаза. Гидратация кристаллов периклаза,

обуславливающая правомерность увеличения объема, протекает медленнее, чем гидратация основных клинкерных минералов. Максимальная крупность кристаллов периклаза не оказывающих отрицательного влияния на цемент около 5-8 мкм. При медленном охлаждении клинкера размеры кристаллов периклаза могут достигать 160 мкм. Установлено, что при содержании в цементе 4% кристаллов периклаза крупностью до 5 мкм, при испытаниях в автоклаве возникает такое же расширение, как при содержании 1 % периклаза размером 50-60 мкм.

Стандарт на цемент США (ASTM) ограничивает расширение портландцемента при автоклавных испытаниях 0,8%. Поэтому, при быстром охлаждении допускается повышенное содержание MgO, в клинкере, в то время как при медленном она должна ограничиваться. При содержании MgO менее 1 % скорость охлаждения клинкера не оказывает заметного влияния на постоянство изменения объема. Предельное содержание MgO в клинкере в стандартах США – 5% , Великобритании – 4% .

В основном MgO содержится в известняке в виде доломита ($\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$). Иногда большое количество MgO содержится также в доменных шлаках. При использовании таких шлаков вместо глины в составе сырьевой смеси необходимо следить за тем, чтобы содержание MgO в клинкере оставалось в допустимых пределах.

1.4.2. Щелочи. Щелочи вносятся с обрабатываемым сырьем-глиной и мергелями, где K_2O , Na_2O содержатся в мелкозернистом полево шпате, включениях слюды и глинистом минерале иллите, небольшая часть щелочей образуется из угольной золы при сжигании твердого топлива. В Средней Европе в составе глин содержится значительно большее количество Na_2O . При обжиге цемента во вращающихся печах часть щелочей улетучивается в зоне спекания и возникает возможность щелочной циркуляции.

Некоторые заполнители для бетона, применяющиеся, например в ряде районов США, Дании, Германии, содержат компоненты, чувствительные к кислотам, например опал (водосодержащий кремнезем), которые вступают в реакцию со щелочами цемента, что при определенных неблагоприятных условиях может привести к неравномерному изменению объема (щелочному вспучиванию). На основе опытных данных для предотвращения щелочного вспучивания в рассматриваемом случае рекомендуют применять цемент с низким содержанием щелочей в пересчете на $\text{Na}_2\text{O}(\text{Na}_2\text{O} + 0,659 \text{ K}_2\text{O}, \% \text{ по массе})$ превышает 0,6 % по массе. С учетом практики других стран в Германии также введено ограничение содержания щелочей, равное 0,6 % по массе в пересчете на Na_2O , однако это ограничение распространяется только на портландцемент. Было установлено, что для шлакопортландцементов можно увеличить предельное содержание щелочей и по этому для цементов с низкой эффективной щелочностью (цемент NA) при количестве шлака до 50% допускается предельное содержание щелочей, равное 0,9% ,а при количестве шлака до 65%- 2% по массе.

В тех случаях, когда требуется цемент NA, а щелочность клинкера, полученного из имеющихся в наличии сырья, превышает допустимые пределы, необходимо удалить часть летучих щелочей путем частичного отвода печных газов перед их поступлением в теплообменник.

Можно отметить, что федеральные нормы США SS-C-192 в Американской ассоциации государственного дорожного строительства AASHTO и нормы ASTM ограничивают щелочность портландцемента величиной 0,6 % в пересчете на Na_2O . Указанные ограничения должны соблюдаться, когда цемент вступает во взаимодействие с заполнителями для бетона, чувствительными к щелочной реакции. Однако из-за трудности разделения цементов с низкой и высокой щелочностью обычно требуют, как это принято во многих районах США, чтобы все цементы соответствовали нормам низкой щелочности.

1.5. Технические и технологические требования к золам, применяемым в бетонах.

В настоящее время к действующим нормативным документам относятся: ГОСТ 25582-83 «Смесь золошлаковая тепловых электростанций для бетона», ГОСТ 25818-83 «Зола-унос тепловых электростанций для бетона. технические условия», ТУ 21-31-45-82 «Зола тепловых электростанций в качестве мелкого заполнителя керамзитобетона марок 35-200 для ограждающих конструкций в них требования к золе, рассматриваемой в основном как мелкий заполнитель для бетона, относятся к величине потери при прокаливании (ППП) в зависимости от вида угля, а также свободной извести и сульфатов.

Продолжительное время PPP отождествлялись с количеством несгоревшего угля. Однако величина PPP отображает изменение массы не только от сгорания остатков угля, но и потерь, вызванных разложением карбонатов и сульфатов. Хотя они не могут быть велики, принимать во внимание при анализе химического состава золы необходимо.

Важным является и вид исходного угля. Если он относится к классу тощих и антрациту, можно принять более высокие величины PPP.

В зависимости от вида исходного угля и вида конструкций предусматривается определенная величина. PPP, например при сжигании антрацита и применение золы в армированных конструкциях по ГОСТ 25592-89 допустимая величина PPP, составляет 15%.

При выборе золы важно учитывать содержание в ней свободной извести и сульфатов. Все нормы ограничивают сульфаты в пересчете на SO_3 тремя процентами исходя из соображений сохранности арматуры в бетоне. Не менее существенно и содержание свободной CaO .

Наличие в золе свободной CaO можно рассматривать с двух точек зрения:

- Во первых, поскольку щелочные компоненты активизируют зольное стекло, наличие свободной извести является положительным фактором, например, для зол горючих сланцев;
- Во вторых, приходится считаться с тем, что для отдельных фракций золы этот показатель изменяется в значительных пределах.

По данным В. Х. Кикаса коэффициент вариации количества свободной CaO доходит для эстонских сланцев до 38,6%, Это значит, что в одной пробе золы

свободной СаО имеется 5-6%, а в другой на порядок выше, т.е. 40-42%. Естественно, что такие колебания будут сильно нарушать технологию и могут приводить к деструкции изделий и конструкций.

Поскольку органические остатки сосредотачиваются в основном в крупных фракциях золы, заслуживает внимание чехословацкий стандарт на золу в котором рекомендуется оценивать качества золы по двум показателям: крупности и величине ППП.

Глава II. Теоретическая и исследовательская часть по применению золошлаковых отходов.

2.1. Проблемы промышленных отходов и основные направления их решения.

Характерной особенностью научно-технического прогресса является увеличение объемов общественного производства. Бурное развитие производительных сил вызывает стремительное вовлечение в хозяйственный оборот всё большего количества природных ресурсов. Степень их рационального использования, однако, весьма низкая. Ежегодно человечество использует приблизительно 10 млрд. тонн минеральных и почти

столько же органических сырьевых продуктов. Разработка большинства важнейших полезных ископаемых в мире идёт быстрее, чем наращивается их разведанные запасы. Около 70% затрат в промышленности приходится на сырьё, материалы, топливо и энергию. В то же время 10-99% исходного сырья превращаются в отходы, сбрасываемые в атмосферу и водоёмы, загрязняющие землю. В угольной промышленности, например, ежегодно образуется примерно 103 млрд.тонн, в крышных и шахтных пород около 80 млн.тонн, отходов углеобогащения. Ежегодно выход шлаков черной металлургия составляет около 80 млн.тонн , цветной 205 млн.тонн, зол и шлаков ТЭС-70 млн.тонн, древесных отходов 40 млн.м³ , торфяных отходов 30 млн. м³ , сланцевых отходов 1 млн.тонн.

Огромное количество промышленных отходов накоплены в отвалах. Так в отвалах предприятий черной металлургии накоплено более 450 млн. тонн шлаков при ежегодном пополнении их на 11-12 млн. тонн., отвалах предприятия по добыче угля и руд для черной металлургии накоплено 11 млн.м³ различных отходов при ежегодном пополнении примерно на 2 млн. м³. Для складирования отходов отчуждаются огромные площади земельных угодий. Зольные отвалы лишь одной крупной тепловой электростанции занимают от 500 до 1000 гектаров земли.

Промышленные отходы активно влияют на экологические факторы, т.е. оказывают существенное влияние на живые организмы. В первую очередь это относится к составу атмосферного воздуха, эдофизическим, гидрохимическим и гидрофизическим факторам. Эдофизические факторы включают химический состав структуру веществ, циркулирующих в почве гидрохимические и гидрофизические- объединяют все факторы, связанные с водой как средой обитания разнообразных живых организмов.

Наиболее разнообразны выбросы промышленных предприятия прежде всего металлургической промышленности. В атмосферу поступают газообразные и твердые отходы в результате сгорания топлива и разнообразных технологических процессов. Например выброс сернистого газа при агломерации 1 тн руды составляет 190 кг., при коксовыми 1 т.угля образуется 300-320 м³ коксового газа, около 6% которого поступает в атмосферу, при получении 1 т. алюминия в атмосферу попадает около 20 кг. фтора. В отходных газах, химических производств содержится углеводороды, сероводород, оксиды азота, сернистый ангидрид, аммиак, хлористые соединения и другие вещества . Содержащихся в отходящих

газах, токсичными являются: сероводород, кислоты, щелочи, нитробензол, фенолы и много других.

Около 80% всей электроэнергии в настоящее время вырабатываются на тепловых электростанциях, использующих твердое топливо. В зависимости от зольности угля крупные ТЭЦ выбрасывают в атмосферу 10-100 тонн золы, которая распространяется в радиусе нескольких километров. Кроме того, из отходящих газов тепловых электростанций ежедневно поступают в атмосферу десятки тонн серного ангидрида.

Источником загрязнения атмосферы разнообразной пылью являются предприятия строительных материалов, горно-обогатительные комбинаты и другие предприятия, технологические процессы которых основаны на дроблении, измельчении и обжига больших количеств минерального клинкера, пыле-вынос их составляет 8-20% сухого сырья. Даже после очистки газо-воздушные выбросы технологических агрегатов цементных заводов содержат 100-150 мг/м³ пыли. Если учесть, что объем отходящих газов из одной вращающейся клинкераобжигательной печи зависит от размеров, вида сырья, топлива и режима обжига колеблется от 40 до 600 тысяч м³. час, то количество выносимой в атмосферу пыли, даже при хорошей работе электрофильтров, достигает 100 кг/час и более.

Рациональное решение проблемы промышленных отходов зависит от ряда факторов: химического состава отходов, их агрегатного состояния, количества, технологических особенностей и т.д. Снижение экономических расходов на перепроизводство, экологического ущерба окружающей природе, обусловленного образованием промышленных отходов, достигается совершенствованием производства и соблюдением технологических дисциплины производства, повышением шламо-хвостохранилищ, обезвреживанием, рациональным захоронением отходов, а также соблюдением требований стандартов и законов об охране природы.

На ряде металлургических предприятий освоена технология регенерации металлов путем переработки шлаков, песков, шламов, золы и т.д. Каждая тонна алюминия, извлеченного из отходов, обходится в девять раз, меди в шесть раз, цинка - в три с половиной и свинца в два с половиной раза дешевле по сравнению с теми же металлами, выплавленным обычным способом из рудного сырья.

При комплексном использовании сырьевых материалов, промышленные отходы одних производств являются сырьевыми материалами для других,

Идея комплексного использования сырьевых материалов логически обусловлена потребностями развития народного хозяйства на современном этапе. Важность комплексного использования сырьевых материалов можно рассматривать в нескольких аспектах:

- Во-первых, утилизация отходов позволяет решать задачи охраны окружающей среды, освободить ценные земельные угодья занимаемые под отвалы и шламохранилища, устранить вредные выбросы в окружающую среду.

- Во-вторых, отходы в значительной степени покрывают потребность ряда перерабатывающих отраслей в сырье, причем во многих случаях высококачественном, подвергнутым в процессе производства технологической обработке (измельчанию, обжигу, гомогенизации). В то же время представляется возможность сбережения от расточительного использования природных ресурсов.

- В-третьих, при комплексном использовании вторичного сырья снижаются удельные капитальные затраты на единицу продукции и уменьшается срок их окупаемости, капитальные расходы на покупку основных средств производства. Снижаются непроизводительные расходы на основном производстве, связанные со складированием отходов, строительством и эксплуатацией хранилищ для них. В то же время уменьшаются затраты на расход тепла и электроэнергии на новую продукцию за счет технологической подготовленности отходов, увеличивается производительность оборудования и труда на одного работающего.

Использование отходов ТЭС имеет большое экономическое и экологическое значение. С точки зрения экономики можно отметить, золошлаковые отходы, которые представляют собой такой же товарный продукт электроэнергия и тепло. В зарубежной практике их называют попутными продуктами сжигания угля. Решения проблемы утилизации золы и шлаков ТЭС в связи с развитием энергетики приобретает все большую актуальность. ЗШО имеют хорошую перспективу для широкого применения с целью ресурсосбережения представляют собой ценное материальное сырье, которое можно использовать в строительстве, сооружения дорог, сельском хозяйстве и частном секторе, т. предприятиях при производстве товаров народного потребления.

В прежние годы в странах СНГ вопросами утилизации ЗШО занимались около 400 научно исследовательских и проектно-конструкторских организаций. Было разработано около 300 различных технологий переработки ЗШО по 23-направлениям, соответствующих мировым стандартам. Однако объемы утилизации золы и топливных шлаков в настоящее время весьма незначительны.

Уровень переработки и использования ЗШО за последние годы, начиная 1990 г., колебался от 3 до 14% от годового выхода золошлаков. Для строительных целей используется около 5% отходов. В то же время в странах Европы используется около 70% золошлаковых отходов теплоэлектростанций (во Франции – 62%, в Германии – 76%), а Китай покупает почти больше половины бытовых отходов в США по 0,75 доллар за 1 кг., тогда как в США эти отходы реализуется своим переработчикам по 0,50 доллар за 1 кг.

Большинство ТЭС, по видимому будут заниматься вопросами утилизации ЗШО, так как это являются перспективным направлением развитие малого и среднего бизнеса. В числе причин низкой степени утилизации золошлаковых отходов в нашей стране называются следующее:

- различный химический и фазовый состав углей разных месторождений.
- неодинаковые условия сжигания угля на разных теплоэлектростанциях.
- сложность решения вопросов погрузки и транспортировки отходов к местам их утилизации.

Подчеркивая актуальность данной проблемы можно отметить следующее:

- В отвалах теплоэлектростанций к настоящему времени накоплено почти 1,5 млрд. тонн золошлаковых отходов, причем электростанции производят в год 40-50 млн.тонн;

-Под отходами крупнейших теплоэлектростанций находятся тысячи гектаров, выведенной из сельскохозяйственного использования земель и угодий;

-Энергетики несут значительные финансовые расходы на содержание золоотвалов, оплату земли, платежи на экологические нужды региона и страны в целом;

- Золошлаковые отходы создают опасность загрождения окружающей среды содержащимся в них токсичными веществами и тяжелыми металлами;

- В зонах воздействия золоотвалов создаются чрезвычайные экологические ситуации из-за пылеобразования, так же вымывания компонентов золы, попадания их в почву и подземные воды;

- При хранении золы в отвалах существует опасность необратимого загрязнения атмосферы, поскольку при сгорании угля в золе остаются радиоизотопы уран-радиевого и ториевого рядов, содержащихся в исходном угле. Они не разбавлены массой углерода, то есть находятся в более концентрированном и более опасном виде. Содержание урана в золе некоторых бурых углей доходит до 1 кг/т.

- Золошлаковые отходы можно использовать в производстве различных бетонов, строительных растворов, керамики, теплоизоляционных материалов дорожном строительстве, где они могут быть использованы взамен песка и цемента, Большое применение находит сухая зола-унос с электрофильтров ТЭС. Но использование таких отходов в хозяйственных целях пока ограничено, в том числе и в связи с их токсичностью. В них накапливается значительное количество опасных элементов. Отвалы постоянно пылят, подвижные формы элементов вымываются осадками, загрязняя воздушный бассейн, воду и почву. Использование таких отходов - одна из наиболее актуальных проблем. Это возможно путем удаления или извлечения из золы вредных и ценных компонентов и использование оставшиеся массы золы в строительной индустрии и производстве удобрений.

Зола-унос может использоваться в качестве сырья в производстве строительных материалов без дополнительной обработки (помола, гомогенизации, просеивания и т.д.). Основными направлениями использования золы-уноса являются следующее:

- Кислые золы, а также основные, с содержанием свободной извести менее 10% могут использоваться в качестве активной минеральной добавки к цементу в количестве 10-15%. Зольные добавки значительно улучшают «марочность» цемента;

- Зола, как продукт сжигания углей с содержанием горючих веществ менее 3-5% используют в производстве газобетона и керамзитобетона в качестве кремнистого компонента, при содержании в золе не более 5% CaO. Например, технология ввода активной золы в количестве 100-200 кг на куб.м. бетона позволяет сэкономить до 100 кг. цемента;

- Для производства кремнезема (сырья для производства алюминия);
- Для производства искусственных пористых заполнителей (керамзитового и аглопоритового гравия);
- В производстве глиняного кирпича в качестве выгорающей добавки, используются зола с высоким содержанием частиц угля. Содержание вводимой золы составляет 15-50% в зависимости от вида глины;
- Золой от сжигания каменных бурых углей, торфа и сланцев содержащие не более 5% частиц несгоревшего топлива, могут широко использоваться в производстве силикатного кирпича в качестве вяжущего при содержании в них менее 20% CaO;
- Сланцевую золу, содержащую более 14% свободной CaO, используют при производстве ячеистых бетонов автоклавного твердения в качестве вяжущего материала;
- В дорожном строительстве, качестве инертного наполнителя в асфальтах, для управления грунтов;
- При выполнении гидротехнических работ т.е. для производства железобетона, приготовления бетонных растворов при строительстве технических сооружений.
- Для очистки слабозагрязненных сточных вод в качестве адсорбента. Зола обладает хорошими адсорбционными свойствами, по составу близка к цеолитам;
- Присутствие в золе значительно количества CaO позволяет применять ее для известкования (понижения кислотности) почв.

Топливные шлаки используют:

- В качестве крупного заполнителя для бетона дорожном строительстве;
- для теплоизоляционных засыпок;
- В производстве отделочной керамической плитки (шлак жидкого удаления). При содержании в смеси до 30% шлаков плитки имеет отличный физико-механические свойства и внешний вид.
- В качестве наполнительного материала (взамен щебня) при изготовлении шлакоблочных изделий для гражданского и технического строительства.

- В качестве покрытия плаца на полигонах для техники и боевого оружия.

Использование золошлаковых отходов по указанным направлениям является не только экономически выгодным, вследствие сокращения потребления гипсового камня, песка, цемента, извести, топлива, но и позволяет повысить качество изделий. Необходимо убедить рынок в том, качество продукции, с использованием золошлаковых отходов сопоставимо со свойствами традиционных природных материалов или даже превосходит их по некоторым показателям.

2.2. Характеристика золошлаковых отходов теплоэлектростанций.

При сгорании органической части углей образуется летучие соединения в виде дыма и пара, а негорючая минеральная часть топлива выделяется в виде твердых остатков, образуя пылевидную массу (золу), а также кусковые шлаки. Количество твердых остатков для каменных и бурых углей колеблется от 15 до 40%. Уголь перед сжиганием измельчается и в него, для лучшего сгорания, часто добавляют в небольшом (0.1-2%) количестве мазут. На обследованных ТЭЦ сжигание углей происходит при температуре 1100-1600°C.

При сгорании измельченного топлива мелкие и легкие частицы золы уносятся с дымовыми газами, и они имеют название золы-уноса. Размер частиц золы-уноса колеблется от 3-5 до 100-150 мкм. Количество более крупных частиц обычно не превышает 10-15%. Улавливается зола-унос золоуловителями в электрофильтрах, на скруберах с трубами внутри, соответственно при сухом и мокром способе улавливания их. Более тяжелые частицы золы оседают и сплавляются в кусковые шлаки, представляющие собой агрессивные и сплавившиеся частицы золы размером 0,15 до 30 мм. Шлаки размельчаются и удаляются водой. Зола –унос и размельченный шлак удаляются вначале отдельно, потом смешиваются, образуя золошлаковую смесь .

В составе золошлаковой смеси кроме золы и шлака присутствуют частицы несгоревшего топлива (недожог), количество составляет 10-15%. Количество золы- уноса, независимо от типа котлов, вида топлива и режима его сжигания может составлять 70-85% от массы смеси, шлаки 10-20%. Золошлаковая пульпа удаляется на золоотвал по трубопроводам. Зола и шлак при гидротранспорте на отвале взаимодействуют с водой и углекислотой воздуха, в них происходят процессы образования окислов и

сульфатов. Некоторые компоненты золошлаковых отходов быстро поддаются выветриванию и осушению при скорости ветра 3 м/сек. начинают пылить.

Усредненный химический состав золошлаковых отходов ТЭЦ приведен в таблице 2.1.

**Пределы среднего содержания основных компонентов
Золошлаковых отходов.**

Таблица 2.1.

Компонент	Среднее содержания %		компонент	Среднее содержание	
	от-до	среднее		от-до	среднее
SiO ₂	51-60	54.5	CaO	3.7-7.3	4.3
TiO ₂	05-0.9	0.75	Na ₂ O	0.2-0.6	0.34
Al ₂ O ₃	16-22	19.4	K ₂ O ₂	0.7-2.2	1.56
Fe ₂ O ₃	5.0-8.0	6.6	SO ₃	0.09-0.2	0.14
MnO	0.1-0.3	0.14	P ₂ O ₅	0.1-0.4	0.24
MgO	1.1-2.1	1.64	остальное	5.8-18.8	10.6

Зола ТЭЦ использующих каменный уголь по сравнению с золами ТЭЦ использующих бурый уголь, отличаются повышенным содержанием SO₃ и количеством остатка, пониженным содержанием оксидов кремния, титана, железа, магния, натрия и пониженным – окислов серы, фосфора, сульфатов, сульфидов, хлоридов т.д. В целом зола высококремнистая, с достаточно высоким содержанием алюминатов.

Основным компонентом золы- уноса является стекловидная алюмосиликатная фаза, составляющая 40-65% всей массы и имеющая вид частиц шарообразной формы размером до 100 мкм. Из кристаллических фаз в золах могут присутствовать, муллит, а при повышении Fe₂O₃ также гематит. Количественное соотношение между кварцем и муллитом определяется соотношением SiO₂/ Al₂O₃. С увеличением последнего содержание кварца в кристаллической фазе возрастает активность зол по погашению извести. Зола, обогащенная оксидами железа, более легкоплавка, в ней образуется больше стекла.

Стекло в золах можно рассматривать как материал, содержащий аморфиты – образования, близкие по составу и структуре к соответствующим кристаллическим фазам, но с высокой удельной поверхностью, и неупорядоченные глиноземистое- кремнеземистые прослойки между ними.

Топливные шлаки представляют собой механическую смесь зерен размером 0,14-20 мм. Химический состав топливных шлаков как и зол может изменяться в широком диапазоне . – от сверх кислых ($M_o < 0.1$) до основных ($M_o > 1$).

Многие топливные шлаки характеризуется значительными количеством оксидов железа, содержащихся преимущественно в закисной форме. Содержание стекловидной фазы составляет 85-98%, а у основных шлаков может быть значительно ниже в кристаллической фазе возможно наличие муллита, галенита, псевдоволластонита, двух кальциевого силиката и др. минералов.

2.3. Вяжущие материалы на основе золошлаковых отходов

Химико-минералогический состав и гидравлическая активность топливных зол и шлаков позволяют широко применять их для производства вяжущих материалов. Золошлаковые отходы можно использовать в составе без клинкерных вяжущих и в композиции с цементным клинкером как активную минеральную добавку, а также в качестве сырьевого компонента для получения цементного клинкера.

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

Из безклинкерных зольных вяжущих наиболее известен известковозольный цемент-гидравлическое вяжущее, получаемое совместному помолу и тщательным смещением измельченных отдельно золы и извести. В золе количество несгоревшего топлива должно быть минимальным, содержание SO_3 не должно превышать 3%, пережженных CaO и , MgO вызывающих неравномерность изменения объема вяжущего,-

5%. Известь обычно применяют гашенную, хотя накоплен опыт применения и негашеной извести. Состав известково-зольных цементов зависит от содержания в золе активного оксида кальция и минералов, способных к гидратации. Оптимальное их содержание в этих вяжущих составляет 10-40%, уменьшаясь по мере увеличения в золе содержания свободного оксида кальция и активных минералов.

Разновидностями известково-зольного цемента является ТЭЦ- цемент и торфозольный цемент получаемые при сжигании каменного угля или торфа, предварительно измельченных вместе с известняком. При этом в танках происходят следующие процессы выгорания органических соединений; дегидратация и аморфизация глинистого вещества зольной составляющей топлива с частичным ее оплавлением; диссоциация кальцита с образованием тонкодисперсного активного оксида кальция и взаимодействием ее с кислотными оксидами золы топлива. Процессе взаимодействия должен быть как можно более полным. Значительное количество свободного пережженного оксида кальция вызывает неравномерность изменения объема.

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

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

Ориентировочную оценку пригодности золошлаковых отходов как компонентов сырьевой смеси определяют по значению условного силикатного модуля $n_y = SiO_2 / 1.77 Al_2O_3$ который должен быть менее 1,9, более высокие технико-экономические показатели производства клинкера достигаются при использовании сухих зол пневмоудаления, ценным для цементной промышленности являются присутствие в составе зол остатков

несгоревшего – топлива, содержание которого в среднем составляет около 10%. Это значит, что при использовании 1 млн тонн золы в качестве сырьевого компонента цементная промышленность получить дополнительно 100 тыс. тонн топлива.

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

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

С увеличением содержания золы водопотребность цементов возрастает, но в меньшей степени, чем при других пуццолановых добавках. Характерно, что увеличение дисперсности золы не вызывает повышения водопотребности зольных портландцементов, а наоборот, оказывает некоторое пластифицирующее действие. Вследствие сравнительно небольшой гидравлической активности золы, применение зольных цементов значительно снижает тепловыделение в бетоне, что является существенным фактором при использовании его в массивных сооружениях. Экспериментально установлено, что золы любого типа повышает сульфатостойкость растворов и бетонов, особенно при использовании клинкера с высоким содержанием C_3A_n .

Экономический эффект по приведенным затратам на 1 тонну золы применяемой в качестве добавки при помоле цементного клинкера, составляет 4,2-6 руб.

В результате исследований, выполненных сотрудниками Московского инженерно-строительного института им. В.В.Куйбышева, предложена технология производства портландцемента с введением в качестве активной добавки топливных гранулированных шлаков. Установлено, что наибольшей гидравлической активностью обладают шлаки с модулем основности 0,6-1 и модулем активности 0,4-0,6. Физико-механические свойства шлако-портландцемента на топливных и доменных гранулированных шлаках

отличаются незначительно. Замена доменных шлаков гранулированными топливными заводами, расположенных ближе теплоэлектростанции и оборудованных устройствами с жидким шлакоудалением. Оптимальное содержание топливного гранулированного шлака в цементах твердеющих при пропаривании, составляют около 40%. а при автоклавной обработке оно увеличивается в два раза. Бетоны на шлако-портландцементе с топливным гранулированным шлаком могут успешно применяться в производстве сборных железобетонных конструкций, промышленном и гражданском строительстве, строительстве массивных гидротехнических сооружений.

Зола теплоэлектростанций являются неорганическими искусственными материалами, обладающими гидравлическими свойствами, и поэтому относятся к числу активных минеральных добавок. При смешивании в тонкоизмельченном виде с гидратной известью золы при затворении водой образуют тесто, способное после предварительного твердения на воздухе продолжать твердеть и под водой. Искусственные минеральные добавки широко применяют в качестве частичной замены глинистого компонента в составе сырьевой смеси, а также для производства шлакопортландцемента и портландцемента с минеральными добавками. Использование золы в качестве замены глинистого компонента в сырьевой смеси позволяет увеличить производительность цементных печей и сократить расход топлива на 15-18%, так как снижается влажность сырьевой смеси и не приходится расходовать теплоту на декарбонизацию известняка, содержащего в золах и шлаках.

В таблице 2.2 представлены некоторые виды цемента и массовая доля в них компонентов, содержащий золу теплоэлектростанций.

Таблица 2.2

Тип цемента	Наименование	обозначение	В процентах по массе					
			Основные компоненты					дополнительные компоненты
			клинкер	доменный гранулированный шлак	пуццолана	зола унос	известняк	
1	Портландцемент с добавкой золы уноса	ПЦЦ-3	80-94	-	-	6-20	-	1-5
2	Известково зольный портландцемент	ПЦЦ/А-К	80-94	-	-	6-20		
		ПЦЦ/БК	65-79	-	-	21-35		
3	Пуццолановый	ПЦЦ IV/A	65-79	-	21-35		-	0-5

	Цемент	ПЩЦ Г/Б	45-64	-	26-35	-	0-5
4	Композиционный цемент	КЦ Г/А	40-64	18-14	10-20	-	0-5
		КЦ Г/Б	20-39	41-60	20-40	-	0-5

Требования к золам тепловых электростанций.

Таблица 2.3

компонент	топлива	Содержание в % по массе для применения в кач-ве		
		самостоятельного вяжущего	компонента вяжущего	Заполнителя
Оксид кальция	Сланцы	боллего	не нормируется	Не более 5
	Бурые,каменные угли и антрацит	-	не нормируется	
Сера	Все види	Не более 3	Не более 3	Не более 3
Несгораемое топлива	Бурые угли	-	Не более 5	Не более 8
	Каменные угли	-	Не более 8	Не более 12
	Антрацит	-	Не более 15	Не более 20
Стекловидные оплавленные частиц	Бурые угли	-	Не менее 50	Не менее 50
	Каменные угли	-	Не менее 50	Не менее 50
	Антрацит	-	Не менее 50	Не менее 50

* Высококальцевые золы могут применяться в производстве силикатного кирпича при условии предварительной их автоклавной обработки.

2.4 Заполнители из топливных зол и шлаков.

Золошлаковое сырье может применяться для изготовления заполнителей как в тяжелых, так и в лёгких бетона. Заполнителями для лёгких бетонов служат шлаки от сжигания антрацита, каменного и бурого углей, торфа и сланцев .

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

По зерновому составу шлак представляет собой механическую смесь зерн крупностью 0,14-30 мм с отдельными включениями.

В таблице 2.4 представлена наименование отходов теплоэлектростанций, используемых для производства заполнителей для бетонов.

Сырье для производства заполнителей

Таблица 2.4

сырье	характеристика	вспучиваемость	Производства
Золо-унос ТЭС	Тонкодисперсный сухой продукт пылеугольного сжигания топлива	Спекается или выпучивается при быстром нагревания	Аглопоритовый гравий, щебень, золный гравий глинозольный керамзит
Золошлаковая смес отвалов	Смесь золы и шлака гидроудаления		

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

Экономическая эффективность производства заполнителей на основе золошлаковых отходов теплоэлектростанций приведены в таблице 2.5

Таблица 2.5

Заполнитель	Приведенные затраты, руб/м ³	Экономия (+)или перерасход (-)*
Гравий: аглопоритовый	5,91	+2,61
Зольный	9,85	-1,33
Безобжиговый	6,01	+2,51
Глиноземный керамзит при плотности, кг/м ³		
Р ₀ =450	6,37	+2,12
Р ₀ =600	7,91	+0,61

* По сравнению с керамзитовым гравием

Вредными компонентами шлаков ,вызывающими при повышенным количестве разрушение бетона, является сульфаты и сульфиды. Общие содержания сернокислых и сернистых соединений в пересчете SO_3 в топливных не должно превышать 3% массы, в том числе не более 1% водорастворимых сульфатов и 1% сульфидов. Недопустимо также присутствие в шлаках теплоэлектростанций свободного оксида кальция, гашение которого в затвердевшем бетоне может послужить причиной его разрушения. Насыпная плотность топливных шлаков составляет 600-1000 кг/м³, средняя плотность зерен 1500-2000 кг/м³. Пористость шлаков обычно колеблется от 40 до 60 %, морозостойкость достигает до 50 циклов и более, Оптимальную структуру и физико-механические свойства имеют антрацитовые шлаки, буроугольные менее применимы.

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

Мелкий заполнитель в тяжелых и легких бетонах частично или полностью может быть заменен золой. При изготовлении конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов классов В 2,5- В 7,5 зола, используемая в качестве песка, должна иметь насыпную плотность до 1100 кг/м³ и включить зерна размером 0,14 мм в количестве не более 90% массы. Содержание коксовых остатков в золе, полученной при сжигании каменного угля и антрацита, должно быть не более 12%, бурых углей – не более 5%.

Золобетоны можно получать с широким диапазоном свойств: по прочности на сжатие легких ($P_0 < 1000$ кг/м³) до тяжелых ($P_0 = 1800 - 2000$ кг/м³)

Их получают как на портландцементе так и безклинкерных вяжущих в условиях обычного и автоклавного твердения, плотный золобетон характеризуется высокими значениями прочности на изгиб и деформативных характеристик. Значения средней плотности и модуля упругости для характерных марок плотного золобетона данные в таблице 2.6

Прочностные характеристики золобетона

Таблица 2.6

Марка по прочности на сжатие кгс/см (10 ⁻¹ МПа)	Средняя плотность кг/м ³	Модуль упругости МПа
--	-------------------------------------	----------------------

25	1150-1500	-
35	1200-1550	$3.0 \cdot 10^3$
50	1250-1600	$3.5 \cdot 10^3$
75	1350-1700	$5.5 \cdot 10^3$
100	1450-1800	$7.5 \cdot 10^3$
150	1650-1900	-
200	1850-2000	$1.0 \cdot 10^4$

Более широкое применение находит зола в производстве керамзитобетонов. Для обеспечения плотной структуры этих материалов в песчаной фракции должно содержаться 40-50% по массе размером менее 0,15 мм, связи с дефицитом керамзитового пека многие заводы при изготовлении конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов применяют обычный кварцевый песок, что приводит утяжелению керамзитобетонов до 1400-1600 кг/м³ и соответственно к снижению термического сопротивления стен. Применение золы в керамзитобетонах в количестве 180-200 кг/м³, а для одно фракционного керамзита и в больших количествах улучшает технологические свойства легкобетонных смесей и способствует получению структуры бетона без межзерновых пустот.

Полная замена мелкого заполнителя золой наиболее целесообразна в конструктивно-теплоизоляционных легких бетонах. Оптимальной содержания золы в керамзитобетоне составляет 300-400 кг/м³. Дальнейшее увеличение ее содержания повышает среднюю плотность легкого бетона при изготовлении легких конструктивных бетонов добавка золы в количестве до 0,1 м³ на 1 м³ бетона может служить микрозаполнителем. Установлено, что использование в легких бетонах 1 тонны золы экономит 5-10 руб.

Возможно применение в качестве заполнителя бетонов и золошлаковой смеси отвалов теплоэлектростанций. При прочих равных условиях средняя плотность бетона на золошлаковой смеси на 130-0-150 кг/м³ меньше, чем граничном щебени. Для бетона на золошлаковой смеси, полученной при сжигании донецких углей, характерны следующие физико-механические свойства: Прочность при сжатии до 35 МПа; растяжении -2,3 МПа; модуль упругости – 24,1 МПа; морозостойкость -150 циклов; усадка 0,6-0,7 мм/м.

Аглопорит. Топливные шлаки и золы являются так же сырьем для производства – искусственного пористого заполнителя. Это обусловлено, во первых, способностью золошлакового сырья также, как глинистых пород и других алюмосиликатных материалов, спекаться на решетках агломерационных машин; во- вторых, содержанием в нем остатков топлива, достаточных для процесса агломерации. При использовании обычной технологии аглопорит получают в виде щебня и песка. Из зол теплоэлектростанций можно получать также аглопоритовый гравий , имеющий высокие технико-экономические показатели. Технология получения искусственных пористых заполнителей методом агломерации состоит из следующих основных операций: подготовка компонентов смеси; приготовления шихты (гранул); термической обработки на агломерационной решетке, дробления (при производстве аглопоритового щебня); сортировки готового продукта.

При производстве аглопоритового щебня золу увлажняют связующей добавкой, в качестве которой берут глиняный шликер или раствор технического лигносульфоната. Полученную шихту подают в гранулятор, где она доводится до влажности 20-25% и окомковывается.

В настоящее время разработана и применяются технология производства аглопоритового гравия из золы теплоэлектростанций, особенность которой в том, что в результате агломерации сырья образуется не спекшийся корж, а обожженные гранулы. Сущность технологии производства аглопоритового гравия заключается в получении сырцовых зольных гранул крупностью 10-20 мм, укладке их на колосники толщиной 200-300 мм ленточной агломерационной машины и термической обработке. Горн агломерационной машины состоит из двух секций – подсушки и зажигания. Слой гранул сначала подсушивается и подогревается, а затем производится зажигание и обжиг, Благодаря высокой газопроницаемости шихты, сквозь слой просасывается большое количество воздуха, в результате чего создается окислительная среда и гранулы между собой не спекаются. Аглопоритовый гравий рассеивают на фракции , образующиеся иногда спеки дробят, а затем уже рассеивают на фракции. Разработанной технологией предусматривается возможность использования сухой золы.

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

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

Расчеты показывают, что замена 1 млн.м³ привозного природного щебня аглопоритивным гравием из золы местной тепловых электростанции, только за счет сокращения транспортных расходов при перевозках на расстояние- 1000 км, дает экономию около 2 млн. руб. Применение аглопорита на основе зол и шлаков тепловых электростанции позволяет получать легкие бетоны классов В 3,5-В 30 средней плотностью 900-1800 кг/ м³ при расходе цемента 200-400 кг/ м³.

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

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

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

Золы пригодные для производства глинозольного керамзита, содержат $SiO_2=33-57\%$ и $Al_2O_3=14-37\%$. С увеличением содержания золы и ее удельной поверхности возрастает прочность. Дисперсность золы должна составить не менее 1000 см²/г, содержание угля не более 10%, СаО не более- 10%, сернистых и сернокислых соединений – не более 5%. Максимальная температура плавления золы равна 1380°С.

Максимально допустимое содержание остатков топлива в золе пригодной для производства глинозольного керамзита, не должно

превышать 17%. При избыточном количестве углерода гранулы оплавляются и качество заполнителя ухудшается. Насыпная плотность глинозольного керамзита оставляет 400-700 кг/м³, прочность при сдавливании -10-21 кгс/см², морозостойкость - более 15 циклов.

Золу теплоэлектростанций при производстве глинозольного керамзита используют в качестве добавки, вводимой в глину (количестве 10-30%), и в качестве добавки, снижающей насыпную плотность керамзита, используют в первую очередь золы с содержанием оксидов железа 12-20%, оксидов алюминия 20-35%, при этом удельная поверхность золы должна находиться в пределах 1000-3000 см²/г. Если же зола служит компонентом сырьевой смеси, то содержание отдельных оксидов может изменяться в более широких пределах.

Максимально допустимое содержание остатков топлива в золе, используемой в производстве глинозольного керамзита, не должно превышать 17%, при этом предпочтение отдают золам из отвалов гидроудаления, т.к. при применении сухой золы-уноса не удаётся достичь требуемой однородности глинозольной шихты даже при интенсивном и длительном перемешивании.

Технологическая схема производства глинозольного керамзита принципиально не отличается от схемы производства керамзита. Основная ее особенность помимо усреднения золы - более тщательная подготовка сырьевой смеси. Сначала смесь перемешивают в глиномешалке с пароувлажнением, затем в другой глиномешалке без пароувлажнения, а затем в дырчатых вальцах. При этом глинистый компонент предварительно обрабатывают в вальцах тонкого помола. Исследования НИИ керамзита показали, что введение в глинистую шихту золы теплоэлектростанций позволяет снизить насыпную плотность керамзита на одну-две марки. Влияние количества вводимой золы на прочность глинозольного цемента показывают следующие данные:

Количество золы, % по массе сухой шихты	0	30	50	70
Насыпная плотность, кг/м ³	400	406	413	440
Прочность, Мпа	1,7	2,3	3,1	3,4

Производство глинозольного керамзита экономически выгодно, так как стоимости природного сырья и наличие в ней остаточного топлива обеспечивает снижение общего расхода теплоты на обжиг.

Зольным гравием называют искусственный пористый наполнитель с зернами округлой формы, получаемый обжигом сырцовых гранул золы-уноса сухого или гидроудаления в коротких прямоточных вращающихся печах. В качестве добавок используют глину (для улучшения грануляции), пиритные огарки (для снижения температуры размягчения) и кварцевый песок (для повышения прочностных показателей продукта).

Зола должна содержать не более 10% несгоревших углистых частиц, не менее 7% оксидов кальция и магния. При более высоком содержании несгоревших остатков угля в золу добавляют глину.

Для изготовления зольного гравия золошлаковая смесь отбирается из отвала гидрозолоудаления теплоэлектростанций. Мокрой она поступает в ящичный подаватель, оттуда - в сушильный барабан, через который пропускают отходящие от вращающейся печи газы.

Высушенная золошлаковая смесь транспортируется в шаровую мельницу, где измельчается до нужной дисперсности, после чего подается на тарельчатый гранулятор. В нем она непрерывно смачивается водой и закатывается в гранулы требуемого размера. Размеры шариков, в которые агрегируются смоченные частицы во время перемещения во вращающейся тарелке, зависят от угла наклона гранулятора и скорости вращения. Для большего упрочнения зольные гранулы пропускают через сушильный барабан, откуда они поступают в прямоточную вращающуюся печь, где спекаются и вспучиваются при температуре 1150-1200⁰С. Затем полученная масса охлаждается, сортируется на фракции и поступает на склад готовый продукции.

Насыпная плотность и прочность зольного гравия, полученного гранулированием зол теплоэлектростанций с последующим спеканием и вспучиванием гранул, представлены в таблице 2.7.

Свойства зольного гравия.

Таблица 2.7

Виды зольного гравия	Насыпная плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
----------------------	---------------------------------------	----------------------------------

Гравий на каменном угле	500-800	3,7-4,0
Гравий на антраците	400-800	3,0-17,5
Гравий на буром угле	400-700	2,3-7,5
Гравий на горячем сланце	500-700	2,5-10,6

Зольный гравий не должен содержать включений свободной извести. Потери по массе при прокаливании допускается не выше 5%, а после 15 циклов попеременного замораживания и оттаивания потери по массе не должны превышать 10%. Максимальная отпускная влажность 5%. В сортовом зольном гравии не должно быть больше 5% дробленных кусков.

Зольный гравий получают гранулированием подготовленной золошлаковой смеси или золы-уноса теплоэлектростанций с последующим спеканием и вспучиванием во вращающийся печи при температуре 1150-1250°C. Подготовка золошлаковой смеси включает сушку ее в сушильном барабане отходящими газами печи и измельчение в шаровой мельнице до удельной поверхности 2500-3000 см²/г. Для получения гранулируемой смеси вводят добавку пластичной глины. Смесь гранулируют, смачивая ее водным раствором технических мегносульфонов. До поступления в печь гранулы подсушивают для упрочнения в сушильном барабане

В исходном сырье содержание Fe₂O₃ должно быть не менее 7%, (CaO+MgO)-не более 8%. При содержании в золе более 3% остатков топлива процесс вспучивания гравия позволяет получать заполнитель состоящий в основном из 60% гранул размером 10-20 мм и около 30 % фракции 20-40 мм. Основные показатели свойств зольного гравия по сравнению с аглопоритовым приведены в таблице 2.8.

Сравнительные характеристики пористых заполнителей

Таблица 2.8

Показатель	Зольный гравий фракции, мм		Аглопоритовый гравий фракций, мм.		Безобжиговый зольный гравий фракций 5-30 мм
	5-10	10-20	5-10	10-20	
Насыпная плотность кг/м ³	280	278	760	740	950
Плотность зерен, кг/м ³	415	435	1400	1320	1800

Водопоглощение за 48 часов по массе, %	17	13,8	17	18	7
Прочность цилиндра, МПа	0,62	0,55	3,5	3	5

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

Гравийные зольные заполнители можно получать и без обжига, применяя различных вяжущие вещества.

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

Золощелочное вяжущее. Возможность использования дисперсных зол-уноса в качестве алюмосиликатного компонента щелочных вяжущих была установлена в работах В.Д. Глуховского на основе щелочных компонентов –едких натра и калия – получены вяжущие активностью до 50 МПа. Высокая стоимость и дефицитность технических едких щелочей препятствует внедрению этих вяжущих в производство.

Для получения золощелочных вяжущих из более доступных щелочных компонентов (соде, содовом плеве, жидких стеклах) П.В. Кривенко, Р.Ф. Руновой, Е.К.Пушкаревой были предложены способы, включающие совместный помол зол и золошлаковых смесей с известью или металлургическими шлаками и портландцементным клинкером, При затворении раствором щелочного компонента эти добавки образуют едкий натр, обеспечивающий гидратацию и твердение золы.

Однако несмотря на использование готового дисперсного продукта-золы-уноса, для изготовления таких вяжущих необходим помол смеси компонентов, что во многих случаях ограничивает возможности их внедрения в производство.

Проведены исследования щелочных вяжущих на основе алюмосиликатных отходов: золы-уноса, отходов минеральной ваты (плавленого базальта) и ваграночных гранулированных шлаков. С целью увеличения основности алюмосиликатного компонента и повышения активности вяжущего в некоторые его составы вводили добавки извести и цементного клинкера. Результаты определения активности золощелочных вяжущих по данным Л.И.Дворкина и А.В.Мироненко приведены в таблице 2.9.

Активность вяжущих на содовом плаве или **содосульфитной** смеси может быть значительно увеличена путём специальной обработки щелочного затворителя-каустификации. Каустифицированный содовой плав или каустифицированную содосульфатную смесь получают следующим образом: вначале в подготовленном баке-реакторе растворяют содовой плав (или сульфатную смесь), затем в этот раствор вводят комовую или молотую негашеную известь при постоянном перемешивании до получения однородной суспензии. Сущность процесса каустификации состоит в получении едкого натра из соды или сульфата натрия и извести в результате соответствующих химических реакций.

Таблица 2.9

Расход компонентов				Активность вяжущих	
Щелочный компонент		добав		После пропаривания	После 28 сут. Нормального отверждения
Наименование	Расход кг/м ³	Нименован.	Расход кг/м ³		
Единый центр	1300	-	-	42,0	40,6
Единый центр	1200	-	-	14,0	13,7
Метасиликат натрия	1250	-	-	8,7	-

Метасиликат натрия	1250	известь	30	32,1	17,7
Дисиликат натрия	1300	-	-	6,7	-
Содовый плав	1200	известь	100	21,2	10,3
Содосульфатная	1200	известь	100	19,7	10,3

Примечание: расход всех щелочных затворителей принять равным 150 л/м³

Золощелочные вяжущие можно использовать для изготовления тяжелых, легких и ячеистых бетонов. Прочность бетонов возрастает по мере увеличения содержания извести и солей щелочных металлов в вяжущем (до 14%) и снижения водозольного отношения. Прочность образцов достигает 40 МПа и более и в дальнейшем повышается при водном хранении.

Золощелочные бетоны обладают достаточно высокой стойкостью к различным видам химической коррозии в водной среде.

Рациональная область применения бесклинкерных шлакозольных, вяжущих, - бетоны твердеющие при пропаривании и в условиях автоклавной обработки. Из таких бетонов изготавливают стеновые, фундаментные блоки, конструкции для различных элементов зданий и сооружений. Их можно применять также при возведении подземных и подводных сооружений, подвергающихся воздействию пресных и сульфатных вод. Шлакозольные вяжущие, твердеющие при нормальных температурах можно использовать в растворах для кладки и штукатурки, а также в низкомарочных бетонах. Этот вид вяжущих не рекомендуется применять при пониженной температуре окружающей среды в конструкциях подвергающихся высыханию и увлажнению, многократному замерзанию и оттаиванию.

2.5. Классификация зол и шлаков теплоэлектростанций.

С целью выбора рационального направления использования золошлаковых отходов, 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.

По виду сжигаемого топлива различают золы: антрацитовые, каменноугольные и буроугольные. В зависимости от области применения золы делят на (1-для железобетонных конструкций и изделий, 2-для бетонных конструкций и изделий, 3-для конструкций гидротехнических сооружений и классы (А-для тяжелого бетона, Б-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 см²/г; класса Б – 1500-4000 см²/г. Остаток на сите № 008 (размер отверстий 0,08 мм) для золы класса А должен быть не более 15% по массе.

В зависимости от условий применения золошлаковые смеси, используемые в качестве заполнителей в бетоне, делят на классы (ГОСТ 25592-83) «Смесь золошлаковая теплоэлектростанций для бетона».

Технические условия:

А – для тяжелого бетона;

Б – для легкого бетона.

и виды:

I - для железобетонных конструкций;

II - для бетонных конструкций;

III- для конструкций гидротехнических сооружений;

Основным показателем для классификации является зерновой состав смесей. Золошлаковые смеси классов А и Б должны иметь соответственно влажность более 15 и 35% по массе. Насыпная плотность смесей класса А должна быть не менее 1300 кг/м³. Нормируется также содержание органических остатков, сернистых примесей и SiO₂. суммарное содержание (SiO₂+MgO) не должно превышать 10% в зольной части и 1%-вшлаковой. Разделение смеси на зольную и шлаковую части производится просеиванием смеси через сито с размером отверстий 0.16 мм.

Золы и шлаки с высоким содержанием SiO₂+MgO целесообразно использовать, в первую очередь, в качестве сырья для производства вяжущих веществ, а низкокальцевые – 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 теплоэлектростанций 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.

- амморфизационное вещество неорганической части топлива.

- Наиболее активная составляющая зол и шлаков-стекло. Амморфизованное 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.

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 содержания 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-золных цементов состоящих из извести, золы и активных минеральных добавок.

В зависимости от дисперсности, характеризуемой удельной поверхностью зол- унос подразделяется на 3 вида представленные в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Вид	Применение	Удельная поверхность, см ² /г
I	(А и Б)-для железобетонных конструкций	2000
II	(А и Б)-для бетонных конструкций и изделий	2000-3000
III	А-для тяжелого бетона	2800-4000

	Б-для легкого бетона	1500-4000
--	----------------------	-----------

В таблице 2.11 приведено содержание аналитически определяемых оксидов (6%) в золе-уносе, пригодной для использования качестве минеральных добавок в бетон.

Таблица 2.11

Наименование	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
Зола от сжигания антрацишани битуминозных углей	48	28	9	4	2	1
Зола от сжигания бурых или битуминозных углей	38	22	4	24	5	3

Допускается содержание в золе свободного оксида кальция или оксида магния в количествах, превышающих указанные в таблице, если обеспечивается равномерность изменения объема образцов при испытании их в автоклаве.

Насыпная плотность зол в сухом состоянии не должна превышать 1000 кг/м³. При соответствующем обосновании допускается применение золы с насыпной плотностью, превышающей указанную на 10%.

Зерновой состав зол должна соответствовать следующим требованиям:

-для конструкционной- теплоизоляционного бетона содержание зерен крупнее 5 мм не должна превышать 5%, а зерен размеров 0,14мм –не более 90% по объему;

-для конструкционного бетона 10 и 70% соответственно.

Содержание в каменноугольных золах остатков несгоревшего топлива, определяемое по потерям в массе при прокаливании, допускается в количестве не более 25%, а в бурогольных золах – не более 5%. Наличие водорастворимых сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO₃ в золах, применяемых для армированных керамзитобетонов, не превышает 1% по массе. Количество мелкого заполнителя – золы, определяется при подборе состава бетона.

Золы теплоэлектростанций делятся на основные содержащие до 40% $MgO+CaO$, в том числе 5-20% свободного CaO , и кислые, содержащие более 45% SiO_2 .

Зерновой состав золошлаковой смеси должен отвечать требованиям, приведенным в таблице 2.12 .

Таблица 2.12

	Значение показателя для классов	
	А	Б
Содержание шлака, % по массе	Не менее 50	до 20
Содержание зерен золошлака, проходящих через ситов № 0315, по массе смеси вида		
I	20-30	50-100
II	20-50	50-100
Содержание зерен размером более 5мм, % по массе не более	Не нормируется	15
Максимальный размер зерен шлака, мм по массе	40	20
Удельная поверхность см %	Не нормируется	1500-4000

Значения потери массы при прокаливании для различных видов золошлаковых смесей не должны превышать показателей, представленных в таблице 2.13.

Таблица 2.13

класс	вид	Потеря массы при прокаливании, % по массе
-------	-----	---

		Антрацитовая	каменноугольная	бурая
А	І	5	3	2
	ІІ	10	5	2
Б	І	15	7	5
	ІІ	20	10	5

По соглашению сторон допускается большее значение потери массы при прокаливании.

Золошлаковые смеси теплоэлектростанций для производства зольного гравия должны соответствовать следующим требованиям :

- Дисперсность золы (остаток на сите 0,22мм) не более 5%;
- Содержание несгоревших части не более 10%;
- Содержание оксидов железа не более 10%;
- Содержание оксидов кальция и магния не более 5%;
- Влажность исходной золошлаковой смеси не более 10%

Требования к золошлаковым смесям теплоэлектростанций, применяемым в производстве глинозольного керамзита следующие :

- Содержание шлаковых включений не более 5мм не допускается
- Дисперсность золы, не менее 1000см²/г;
- Содержание несгоревших частиц не более -15%;
- Содержание СаО не более -10%;
- Содержание сернистых соединений не более 5%;
- Плавность золы, не выше 1380⁰ С

Основным критерием, определяющим способность золы и шлака проявлять вяжущие свойства, является наличие кальция в свободном или связанном виде.

Наряду с этим используется следующие критерии:

-Модуль основности (гидросиликатный модуль) M_o , который представляет собой отношение суммы основных оксидов к сумме кислотных оксидов:

$$M_o = (CaO + MgO + K_2O + Na_2O) : (SiO_2 + Al_2O_3);$$

-Силикатный (кремнеземистый) модуль M_c , показывающий отношение оксида кремния, вступающего в реакцию с другими оксидами, к суммарному содержанию оксидов алюминия и железа:

$$M_c = SiO_2 : (Al_2O_3 + Fe_2O_3);$$

-коэффициент качества K , показывающий отношение оксидов, повышающих гидравлическую активность к оксидам, снижающим ее:

$$K = (CaO + Al_2O_3 + MgO) : (SiO_2 + TiO_2).$$

На основании многочисленных исследований топливных отходов электростанций, сжигающих топливо различных месторождений, золошлаковые материалы разделены на группы – активные, скрытоактивные и инертные (см.табл.2.14.)

Классификация топливо отходов a_T сжигания твердого топлива.

Таблица 2.14.

Химические свойства	Золошлаковые материалы		
	активные	скрыто активные	инертные

Показатели качества	M_o	0,5-2,8	0,1-0,5	< 0,1
	M_c	1,5-7,8	1,4-3,6	1,3-3,2
	K	1,0-3,6	0,5-1,3	0,4-0,9
Содержание форм кальция	$C_a O_{общ.}$	20-60	5-20	0,5-5
	$C_a O_{своб.}$	0-30	0-2	0-1
	$C_a O_{сульф.}$	0,5-9	0,2-2	0,1-1,6
	$C_a O_{карб.}$	15-45	5-15	0-5
Возможные области использования	Самотвердеющий материал. Местное вяжущее, изделия на его основе, преимущественно автоклавного твердения. Дорожное строительство	Требует интификации твердения. Производство изделий, твердеющих при тепловой обработки с активизаторами. Дорожное строительство.	Сырьё для производства кирпича, зольного гравия. Техногенные грунт. Дорожное строительство.	

Глава III. Бетоны и строительные растворы с использованием зол теплоэлектростанций.

3.1. Влияние зольных добавок на свойства бетона.

Зола нашла применение при улучшение свойств тяжелых бетонов, с ее добавками производятся как сборные железобетонные конструкции, так и монолитные. Она применяется как замена части песка, как активный

микронаполнитель и как частичная замена цемента не ухудшающая его активности.

Так же она используется при производстве легких бетонов. При дефиците керамзитового песка и низком его качестве он может быть частично или полностью заменен золой при производстве керамзитобетона.

Эффективным является использование золы в шлакосиликатных бетонах используемых при ремонте аэродромов и дорог а так же при устройстве кислото-и щелочеустойчивых полов в химических и металлургических производствах, животноводческих комплексах.

Зола, содержащая большое количество силикатов, алюминатов, ферритов кальция может быть переработан в вяжущий материал, которые способен заменить собою цемент на строительных комбинатах производящих товарный бетон, раствор и готовые изделия.

Влияние золы на прочность бетона зависит от ее свойства и дисперсности, содержания и химико-минерологического состава цемента, возраста и условий обработки бетона введено понятие ее «цементирующей эффективности», которое характеризуется коэффициентом K и.э..

Цементирующая эффективность золы характеризует количество цемента в кг. заменяемое без снижения прочности бетона золой. Установлено, что подобно известному в технологии бетона правилу цементно – водного (или водоцементного) отношения констатирующему однозначную связь данного параметра с прочностью бетона, справедливо правила Ц/В.

Определив значение (Ц/В) и задав оптимальное содержание золы с известным значением $K_{и.э.}$, можно найти требуемое (Ц/В) золосодержащих бетонов и проектировать их составы.

Исследовав прочность растворов из цементов, полученных смешиванием клинкера и золы, измельченных до значений удельной поверхности 2500-4000 и 3000-8000 $см^2/г$ соответственно, М.Веноа установил необходимое соответствие между гранулометрическим составом золы и тонкостью помола клинкера. Наиболее значительно повышение дисперсности золы сказывается на прочности бетона в раннем возрасте.

В раннем возрасте росту прочности бетона способствует повышенное содержание в клинкере щелочей, ускоряющих химическое воздействие золы

и цемента в более позднем – для проявления пуццолановой реакции золы предпочтительнее цементы с повышенным содержанием алита, которые при гидролизе образуют повышенную концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Прочность золосодержащего бетона, пропаренного при 95°C , на 12-15% превышает прочность бетона пропаренного при 80°C . Повышение температуры позволяет на 1-2ч. сократить время тепловой обработки.

Для бетонов с добавкой золы характерен сравнительно интенсивный рост прочности в поздние сроки твердения.

По данным японских исследователей, прочность при сжатии бетонов, содержащих 190 и 240 кг/м^3 цемента и 30% -ную добавку золы в 10 летнем возрасте, соответственно 1,44 и 1,43 раза превышает прочность бетона в возрасте 3 месяца. Отмечается возможность и более интенсивного роста прочности при сжатии. При испытании кернов из бетонного дорожного покрытия, в котором 30% цемента заменено золой, наблюдалась прочность при сжатии 37МПа через 3 месяца и 61МПа –через 9,5 лет.

Замещение части цемента золой приводит к уменьшению усадочных деформаций бетона, которое проявляется при снижении водопотребности бетонной смеси. Уменьшение усадки объясняется тем, что зола адсорбирует из цемента растворимые щелочи и образует устойчивые, нерастворимые алюмосиликаты.

Снижение расхода цемента при введении в бетонную смесь золы приводит к снижению тепловыделения бетона и его разогрева в начальный период.

Детальные исследования применения зольных цементов в гидротехнических бетонах показали, что тепловыделение в бетоне на цементах 25% золы Иркутской и Красноярской ТЭЦ на 15-25% ниже тепловыделения бетона из цемента без добавок.

Введение в состав цементов или непосредственно в бетонные смеси значительного количества минеральных добавок для уменьшения тепловыделения оправдан лишь в тех случаях, когда они не вызывают повышения водопотребности. К таким добавкам, наряду с доменным шлаком, относится зола. При использовании золы-уноса наблюдается 50%-ное уменьшение экзотермии твердеющего бетона в возрасте 28 сут.

В мировой практике гидротехнического строительства имеется множество примеров, когда введение золы положительно сказалось на термической

трещиностойкости массивных бетонных сооружений. При укладке бетонной смеси с добавкой 15% золы от массы вяжущего, например, на строительстве Братской ГЭС, разогрев бетона в блоках был примерно на 6°C ниже чем без добавки.

Как и другие гидравлические добавки, зола-унос снижает морозо- и воздухоустойчивость бетона. В бетонах морозостойкостью F 50 и выше или подвергаемых попеременному увлажнению возможность применения золы устанавливается специальными исследованиями. Снижение морозостойкости бетона можно компенсировать введением воздухововлекающих добавок.

Значителен эффект от введения топливных зол в различные виды специальных цементов. Перспективно например, использование золы для производства расширяющего цемента с замедленными сроками схватывания. Оптимальный состав такого цемента: 55% -портландцемент, 27% -зола электрофильтров, 9% -сиштоф (твердый остаток от получения сульфата алюминия из каолина) и 9% -известь.

До конца схватывания образцы из такого цемента имеют усадку, а затем она компенсируется и за одни сутки воздушного твердения расширение составляет 0,206%. Зола используется также для производства тампонажного портландцемента, обладающего повышенной сульфатостойкостью. По рекомендации японских ученых золу можно применять для получения быстротвердеющего цемента при обработке ее разбавленной серной кислотой и последующим высушиванием.

3.2. Влияние золы на удобоукладываемость бетонной смеси и прочность бетона.

Введение в бетонную смесь золы, в отличие от других активных минеральных добавок, обычно не ухудшает, а улучшает удобоукладываемость. Уже первым исследованием установлено, что зависимость подвижности бетонной смеси от золы имеет экстремальный характер, и оптимальное содержание ее должно быть не более 30% массы вяжущего.

На пластифицирующий эффект золы влияет форма, состояние частиц, их дисперсность. Удобоукладываемость бетонной смеси улучшается при введении золы за счет остеклованной поверхности слагаемых ее частиц, которые уменьшают внутреннее трение в бетонной смеси и снижают вязкость. Водопотребность при использовании зол повышенной дисперсности существенно снижается.

Повышение дисперсности зол и снижение их водопотребности могут быть достигнуты отбором их из последних ступеней электрофильтров или помолом, разрушающим входящие в них органоминеральные агрегаты. Уменьшение водопотребности золы при помоле объясняется уменьшением количества капиллярной воды, удерживаемой агрегированными частицами, что ведет к более значительному эффекту, чем имеющее место по мере увеличения удельной поверхности возрастание количества адсорбированной пленочной воды.

Введение золы способствует снижению водоотделения бетонной смеси. Пластифицирующая и водоудерживающая способность золы обуславливает перспективность ее применения в легких бетонах.

Бетонные смеси с оптимальной добавкой золы имеют достаточно высокую жизнеспособность и пригодны для транспортирования на дальние расстояния. Вместе с тем имеется утверждение, что повышенное содержание золы способствует ускорению сроков схватывания.

Влияние золы на прочность бетона зависит от ее свойств и дисперсности, содержания и химико – минералогического состава цемента, возраста и условий обработки бетона. Для оценки влияния золы на прочность бетона введено понятие ее «цементирующей эффективности»

Наиболее благоприятно влияние добавки золы на прочность бетона при относительно небольшом расходе вяжущего.

Это обусловлено заметным снижением водопотребности «тощих» бетонных смесей при замены части цемента золой. Введение золы Красноярской ТЭЦ в бетоны с расходам 150-160 кг/м³ привело к повышению прочности бетона даже в начальные сроки твердения, в более «жирных» бетонах эффект оказался значительно слабее.

По сравнению с отдельным помолом лучшие результаты достигаются при совместном измельчении цемента и золы. Бетон на вяжущем с 30% золы Ангренской ТЭС с удельной поверхностью 5000см²/г в возрасте 28 сут. имел более высокую прочность при сжатии и растяжении, чем бетон на портландцементе без добавки. Даже при замене золой 40% цемента прочность бетона через 28 сут. была близка к прочности бетона без добавки, а через 60 сут. – практически сравнялась с ней.

Для золосодержащих бетонов значительный эффект дает введение добавок поверхностно активных веществ и ускорителей твердения.

Пластифицирующие ПАВ оказывают более эффективное действие на высокодисперсные золы, склонные к агрегированию.

Представляет интерес влияние на прочность бетона добавок ускорителей твердения, в частности хлорида кальция. Введение 1,2-1,5% хлорида кальция от массы смешанного вяжущего позволяет увеличить прочность золосодержащего бетона в 7- суточном возрасте 18-25%, а в возрасте 28 сут. –на 10-15%.

Замещение части цемента золой приводит к уменьшению усадочных деформаций бетона, которое проявляется при снижении водопотребности бетонной смеси. Уменьшение усадки объясняется тем, что зола адсорбирует из цемента растворимые щелочи и образует устойчивые, нерастворимые алюмосиликаты. Зола способствует повышению сульфатостойкости цементных бетонов также, как и другие активные минеральные добавки.

3.3. Ячеистые бетоны с добавкой золы –уноса.

Ячеистый золобетон является разновидностью обычных ячеистых бетонов, в которых зола выполняет роль кремнеземистого компонента. По сравнению с обычным кремнеземистым компонентом-молотым кварцевым песком зола обладает более высокой реакционной способностью, требует значительно меньших затрат на измельчение и позволяет получать ячеистый бетон с меньшей средней плотностью. Недостатки золы, как кремнеземистого компонента следующие: меньше чем в кварцевом песке, содержание SiO_2 ; наличие несгоревшего топлива и нестабильность химического состава. Технологические требования к золе, применяемой в ячеистых бетонах, таковы: содержание стекловидных и оплавленных частиц должно составлять не менее 50%, несгоревших частиц бурого угля –не более 3%, каменного –не более 5%, удельная поверхность $3000\text{-}5000\text{см}^2/\text{г}$, набухание в воде не должно превышать 5%.

С применением золы-уноса выпускается 11% общего объема производства ячеисто-бетонных изделий, причем более 60% от этого составляют изделия, изготавливаемые на базе сланцевой золы.

Эффективное использование сланцевой золы, обусловлено ее выгодным химико-минералогическим составом, а также комплексом технологических приемов, в результате которых обеспечивается гидратация свободного оксида кальция в виде пережога до автоклавной обработки.

Сланцевая пылевидная зола в основном применяется в газозолобетоне плотностью 400-1200 кг/м³. Из него изготавливают теплоизоляционные изделия, панели, блоки и плиты для наружных стен, покрытий, межэтажных перекрытий и внутренних перегородок.

В зависимости от способа ячеистые золобетоны делят на безавтоклавные и автоклавные. При безавтоклавном твердении тепловую обработку (электро-прогрев, пропаривание) выполняют при атмосферном давлении, а в автоклавном при давлении пара 0,8-1,2 МПа. Иногда применяют двух-стадийную технологию, когда до достижения распалубочной прочности изделия пропаривают, а затем без форм подают в автоклав.

Более распространенным является автоклавный способ твердения, при котором обеспечивается широкое использование шлакозольных материалов, сокращаются сроки тепловлажной обработки до 10-12 часов, а также повышаются мороза – и трещиностойкость бетона.

Соотношение между золой и вяжущим в ячеисто-бетонной смеси зависит от вида вяжущего и изменяется в диапазоне 1-15. Наибольшее значение этого соотношения характерно для извести, а наименьшее – для портландцемента.

Более приемлемой для производства газобетона является комплексная вибрационная технология, позволяющая за счет эффекта разжижения смеси при вибрации в процессе перемешивания и формования уменьшить количество воды затворения на 25-30%. Эффективно также применение холодных смеси ($t=18-20^{\circ}\text{C}$) с добавками поверхностно – активных веществ. Для уменьшения влажности и усадочных деформаций ячеистых золобетонов в них вводят структурообразующие добавки пористых заполнителей. Исследованиями установлена также эффективность сушки изделий прогревом инфракрасными излучателями.

Прочность ячеистых золобетонов при сжатии составляет 0,5-15 МПа, при средней плотности 400-1200 кг/м³, а морозостойкость достигает 150 циклов. Ячеистые золобетоны на цементе имеют значительно большую стойкость, чем на извести. Негативной особенностью золобетонов является их способность к высокому сорбционному увлажнению, вызываемой значительной микропористостью золы. Они также больше чувствительны к циклическому увлажнению и высушиванию, чем кирпич или тяжелый бетон.

Для защиты от агрессивного воздействия атмосферы на изделия из ячеистых золобетонов наносят покрытия.

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

3.4. Составы бетонов и строительных растворов с и без использования зол теплоэлектростанций.

Отходы теплоэлектростанций широко используется для производства бетонов и строительных растворов различного назначения.

Зола-унос и зола гидроудаления теплоэлектростанций используется в качестве кремнеземистых компонентов бетонной смеси.

Материалами для производства легких бетонов являются вяжущие: -портландцемент, содержащий трехкальцевых алюминат C_3A не более 6% для изготовления крупноразмерных конструкций на цементном или смешанном вяжущем;

-Известь негашеная кальциевая, имеющая скорость гашения 5-25 минут и содержащая активные $CaO + MgO$ более 70%:

-шлак доменный гранулированный;

-зола высокоосновная, содержащая не менее 40% CaO ;

Кремнеземистые компоненты:

-песок, содержащий не менее 90% SiO_2 или 75% кварца;

-зола-унос теплоэлектростанций, содержащая SiO_2 не менее 45%, CaO не более 10%, P_2O_5 –не более 3%, SO_3 -не более 3%.

-Продукты обогащения руд, содержащие SiO_2 не менее 60%.

По назначению бетоны подразделяются на конструкционные, конструкционно-теплоизоляционные. В таблице 3.1 представлены сравнительные характеристики бетонов на песке и золе теплоэлектростанций соответственно.

Таблица 3.1

Вид бетона	Марка бетона по средней плотности	Коэффициент				Сорбционная влажность бетона в %, не более			
		Теплопроводности, Вт(м.С), бетона в сухом состоян		Проницаемости Мг(м.ч.Па) бетона изготовленного		При относительной влажности воздуха 75%		При относительной влажности воздуха 97%	
		На песке	На золе	На песке	На золе	Бетон изготовленный			
						На песке	На золе	На песке	На золе
Теплоизоляционный	Д 300	0,08	0,08	0,26	0,23	8	12	12	18
	Д 400	0,09	0,09	0,23	0,20	8	12	12	18
	Д 500	0,12	0,10	0,20	0,18	8	12	12	18
Конструкционно-изоляционный	Д 500	0,12	0,10	0,20	0,18	8	12	12	18
	Д 600	0,14	0,13	0,17	0,16	8	12	12	18
	Д 700	0,18	0,15	0,15	0,14	8	12	12	18
	Д 800	0,21	0,18	0,14	0,12	10	15	15	22
	Д 900	0,24	0,20	0,12	0,11	10	15	15	22
Конструкционный	Д 1000	0,19	0,23	0,11	0,10	10	15	15	22
	Д1100	0,34	0,26	0,10	0,09	10	15	15	22
	Д1200	0,38	0,29	0,10	0,08	10	15	15	22

Усадка при высыхании автоклавных бетонов марок Д 600 –Д 1200, изготавливаемых на песке, не должна превышать 0,5мм/м, а для бетонов на кремнеземистых компонентах – 0,7 мм/м.

Основная задача в технологии конструкционно- изоляционных бетонов -получение их с минимальной плотностью и теплопроводностью при требуемой прочности, морозостойкости и плотной однородной структуры. Помимо воздухововлечения это достигается применением фракционированных крупных пористых заполнителей с возможно более низкой насыпной плотностью (для керамзита-до 400 кг/м³) и эффективных

мелких заполнителей. Для керамзитобетона эффективно применение в качестве мелкого заполнителя зол- уноса и золошлаковых смесей ТЭС с удельной поверхностью 1550-5000 см²/г, обеспечивающих в сочетании с воздухововлечением повышенные теплозащитные свойства при наименьшей энергоемкости и стоимости конструкций.

Основная задача в технологии конструкционных легких бетонов – достижение требуемой прочности и плотности при наименьшем расходе цемента. Этой цели служит применение заполнителей с наибольшей прочностью, использование эффективных пластификаторов и зол ТЭС. Составы легких бетонов устанавливают расчетное – экспериментальным способом.

Легких бетоны классов В 3,5- В7,5 находят широкое применение в современном строительстве. Из них изготавливают около 85% всех конструкций: наружные стеновые панели, крупные блоки, плиты теплой кровли. Наряду с этим для производства несущих конструкций плит перекрытий, покрытий, объемных элементов, а также внутренних трехслойных стеновых панелей – использует конструкционные легкие бетоны классов В10- В30 со средней плотностью 1200-2000 кг/м³ (около 10% всех изготавливаемых конструкций). Примерно 5-7% легкого бетона идет на изготовление неармированных изделий-мелких стеновых блоков теплоизоляционных плит.

Типовые нормы расхода цемента для тяжелых бетонов регламентированы СНиП 5.01.23-83 в зависимости от прочности бетона, марки цемента, характеристик заполнителя, удобоукладываемости бетонной смеси, длительности тепловой обработки и других факторов.

Минимальный расход цемента должен быть не менее 200 кг/м³ для бетонных изделий и 220 кг/м³ для железобетонных. Снижение расхода цемента на

40-100 кг/м³ может быть получено за счет введения в состав бетона золы – уноса и отвальных зол в количестве 100-120 кг/м³ с одновременной заменой части песка. При этом минимальный расход цемента может быть снижен соответственно до 150 и 180 кг/м³.

Таким образом, при производстве бетона заданного класса необходимо учитывать: роль пластификаторов, рациональный подбор заполнителей, режим пропаривания, эффективное уплотнение методами вибрирования и энергозатраты, необходимые для данного производства.

Строительные растворы применяют для каменных кладок, монтажа строительных конструкций, облицовочных и штукатурных работ. Растворы строительные подразделяют по виду вяжущих на простые с использованием одного вида вяжущего (цемент, известь, гипс и др.) и сложные с использованием смешанных вяжущих (цементно-известковые, известково-золевые, известково-гипсовые и т. д.).

Таблица 3.2

Цемент	Расход материалов на 1м ³ ,			Экономия цемента на 1м ³ раствора, кг.
	цемент	песок	зола	
Раствор марки 25				
Известково шлаковый марки 100	250	1150	200	130
Шлакопортландский марки 200	230	1220	160	130
Шлакопортландский марки 300	160	1270	170	130
Раствор марки 50				
Известково шлаковый марке 100	350	1050	200	135
Шлакопортландский марки 200	345	1160	150	5
Шлакопортландский марки 300	265	1050	240	5
Раствор марки 75				
Шлакопортландский марки 100	410	950	210	10
Шлакопортландский марки 200	330	1150	150	10
Шлакопортландский марки 300	310	1200	140	10

Золу-унос ТЭС и компонент гидроудаления золошлаковой смеси применяют для легких строительных растворов в качестве заполнителя. Указаниями по приготовлению и применению строительных растворов СН 290-64 предусмотрена возможность использования зол ТЭС в составе строительных растворов до 20% с целью экономии цемента.

Оптимальные составы растворов 25,50 и 75 на разных цементах с частичной заменой песка золой приведены в таблице.

Из данной таблицы видно, что введение золы в кладочных растворах экономит цемент. Растворная смесь при частичной замене песка золой становится более пластичной, малорасплаиваемой, с меньшим, чем у песчано – цементной, водотделением. Она быстро набирает прочность, обладает повышенной стойкостью в сульфатной и прескислой средах.

3.5. Эффективность применения золы и золошлаковых отходов в дорожном бетоне.

Одним из крупнейших потребителей золошлаковых смесей может быть дорожное строительство. В сметах на строительство автомобильной дороги не менее 50% стоимости составляет стоимость материалов. На строительство 1 км. автомобильной дороги требуется, в зависимости от ее категории и местных условий (рельефа, местности, климата и др.), в среднем: от 6 до 60 тыс. м³ грунта, зачастую привозного, для сооружения земляного полотна;

от 1,5 до 6,0 тыс. м³ песка для дренирующего и морозозащитного слоев;

от 0,8 до 5,4 тыс. м³ щебня или грунта, укрепленного вяжущими материалами, для основания;

от 1,1 до 4,7 тыс. тонн асфальтобетона или от 1,2 до 4,8 тыс. м³ цементобетона, что требует соответственно от 55 до 235 тонн битума или от 480 до 1700 тонн цемента.

При устройстве дорожных покрытий есть пути экономии традиционных материалов. На дорогах высших категорий отказаться от асфальтобетона и цементобетона, как правило, пока невозможно, но при строительстве оснований дорог задачу экономии традиционных дефицитных материалов можно решать во многих случаях.

Общеизвестно, что устройство дорожных оснований из укрепленных грунтов или местных малопрочных каменных материалов само по себе прогрессивно, потому что позволяет отказаться от привозных дорогостоящих материалов. При этом получаемый экономический эффект зависит, главным образом, от стоимости привозного щебня.

Экономия традиционных привозных инертных материалов (не только щебня, но и песка с хорошими дренирующими свойствами, который в ряде регионов также является привозным) достигается ценной значительного расхода традиционного вяжущего материала, в большинстве случаев цемента. Как правило, этот расход достигает 250-300 т/км. Устройство дополнительных

слоев основания (дренирующего и морозозащитного) с заменой песка укрепленным грунтом сопряжено с меньшим расходом цемента (100-150 т/км), но и в этом случае проблема экономии вяжущего и заполнителей остается достаточно серьезной.

К тому же, для сооружения земляного полотна при строительстве дороги в районах с неблагоприятными условиями, например, при наличии переувлажненных глинистых грунтов для обеспечения устойчивости дорожной конструкции требуется использовать привозные дренирующие грунты, что существенно увеличивает стоимость строительства.

Наиболее распространенными отходами промышленности, целесообразность применения которых в строительстве автомобильных дорог убедительно доказано научными исследованиями и практикой, являются отходы, образующиеся при сжигании в котлах ТЭС твердого топлива. Условной границей между ними можно принять частицы размером 0,25 мм: более мелкие отходы относят к золам, более крупные – к шлакам.

Глава IV. Экспериментальная часть.

Для проведения данной исследовательской работы использован портландцемент марка 400 произведенный на Ахангаранском цементном заводе.

Химический состав портландцемента.

Таблица 4.1

Название	Количество оксидов, % по массе							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O+Na ₂ O ₃	П.П.П
Портланд-цемент М 400	21-24	4-7	2-4	60-63	1-2	1,1-1,5	0,3-0,7	0,6-0,7

Просеянный речной песок с зернистостью 1,5 – 2.

Гранулометрический состав песка.

Таблица 4.2

№	Размеры отверстий сит, мм	Частные остатки, %	Полные остатки, %
1	10	0	0
2	5	7-8	7-8
3	2,5	41-42	48-50
4	1,25	28-30	76-80
5	0,63	2-3	78-83
6	0,315	10-11	88-94
7	0,14	3-4	91-98
8	дно	1,5-2	92,5-100

Песок пустой горной породы должен иметь следующий гранулометрический состав при просеве на ситах, % - 5мм -7-8; 2,5мм – 41-42; 1,25мм -28-30; 0,63мм -2-3; 0,315мм -10-11; 0,14мм -3-4; дно -1,5-2 и должен соответствовать требованиям УзРСТ 730-96. Песок для строительных работ. Методы испытаний.

Выбрано в качестве строительных материалов зольные промышленные отходы Ангреной ТЭЦ (зола-унос) и питьевая вода.

Химический состав золы.

Ангренской ТЭЦ

Таблица 4.3

Ангренская ТЭЦ									
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂	п.п.п.
55,5	6,3	22,8	7,4	3,1	1,5	-	1,0	1,4	Не более 5

Составы растворов с добавкой золы Ангренская ТЭЦ.

Таблица 4.4

Компоненты	Образцы и материалы расходуемые на 1 м ³ смеси, кг				
	№1	№2	№3	№4	№5
Цемент	500	475	450	425	400
Песок	1500	1500	1500	1500	1500
Вода	200	200	200	200	200
Зола ТЭЦ	0	25	50	75	100

Расход материалов для первого образца выбрано в целях определения (прочности на изгиб и сжатие, кгс/см²) марки раствора. Здесь отношение воды к цементу составляет 0,4.

При выборе расхода материалов для второго образца в цемент добавлено (по массе 5%) золы. Изготовленные образцы балочек через 1 суток, 4 часового пропаривания, а также через 28 суток испытаны: прочность на изгиб и сжатие (кгс/м^2) на установке МИИ-100 и гидравлическом прессе. В этом случае отношение воды к цементу составляет 0,4.

При выборе расхода материалов для третьего образца в цемент добавлено (по массе 10%) золы. Изготовленные образцы балочек через 1 суток, 4 часового пропаривания, а также через 28 суток испытаны: прочность на изгиб и сжатие (кгс/м^2) на установке МИИ-100 и гидравлическом прессе. В этом случае отношение воды к цементу составляет 0,4.

При выборе расхода материалов для четвертого образца в цемент добавлено (по массе 15%) золы. Изготовленные образцы балочек через 1 суток, 4 часового пропаривания, а также через 28 суток испытаны: прочность на изгиб и сжатие (кгс/м^2) на установке МИИ-100 и гидравлическом прессе. В этом случае отношение воды к цементу составляет 0,4.

При выборе расхода материалов для пятого образца в цемент добавлено (по массе 20%) золы. Изготовленные образцы балочек через 1 суток, 4 часового пропаривания, а также через 28 суток испытаны: прочность на изгиб и сжатие (кгс/м^2) на установке МИИ-100 и гидравлическом прессе. В этом случае отношение воды к цементу составляет 0,4.

Удельная поверхность золы использованной для исследовательской работы составляет $3000\text{-}3100 \text{ г/см}^2$, а это соответствует удельной поверхности цемента.

Физико-механические свойства смеси.

Таблица 4.5

Образцы	$R_{изг}$, кгс/см ² (среднее)			$R_{сж}$, кгс/см ² (среднее)		
	После 1сутки	После 4х часового пропаривание	После 28 суток	После 1сутки	После 4х часового пропаривание	После 28 суток
№1	6	10,4	10,5	14,8	14,4	48,8
№2	7	7,2	17,3	31	17	63,8
№3	8	8,2	12,6	32,4	19,8	48
№4	10,5	8,8	12,8	33	20,2	45,6
№5	12	12	16,5	41	20,2	56,4

Результаты произведенной исследовательской работы показали что, при добавлении к цементу 15% (по массе) золы показало, что ее прочность увеличилась на 11%.

Соответственно, добавля в состав цемента 15% зол можно получить достаточно прочный бетон а также снизить себестоимость бетона и дает возможность уменьшить промышленные отходы. Это дает возможность улучшения экологической обстановки в республике.

Научно-исследовательские работы выполнены в лаборатории энерго-сберегающих строительных материалов при кафедре «Технология строительных материалов, изделий и конструкции» ТАСИ .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Анализ накопленных научных исследований и практический опыт использования зол теплоэлектростанций в нашей стран и за рубежом показал

технико-экономическую целесообразность более широкого использования отходов теплоэлектростанции при производстве цемента. В настоящее время более распространенной активной минеральной добавкой является доменной гранулированный шлак, с учетом использования которого спроектировано большинство цементных предприятий. В связи с общим экономическим положением в стране возникла необходимость замены гранулированных шлаков другими добавками технического или природного происхождения. Поэтому использование золы-уноса, вместо доменного шлака или частичной его замены цементными предприятиями очень целесообразно и выгодно экономически.

Экономические преимущества комплексного использования природного сырья и отходов теплоэлектростанций проявляется в следующем:

- Достигается экономия капитальных вложений и снижение издержек в отраслях, производящих строительные материалы.

- Использование отходов повышает рентабельность производства;

- Переработка шлако-зольных отходов позволяет стабилизировать экологическую обстановку в стране;

- Комплексное использование природного сырья и отходов приводит к повышению уровня обеспеченности народного хозяйства материалами и изделиями, рациональному размещению производительных сил, уменьшению различных статей затрат и, следовательно, обеспечивает повышение эффективности капитальных вложений в народное хозяйство.

Результаты исследовательских и опытно-промышленных работ свидетельствует о том, что внимание проявляемое в настоящее время к вопросам изучения и применения топливных зол и шлаков, является в полнее обоснованным. Использование золошлаковых отходов теплоэлектростанций в цементной промышленности во многих случаях может оказаться весьма эффективным техническим мероприятием и может дать предприятиям значительную прибыль.

Как уже отмечалось применение топливных зол и шлаков на цементных предприятиях не вносит, как правило, заметных изменений в существующий производственный процесс, особенно в тех случаях, когда предприятия используют доменные гранулированные шлаки. В то же время применение топливных пылевидных зол неизбежно вносит существенные изменения в

технологическую схему (приём, хранения, дозирование и др.) производства цемента. Однако при этом применение тонкодисперсных материалов (зол) в большинстве случаев исключает необходимость их размолла и тем самым позволяет сэкономить электроэнергию.

Богатый практический опыт убедительно доказывает, что введение золы-уноса в цементные бетоны является одним из эффективных направлений снижения расхода цемента, улучшения ряда свойств бетонных смесей и бетонов. Несмотря на обширные исследования, проблему цементно-золных бетонов к настоящему времени нельзя считать исчерпанной.

Потенциал золы как активного полифункционального компонента бетонных смесей реализуется полнее при введении в бетонные смеси добавки суперпластификатора, чем при обычных условиях. Комплекс зола – суперпластификатор особенно эффективен в литых бетонах, для безвибрационной технологии бетонных работ и изготовления конструкций.

На основании изученных материалов и опыта работы некоторых предприятий можно с уверенностью сказать, что накопленные за многие годы отходы тепловых электростанций в странах СНГ являются ценнейшим материалом для производства современных строительных материалов, а их промышленная утилизация не только способствует улучшению экологической обстановки в стране, но и делает производство строительных материалов более рентабельным, а значит, способствует стабилизации общей экономической обстановки в стране.

Список использованной литературы.

1. И.Каримов – «Узбекистан на пороге XXI-века» Ташкент,»Узбекистан», 1997 год.
2. В.Дуда –«Цемент»,Москва, «Стройиздать» 1981 год

3. Л.И.Дворкин, О.Л.Дворкин – «Строительные материалы из отходов промышленности», Ростов на Дону, «Феникс», 2007 год.
4. Л.Я.Гольдштейн – «Использование топливных зол и шлаков при производстве цемента», Ленинград, «Стройиздат», 1977 год.
5. Р.Дхира – «Технология товарной бетонной смеси» Москва, «Стройиздат», 1981 год.
6. Г.Бабычев – «Золы и шлаки в производстве строительных материалов», Киев, «Будевельник», 1987 год.
7. Баженов Ю.М «Технология бетона», Москва «Высшая школа», 1978 год.
8. Бут Ю.М. «Технология цемента и других вяжущих материалов» Учебник для техникумов. Изд. 4-е, пераб. И допол. М: «Стройиздат» 1976 год.
9. Бетоны ячеистые, технические условия ГОСТ 25485-59, М: Издательство стандартов 1989 год.
10. Растворы строительные. Общие технические условия ГОСТ 28013-89, М: Издательство стандартов 1989 год.
11. Цементы общестроительного назначения. Технические условия ДСТУ Б.В. 2.7. 46-96, Киев. Госкомградостроительства Украины, 1986 год
12. И.А. Иванов – «Легкий бетоны на основе зол электростанций», М: «Стройиздат»1972 год.
13. Я.А. Ренитара – «Эффективность использования промышленных отходов в строительстве», Мб «Стройиздат», 1975 год.
14. У.А.Газиев, Х.А. Акрамов- «Отходы промышленности» в производстве строительных материалов и изделий, Ташкент 2003 год.
15. Л.И.Дворкин, И.А. Пашков – «Строительные материалы из отходов промышленности», Киев, «Высшая школа», 1989 год.
16. И.Я. Снивак – «Применение зол и зольных материалов в индустриальном жилищном строительстве». – В сб. «Использование новых легких материалов и отходов производства в строительстве», М: «Стройиздат», 1982 год.
17. М.Венью – «Цементы и бетоны в строительстве», М: «Стройиздат», 1980 год.

18. Б.П.Паримбетов – «Строительные материалы из минеральных отходов промышленности», М: «Стройиздат», 1978 год.

19. <http://www.lex.uz>

20. <http://www.dissertatsiya.ru>

21. www.nanopowder-technology.com.ru

22. www.helpbeton.ru

23. www.beton-klin.ru