

# Утилизация золы на энергетических предприятиях, использующих угольное топливо

**dti**

**ОТЧЕТ О СОСТОЯНИИ ТЕХНОЛОГИЙ**

ПРОГРАММА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО  
ИСКОПАЕМОГО ТОПЛИВА

TSR023 ФЕВРАЛЬ 2005



Работа Департамента торговли и промышленности по созданию наиболее благоприятных условий для успешного ведения бизнеса в Великобритании является главной составляющей в достижении нашей цели - "благополучия для всех". Мы помогаем предпринимателям и компаниям повысить эффективность производства, продвигая их инновационные разработки и укрепляя их творческий потенциал. Мы поддерживаем бизнес в Великобритании и за рубежом, защищая права производителей и потребителей. Мы активно инвестируем в научные разработки и технологии мирового уровня. Мы за благоприятные и открытые рынки Великобритании, Европы и мира.

## СОДЕРЖАНИЕ

РЕЗЮМЕ.....	1
ВВЕДЕНИЕ.....	1
СВОЙСТВА И ИСТОЧНИКИ ЗОЛЫ.....	2
ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛЫ.....	6
УТИЛИЗАЦИЯ ЗОЛЫ В МИРЕ.....	19
БАРЬЕРЫ К УВЕЛИЧЕНИЮ ОБЪЕМОВ УТИЛИЗАЦИИ.....	24
ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО И СТАНДАРТЫ.....	25
ПРИОРИТЕТЫ ВЕЛИКОБРИТАНИИ В ОБЛАСТИ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАЗРАБОТОК.....	27
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	27
РЕКОМЕНДАЦИИ.....	28
БЛАГОДАРНОСТЬ.....	29
ССЫЛКИ.....	29

# Утилизация золы на энергетических предприятиях, использующих угольное топливо



Рис. 1. Бункеры для золы на угольной электростанции в Великобритании

## РЕЗЮМЕ

Эффективная утилизация золы энергетических предприятий на угле может помочь значительно снизить негативное влияние на окружающую среду и улучшить экономические показатели предприятия. В общем, зола широко используется в различных производствах и обладает хорошими рыночными перспективами. Существуют доступные технологии утилизации золы, некоторые из которых широко применяются коммерчески. В то же время, по всему миру осуществляются интересные разработки, и очевидно, что некоторые технологии обладают огромным потенциалом.

## ВВЕДЕНИЕ

Департамент торговли и промышленности в рамках программы экологически чистого ископаемого топлива профинансировал обзорное издание брошюры о технологиях утилизации золы энергетических предприятий, работающих на угольном топливе. Исследование было проведено компанией Hatterrall Associates и Британской ассоциацией качества золы. В исследовании дается оценка развития и применения в мире технологий утилизации золы в областях, связанных с производством электроэнергии, и определяются направления будущих разработок. Оцениваются источники и свойства золы, а также используемые и разрабатываемые чистые угольные технологии. В обзоре также упоминаются возможности британских компаний в данной области, и оценивается спрос на их услуги в будущем.

Использование встречающихся в природе пущолановых материалов (пущоланов) получило развитие при переработке глины и других минералов и восходит к истокам самых ранних цивилизаций. Утилизация угольной золы в нынешнем виде началась с применением технологии сжигания пылевидного угольного топлива при производстве электроэнергии в 1920-е годы, когда угольная зола стала доступна в больших объемах.

С тех пор образовался ряд коммерческих рынков для подобных материалов, прежде всего летучей золы (ЛЗ), которая активно использовалась в составе различных бетонов. В 1965 г. для данного применения был введен британский стандарт. Несмотря на это, до 1970-х гг. ЛЗ не находила широкого коммерческого применения, пока ее не стали производить в очищенном виде и сортировать.

В настоящее время сортированная ЛЗ широко применяется в Великобритании при производстве товарного и сборного бетона. В настоящее время производимый товарный бетон содержит приблизительно 25% связующих материалов, как правило, содержащих 30% ЛЗ и 70% портландцемента. Ежегодно для этих целей используется 500 000 тонн сортированной ЛЗ. Также растет уровень использования летучей золы в производстве бетона, как в качестве инертного наполнителя, так и в качестве составляющей цемента.

Уголь остается единственным и самым значимым по запасам видом топлива. В мире в настоящее время около 38% электроэнергии производится из угля, в основном на электростанциях, использующих пылевидное угольное топливо [1]. Таким образом, в обозримом будущем зола будет продолжать оставаться важным побочным продуктом. Наряду с утилизацией на развитых рынках, зола будет находить все более широкое применение на таких развивающихся рынках как Китай и Индия.

## **СВОЙСТВА И ИСТОЧНИКИ ЗОЛЫ**

Золы от сжигания угля на электростанциях имеют различные формы. Золы стационарных электростанций, работающих на пылевидном топливе, могут отличаться от зол, полученных от применения более современных угольных технологий.

## **Сжигание пылевидного угольного топлива**

Доступных мировых запасов угля хватит более чем на 200 лет [2]. В некоторых регионах высококачественный уголь добывается дешевым открытым способом. Основная часть такого угля экспортируется. Для многих национальных экономик угольная энергетика остается наиболее дешевой, в частности, в Великобритании таким способом производится 36% электроэнергии.

Существует несколько видов угля: антрациты, битуминозные или каменные угли, лигниты и бурые угли, каждый из которых состоит из углерода и смеси различных веществ: глинистого сланца, глины, сульфидов и карбонатов. В Великобритании основным угольным топливом является каменный уголь, который на момент доставки на электростанции, как правило, содержит ~15% золы по массе после сжигания.

Летучая зола, производимая электростанциями, находит различные применения в строительстве, от вяжущего компонента бетона, до простого материала-наполнителя. В настоящей работе под летучей золой понимается зола, образующаяся в результате сжигания преимущественно размельченного пылевидного каменного угля в котлах с эксплуатационной температурой ~1400°C. В результате горения образуется кремнистая зола, содержащая оксиды кремния, алюминия и железа и менее 10% оксида кальция.

Среднее время нахождения частицы угля в топочном устройстве - приблизительно 3-4 секунды [3]. Зола, образовавшаяся в результате горения, находится в расплавленном состоянии и выносится дымовыми газами через конвективные части котла, после чего улавливается электрофильтрами на выходе из котла.

Приблизительно 80-85% золы на выходе из топочного устройства улавливается механическими и электрическими фильтрами, которые устанавливаются

Таблица 1. Свойства золы

Свойства	Типичные значения
Плотность спрессованной золы	от 1200 кг/м <sup>3</sup> до 1700 кг/м <sup>3</sup>
Плотность свободной золы	от 1100 кг/м <sup>3</sup> до 1600 кг/м <sup>3</sup>
Относительная плотность (сухая)	от 2,0 до 2,4
Удельная теплоемкость	от 0,8 до 0,7 Дж/кг°С
Водная проницаемость - спрессованной золы	от 10 <sup>-9</sup> до 10 <sup>-6</sup> м/с
Электрическая проводимость	0,09 В/м°К

последовательно для улавливания более легких и мелких частиц.

Остающиеся 15-20% оседают на стенках труб и опадают в бункер, где спекаются и образуют шлак. В Великобритании шлак удаляется из бункеров, дробится и помещается в хранилища (рис. 1) для дальнейшей отправки потребителю. Основное применение - использование при производстве шлакоблоков.

Таблица 2. Типичные значения для золы (Великобритания)

Элемент	Типичные значения
Кремний (% в SiO <sub>2</sub> )	38-52
Алюминий (% в Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	20-40
Железо (% в Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	6-16
Кальций (% в CaO)	1,8-10
Магний (% в MgO)	1,0-3,5
Натрий (% в Na <sub>2</sub> O)	0,8-1,8
Калий (% в K <sub>2</sub> O)	2,3-4,5
Титан (% в TiO <sub>2</sub> )	0,9-1,1
Хлор (% в Cl)	0,01-0,02*
Потеря веса на прокаливании (%)	3-20
Сульфат (% в SO <sub>3</sub> )	0,35-2,5
Свободный оксид кальция (%)	<0,1-1,0
Сульфаты, растворенные в воде (г/л в SO <sub>4</sub> ) Вытяжка из водного раствора 2:1	1,3-4,0
Щелочей всего (% в Na <sub>2</sub> O <sub>экв.</sub> )	2,0-5,5
Растворимые в воде щелочи (% в Na <sub>2</sub> O <sub>экв.</sub> )	0,3-1,0
pH	9-12

\* Содержание хлорида может достигать 0,3% для золы, увлажненной морской водой.

### Свойства летучей золы

Свойства золы зависят от ряда факторов, таких как температура, марка и качество угля и время нахождения топлива в котле. Свойства золы показаны в таблице 1.

Одними из наиболее важных свойств золы являются содержание углерода и минералогические свойства. Последние, как показывает потеря веса на прокаливании,

могут значительно варьироваться (1-10%) и зависят от особенностей электростанции. Применение горелок с низкой эмиссией  $\text{NO}_x$ , как правило, повышает эти показатели. При непрерывной работе станции значение потери веса на прокаливание, как правило, составляет 3,5%, но особенности производственного цикла неизбежно приводят к отклонениям.

Три основных компонента летучей золы - кремний, алюминий и железо. Оксиды этих веществ составляют 75-85% вещества, которое в основном состоит из стекловидных сферических частиц, а также кристаллического вещества и недожженного углерода. В таблице 2 представлены типичные значения составляющих химического анализа летучей золы Великобритании.

### **Новые и развивающиеся технологии (сжигание в псевдоожиженном слое, комбинированный цикл комплексной газификации и др.)**

Несмотря на преобладание сжигания угля в виде пылевидного топлива в качестве основной технологии для производства электроэнергии, развиваются и все активнее внедряются чистые угольные технологии, такие как сжигание в псевдоожиженном слое и газификация (как правило, интегрированные). Помимо этого, существует большой интерес к совместному сжиганию угля и биомассы, а также угля и мусора. Ряд компаний, предоставляющих коммунальные услуги, уже применяют технологию сжигания угля и биомассы или добавочного топлива из отходов.

В этих случаях производимая зола может существенно отличаться по своим характеристикам от "обычной" золы. Если рассматривается вариант утилизации такой золы, то это, как правило, требует дополнительного рассмотрения. С расширением спектра применений новых технологий расширяется и круг возможностей для утилизации таких отходов.

### **Сжигание в псевдоожиженном слое**

Технология сжигания в псевдоожиженном слое (СПС) успешно применяется для сжигания всех типов угля, угольных отходов и ряда других видов топлива, сжигаемого либо отдельно, либо совместно с углем.

В ТЦПС образуются два основных потока золы, содержащих летучую золу - вылетевшая из псевдоожиженного слоя и зола, собранная либо рукавным, либо электрофильтром, а также зола выпавшая из слоя. Зола и шлак - это смесь золы, остатков недожженного углерода, сульфата и сульфита кальция и не прореагировавших извести и известняка. Свойства золы из

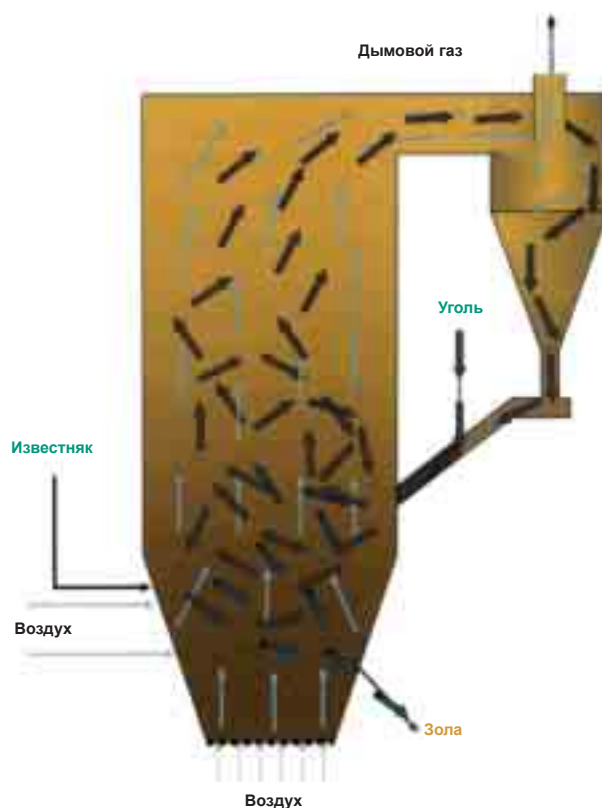


Рис. 2. Общая схема топki с циркулирующим псевдоожиженным слоем (ТЦПС)

ТЦПС существенно отличаются от летучей золы, поскольку частицы золы значительно крупнее.

Зола из ТЦПС не нашла широкого применения в производстве строительных материалов. Основная часть такой золы используется в качестве дешевого заполнителя или для рекультивации земли.



В настоящее время свойства ЛЗ позволяют использовать ее при производстве цемента и ряда других материалов. Область применения золы из ТЦПС - заполнитель при рекультивации земель на подработанных территориях и при ландшафтном планировании.

### *Газификация угля*

Комбинированный цикл комплексной газификации (КЦКГ) - это высокоэффективная технология выработки электроэнергии с преобразованием угля в чистый топливный газ (суммарный КПД - 47%, чистый - 42%). Системы КЦКГ производят значительные объемы шлака и летучей золы. Используются несколько видов газификации, достигающих температуры в 2000°C: в неподвижном слое, газификация в потоке и в псевдоожиженном слое. В результате образуются стеклообразные твердые вещества, стеклообразный шлак и сухая или агломерированная зола.

Шлаки от КЦКГ при нормальных условиях относительно инертны. В рамках нынешних инструкций по шлакоудалению не требуется специальной обработки перед транспортировкой и захоронением (в будущем, возможно, будут приняты более строгие нормы, которые осложнят процесс захоронения шлака). Стоит отметить, что зола из установок, где применяется известняк для десульфуризации дымовых газов, может требовать дополнительной обработки.

### *Совместное сжигание*

Существует значительный интерес к утилизации биомассы и муниципальных/промышленных отходов существующих энергетических предприятий, работающих на угле. Правительства и международный бизнес рассматривают это как вполне допустимый вариант. Эта область - предмет ряда научных исследований и коммерческих проектов в ЕС и США. Существует огромный потенциал утилизации биомассы и отходов для производства

электроэнергии, что приведет к сокращению выбросов CO<sub>2</sub> и кислотных газов за счет частичной замены ископаемого топлива. Существует целый ряд значительных преимуществ утилизации биомассы в существующих электростанциях, в частности, устоявшийся рынок для тепло- и электроэнергии, модификация предприятий (т.о. капитальные инвестиции) незначительные вложения и снижение вредных выбросов.

Зола биомассы очень сильно отличается от угольной золы. Это не алюминио-силикатные составы, а смеси простых неорганических солей, в основном оксидов, фосфатов, карбонатов и сульфатов кремния, кальция и калия. При этом биомассы сжигаются совместно с углем, таким образом в смеси золы преобладает угольная зола. Зола от совместного сжигания мусора также отличается от обычной золы.

### *Зольные отходы технологий контроля выбросов вредных веществ*

Системами контроля выбросов вредных веществ оснащаются все большее количество угольных тепло- и электростанций. С позиции производства твердых отходов самыми важными технологиями являются технологии, направленные на снижение количества оксидов серы, в первую очередь SO<sub>2</sub>, в дымовых газах (десульфуризация дымовых газов). Сейчас эти технологии применяются в 27-ми странах. Существует целый ряд коммерчески доступных технологий десульфуризации дымовых газов, основные из них - системы мокрой, полусухой и сухой газоочистки. Основную нишу на рынке заняли мокрые системы, побочным продуктом которых является высококачественный гипс, широко применяемый в строительстве.

# ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ЗОЛЫ

## Традиционные технологии утилизации зола

Порядка 55% летучей золы, вырабатываемой в Великобритании, используется в строительстве в областях, связанных с цементом, таких как производство бетона, блоков, сборного бетона, цементации и в качестве заполнителя-отсыпного материала. Вся зола из камер сжигания в псевдоожиженном слое используется в качестве заполнителя при производстве строительных блоков. Извлекаемые ксеносферы используются в качестве наполнителя в красках, пластиках и шпатлевках.

### Летучая зола в цементном производстве

Летучая зола - это пуццолан, материал, который, реагируя с известью, образует густую массу. Полученная масса широко применялась древними римлянами для строительства таких знаменитых сооружений как Колизей и Пантеон (построен в 115 г. до н.э.). В настоящее время применяется множество технологий, основанных на пуццолановых свойствах летучей золы для улучшения качества. В частности, это касается цементной промышленности (производство цемента, бетона и растворов).

Летучая зола тепло- и электростанций может варьироваться по качеству, что



Рис. 3. Пантеон, Рим

обуславливает разное содержание в ней воды и, соответственно, прочность бетона. Различия в потере веса на прокаливании вызывают различия в цвете и других практических свойствах. Качество золы отличается, если электростанция не функционирует непрерывно или используются разные технологические процессы. С 1980-х гг. использование летучей золы регламентируется все большим количеством британских и европейских стандартов качества. Некоторые из этих стандартов применяются для цементов и бетонов, содержащих летучую золу.

### Летучая зола в производстве цемента

В производстве портландцемента ЛЗ применяется либо в качестве частичного заменителя диоксида кремния, либо смешивается или перемалывается с портландцементом для производства

Таблица 3. Требования британского стандарта качества BS 6610

Номер стандарта	BS 6610: Пуццолановый цемент с использованием ЛЗ 1995
Летучая зола	Должна соответствовать требованиям BS 3892, часть 1 PFA, за исключением требований по тонкости помола, если перемалывается
Уровень ЛЗ*	36 - 55%
Незначительные примеси	0 - 5%
Сопротивление сжатию - (тест EN196-1)	7 дней - 12 Нм <sup>-2</sup> (Па) 28 дней - 22,5 Нм <sup>-2</sup> (Па)
*Как % содержания, т.е. клинкер плюс ЛЗ	



Таблица 4. Требования различных британских стандартов для ЛЗ

Свойство	Требования		
Стандарт	Измельченная ЛЗ BS 3892 часть 1	Измельченная ЛЗ BS 3892 часть 2	ЛЗ BS EN 450
Плотность	более 2000 кг/м <sup>3</sup>	-	±150 кг/м <sup>3</sup> - от заявленного объема
Тонкость помола	менее 12% остаток на сите в 45 мкм	менее 60% остаток на сите в 45 мкм*	менее 40% остаток на сите в 45 мкм. Должно составлять ± 10% от заявленного количества
Прочность	менее 10 мм 30% ЛЗ + 70% ПЦ (BS12 42,5)	-	менее 10 мм 50% ЛЗ + 50% цем 1 42,5
Сера: Максимальное содержание в виде SO <sub>3</sub>	менее 2,0%*	менее 2,5%*	менее 3,0%
Хлорид	менее 0,10%	-	менее 0,10%
Оксид кальция	Выражается как общее содержание СаО менее 10%	-	Выражается как свободный СаО менее 1,0% или менее 2,5% если прочность удовлетворительна
Потеря веса на прокаливание Содержание влаги	менее 7,0%* менее 0,5%	менее 12,0%* менее 0,5% если не используется увлажненная зола	менее 7,0% <sup>1</sup> Должна быть сухой
Требования по воде	менее 95% ПЦ 30% ЛЗ + 70% ПЦ (BS12 42,5)	-	-
Индекс активности EN450 - EN 196-1	-	-	более 75% за 28 суток более 85% за 90 суток 25% ЛЗ + 75% цем 1 42,5
Коэффициент прочности BS3892 ч. 1 прил. F	более 0,80 за 28 дней	-	-
* Абсолютные лимиты. Другие значения - самоконтролирующиеся лимиты. <sup>1</sup> Допускается только на национальном уровне.			ПЦ - портландцемент, ЛЗ- летучая зола, цем. - цемент

портланд летучей золы или пуццолановых портландцементов. В настоящее время стандарты качества для цемента позволяют использование ЛЗ в различных количествах, при условии соответствия ЛЗ требованиям по потере веса на прокаливание, по содержанию кремния и СаО. Также разрешены добавки не измельченной ЛЗ в некоторые виды цемента для снижения его себестоимости и улучшения долгосрочных прочностных

характеристик.

Помимо цементов, разрешенных стандартами качества ЕС, пуццолановый цемент с использованием ЛЗ разрешен в Великобритании (стандарт BS 6610). Основные характеристики описаны в таблице 3.

Данные стандарты качества для цементов формируют основные правила использования ЛЗ в производстве цемента.

### *Летучая зола в производстве бетона*

В соответствии с требованиями стандарта качества BS EN 206, для улучшения отдельных характеристик бетона в состав могут быть добавлены тщательно отделенные друг от друга неорганические компоненты. Существует два вида добавок: Вид I - инертные или почти инертные добавки и Вид II - пуццолановые или латентные гидравлические (затвердевающие в воде) добавки. Существует множество добавок обоих типов, которые могут применяться как по отдельности, так и комбинированно.

Британский стандарт качества (BS 3892) описывает использование ЛЗ в производстве бетона:

- в *Части 1* описывается ЛЗ для производства бетона. Это добавка Вида II и включается исключительно в цементную составляющую смеси. Применяются строгие требования качества. Зола должна быть исключительно каменноугольной и должна соответствовать определенным параметрам по тонкости помола, потере веса на прокаливании, пределу прочности и вододерживанию.
- в *Части 2* [4] описывается добавка ЛЗ Вида I для производства бетона. Эти виды ЛЗ не обрабатываются. Требования по тонкости помола и потере веса на прокаливании значительно мягче, чем для Вида II.
- в *Части 3* [5] описывается ЛЗ для производства цементных растворов.

Еще один стандарт BS EN 450 [6] описывает каменноугольную золу, но имеет другие, в отличие от ЛЗ, описанной в части 1, параметры по тонкости помола и потере веса на прокаливании. В нем представлено понятие "индекс активности" - ИА, метод оценки обычных смесей золы/раствора; минимальные значения ИА - 28 дней и 90 дней. Для этой области применения ЛЗ не требует обработки, но, тем не менее, ЛЗ должна обладать определенной консистенцией. Если необходимо, зола может быть подвержена дополнительной обработке для улучшения характеристик. Эти характеристики представлены в таблице 4.

В Великобритании ЛЗ успешно применяется в строительстве объектов. Показатели ресурса прочности и рабочих характеристик получили превосходные оценки.

### *Свойства измельченной ЛЗ по стандарту BS 3892 часть 1 и ЛЗ по стандарту BS EN 450*

В Великобритании были проведены исследования для оценки характеристик и отличий зол по двум стандартам. Отличия были обнаружены как до классификации (по EN 450, ЛЗ), так и после (по BS3892 часть 1, измельченная ЛЗ). Образцы тестировались по обоим стандартам. Методы испытаний по BS 3892 часть 1 представляются более сложными.

Бетон в Великобритании производится в соответствии со стандартом BS EN206, который накладывает небольшие ограничения на использование добавок. В стандарте лишь указано, что добавки Вида I и Вида II могут быть использованы в бетоне в тех же количествах, что и при начальных испытаниях. Существуют испытания, необходимые для демонстрации того, что смесь удовлетворяет всем указанным требованиям для влажного и застывшего бетона. Ситуация осложняется, когда добавки принимаются в расчет как часть общей цементной составляющей, а также при подсчете водоцементного соотношения. В BS EN 206 содержатся требования по ЛЗ (BS EN 450) и эти требования могут быть применены где угодно. Также допускается использование других правил, если установлена применимость этих правил.

### *Преимущества использования летучей золы в производстве бетона*

ЛЗ широко применяется в производстве бетона, где необходимы ее преимущественные характеристики:

- повышенная долгосрочная прочность;
- пониженная проницаемость (минимизация сокращения и расширения, что обеспечивает повышенную стойкость к воздействию хлоридов и сульфатов);
- снижение рисков реакции с щелочами кремния;

- снижение температурного расширения широких секций;
- более схваченный бетон со сниженной степенью выступания цементного молока, более легкое сжатие и прокачивание насосами и более качественная внешняя поверхность;
- пониженное вредное воздействие на окружающую среду (замена 1 тонны портландцемента сокращает выбросы  $\text{CO}_2$  на 900 кг);
- экономичное производство бетона.

ЛЗ широко применяется на заводах по производству товарного бетона и использовалась в ряде широкомасштабных проектов, таких как строительство Барьера на Темзе, туннеля под Ла-Маншем, Кэнари Уорф, станции метро Джубили Лайн и пятого терминала аэропорта Хитроу. Особенно успешным оказалось применение ЛЗ при строительстве взлетных полос и рулежных дорожек (рис. 4). Качество бетона с использованием ЛЗ обусловлено долгосрочной прочностью, низким вредным воздействием на окружающую среду и хорошим внешним видом.



Рис. 4. Заливка рулежных дорожек. Аэропорт East Midlands

### **Летучая зола в производстве сборного бетона**

Так же как и с товарным бетоном ЛЗ используется для улучшения ряда качеств широкого спектра бетонной продукции, например, бордюрный камень, тротуарная плита, канализационные и сточные трубы. При необходимости зола может поставляться как в соответствии с

необходимым стандартом, так и в дешевой форме "по усмотрения клиента". В последнем случае зола не сортируется, не обрабатывается и не тестируется. Тем не менее, качество золы не вызывало больших нареканий.

### **Летучая зола в производстве строительных блоков**

В 2001 г. объем рынка готовых строительных блоков в Великобритании составлял приблизительно 36,6 млн. м<sup>2</sup>. Большинство строительных блоков содержат ЛЗ или золу ТЦПС. Зола либо входит в цементную составляющую, либо используется как добавка для изготовления плотных и пористых бетонных блоков. Как минимум 30% цемента может быть замещено ЛЗ.

На британском рынке готовых сборных блоков порядка 24% составляют легковесные блоки (плотность 1000-1500 кг/м<sup>3</sup>) и 31% - блоки из автоклавного ячеистого бетона (400-800 кг/м<sup>3</sup>). Данные блоки обладают высокими термоизоляционными и противопожарными качествами, а также высоким соотношением прочность/вес. Они соответствуют британским стандартам и существенно снижают прямые и косвенные издержки, поскольку для них требуются более легкие фундаменты, каркасы, меньше изоляции, а также повышается производительность труда при кладке.

### **Автоклавный ячеистый бетон**

Автоклавный ячеистый бетон - это легкий материал, используемый при строительстве жилых и нежилых зданий, который производится в виде блоков или в виде армированных сталью панелей. Материал характеризуется четкой структурой с воздушными порами диаметром 0,1-2 мм. Автоклавный ячеистый бетон обладает высоким соотношением прочности к плотности, что позволяет использовать его в несущих элементах конструкций там, где требуется эффективная термоизоляция.

Автоклавный ячеистый бетон изготавливается путем смешивания

тщательно  
сортированных  
известковых и  
кремниевых  
компонентов  
автоклавной реакцией.  
Кремниевый компонент  
как правило содержит  
оксид кальция, иногда  
смешанный с  
портландцементом.  
Кремниевая  
составляющая зачастую  
разбавляется кварцем,  
полученным из песка  
или песчаника. Помимо  
этого может использоваться материал,  
содержащий аморфный кремний или  
алюмосиликатное стекло. ЛЗ электро- и  
теплостанций - это подходящий  
кремнесодержащий материал, который  
широко применяется в Великобритании для  
производства автоклавного ячеистого  
бетона.

### *Летучая зола в производстве легких бетонных сборных блоков*

В 2001 г. В Великобритании для различных  
целей было произведено свыше  
22,68 млн. м<sup>2</sup> стеновых блоков из легкого  
бетона (плотность 1000-1500кг/м<sup>3</sup>).



Рис. 5. Стеновые блоки из тяжелого и легкого бетона

Большая часть золы из ТЦПС  
использовалась в производстве блоков из  
легкого бетона, которые являются дешевым  
материалом общего пользования, как в

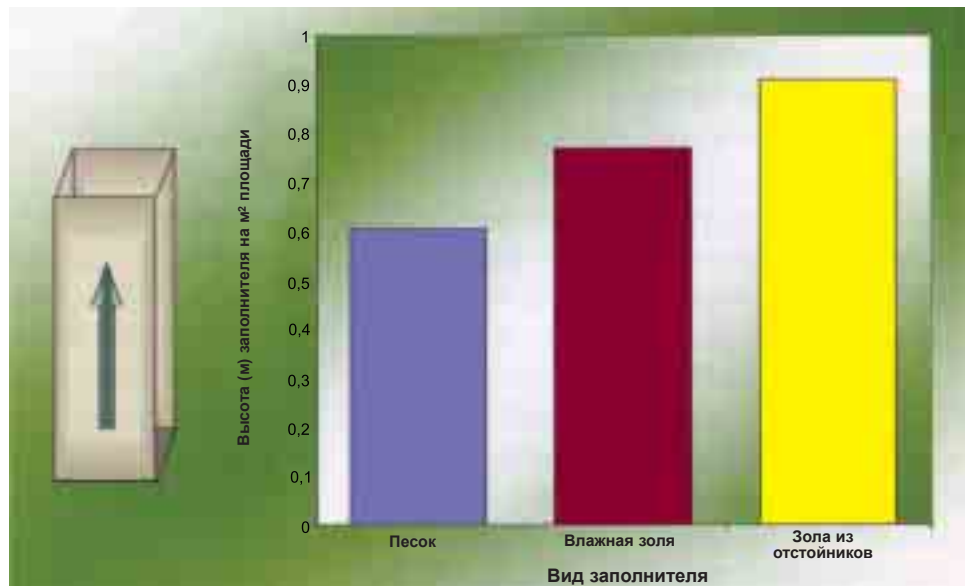


Рис. 7. Наполнение на м<sup>2</sup> площади



Рис. 6. Вид сверху на современный завод по  
производству сборных стеновых блоков из легкого  
бетона

несущих, так и в не несущих конструкциях.  
Они используются и в блочном, и в  
каркасном строительстве.

Стеновые блоки из легкого бетона  
производятся в различных конфигурациях:  
полые, ячеистые и сплошные, в  
зависимости от требований заказчика.



### *Летучая зола как отсыпной материал*

ЛЗ успешно применяется как отсыпной материал с 1950-х гг. Она обладает рядом преимуществ перед натуральными материалами: низкой плотностью (рис. 7), высокой прочностью на сдвиг и на оседание.

ЛЗ пригодна для использования в трех формах (уловленная зола; зола золовых отвалов и зола золовых отстойников). В Великобритании ЛЗ классифицируется как связующий материал-наполнитель для



Рис. 8. Отстойник ЛЗ

общих и строительных целей. Для общих целей применяется любая ЛЗ, а для строительных - только отсортированная зола. По прошествии времени ЛЗ обретает прочность, подвергаясь влиянию различных факторов.

При попадании воды pH золы изменяется и достигает 9-11.

Больше всего сульфата присутствует в ЛЗ в виде гипса, обладающего низкой растворимостью. Испытания подтвердили, что содержание растворимого в воде сульфата во влажной золе и золе для отсыпания находится между 2 и 3 уровнями (в соответствии с BRE Digest 363 [7]).

Потеря веса на прокаливании (ПВП)- это измерение содержания углерода, обеспечивающего низкую плотность и возможность удерживать воду. Таким образом, ПВП влияет на максимальную сухую плотность и оптимальное содержание влаги. Золой с более высоким значением ПВП обладают более низкой

плотностью, но более высоким оптимальным содержанием влаги.

Содержание влаги важно для достижения необходимых значений по сжатию и плотности и учитывается, поскольку, в зависимости от источника, содержание влаги в золе варьируется. В общем, сухая зола требует меньшего количества влаги для достижения полной плотности, по сравнению с золой из отстойников. В действительности достаточная плотность достигается при значениях содержания влаги 0,8-1,2 по отношению к оптимальному содержанию.

Уплотнение также различается в зависимости от источника. Максимальная сухая плотность и оптимальное содержание влаги взаимосвязаны - чем плотнее зола, тем ниже оптимальное содержание влаги. Плотность зависит от содержания влаги.



Рис. 9. Использование ЛЗ в насыпных работах



Рис. 10. Использование ЛЗ при ландшафтном строительстве парка Лланели

Свойства золы могут зависеть как от источника, так и от эксплуатационных характеристик одного объекта, если они меняются. Например, свойства плотности золы меняются при изменении коэффициентов загрузки электростанции. Другие характеристики, влияющие на



качество золы, включают плотность, прочность, жесткость, пористость, проницаемость, и сопротивляемость к расширению при замерзании.

### Восстановление земель

Существует несколько технологий восстановления земель с использованием цементирующих свойств золы для укрепления влажных и/или зараженных почв для строительства. ЛЗ можно смешивать с почвами с недостаточным содержанием оксида кремния для получения пуццолановой реакции. ЛЗ используется и является высокоэффективным заполнителем для осушки влажных почв.

### Летучая зола в цементации почв

Цементация почв необходима для улучшения устойчивости земель, сопротивления сдвигу и снижения водопроницаемости. Результат достигается путем введения в почву суспензий, эмульсий и растворов для улучшения геотехнических свойств почв и скальных пород. Зольные растворы готовятся на местах с использованием ЛЗ,

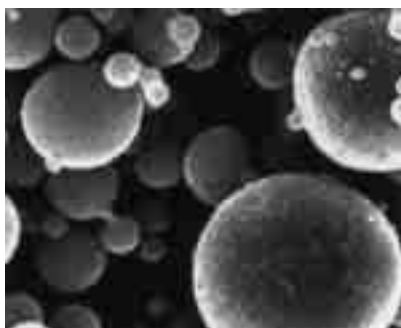


Рис. 11. Сферические частицы ЛЗ

портландцемента и воды. Многие годы ЛЗ используется вместо песка и цементных растворов из-за ее технологической и реологической долговечности и экономических преимуществ.

ЛЗ обладает рядом преимуществ перед песчаным цементом, включая пониженную степень выступания цементного молока, долговечность, отличную прокачиваемость насосами и сниженную влагопроницаемость.

### Свойства золы для цементации почв

Форма частиц и плотность - важные качества ЛЗ. ЛЗ состоит из сферических частиц размером от 1 до 150 мкм. Для цементации используются сухая, влажная зола или зола из отстойников. Последняя, как правило, более грубая. За счет постоянства гранулометрического состава частиц золы из отстойников отличные реологические свойства золы передаются растворам.

### Структура летучей золы

ЛЗ состоит из оксидов кремния, алюминия, кальция и железа (рис. 12). Состав оксидов зависит от источника. Пониженная плотность частиц ЛЗ (по сравнению с песком и цементом) может являться преимуществом, поскольку получаемый

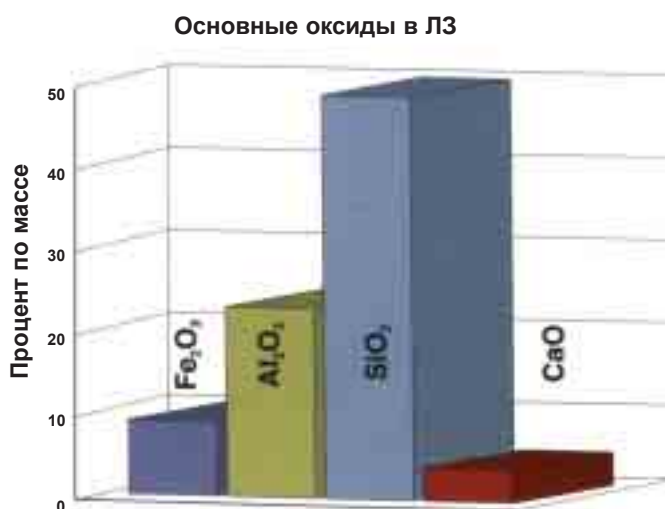


Рис. 12. Основные оксидные компоненты летучей

раствор обладает меньшей плотностью, что может быть важно, если вес играет роль. Коммерчески используются растворы только с ЛЗ, ЛЗ/цемент, ЛЗ/известняк, ЛЗ/цемент/глина, ЛЗ/цемент/песок и ряд других специальных растворов (рис. 13).

### Поставка ЛЗ для растворов

ЛЗ может поставляться в сухом виде, навалом, в мешках или во влажном виде (содержит определенное количество воды для облегчения транспортировки и снижения пыльности).

Зола для строительства отстойников после осушения отстойников может использоваться повторно.



Рис. 13. Использование ЛЗ в отработанных горных выработках

### Свойства растворов с ЛЗ

Растворы с ЛЗ долговечнее, чем цементные растворы. Важными свойствами являются пластичность (мера технологичности раствора) и степень выступания цементного молока. ЛЗ повышает устойчивость растворов. Прочностные характеристики - это важнейшие качества, и, поскольку ЛЗ - это пуццолан, она реагирует с известняком, в результате чего образуются сложные кремниево-кальциевые гидраты, и раствор приобретает прочность. Известняк может добавляться в виде гашеной извести или в виде побочного продукта реакции портландцемента с водой, которая продолжается длительное время. Качества растворов с ЛЗ могут быть улучшены с помощью добавок, что позволяет производить широкий круг изделий.

### Летучая зола в производстве легковесных заполнителей

ЛЗ используется в производстве прочного, облегченного бетона и заполнителя (спеченной, измельченной золы, также называемой Lytag). Это осуществляется путем грануляции ЛЗ (рис. 14). Размер конечных изделий может варьироваться.



Рис. 14. Оборудование для гранулирования

### Свойства и области применения легковесных заполнителей

Важнейшие свойства легковесных заполнителей - это плотность, пожароустойчивость, стойкость к перепадам температуры и форма. Заполнители используются в легких строительных бетонах, потолочных и напольных покрытиях, в качестве фильтрующего и пожароустойчивого материала, для отсыпания дорожных обочин, игровых и спортивных площадок, отделки туннелей, в качестве заполнителя и для широкого круга садоводческих целей.



Рис. 15. Использование бетона с легковесным заполнителем Lytag на Canary Wharf, Лондон



Рис. 16. Использование Lytag для отсыпания дорожных обочин

Таблица 5. Разброс состава глины для кирпичей и летучей золы

Элемент		Глина для кирпича, %	ЛЗ, %
Кремний	SiO <sub>2</sub>	80 - 43	58 - 38
Алюминий	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35 - 8	40 - 20
Железо	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12 - 0	16 - 6
Известняк	CaO	26 - 0	10 - 2
Магний	MgO	13 - 0	3,5 - 1
Калий	K <sub>2</sub> O	6,5 - 1,5	} 5,5 - 2,0
Натрий	Na <sub>2</sub> O	1,5 - 0	
Сера	SO <sub>3</sub>	5,6 - 0	2,5 - 0,5

#### Летучая зола в строительстве дорог

ЛЗ используется в различных слоях при строительстве дорог и взлетно-посадочных полос. Их общее название - связанные зольные смеси. Это смеси ЛЗ с одним или более компонентами, технические свойства которых зависят от пуццолановых качеств летучей золы. Основными задачами является снижение потребления традиционных материалов и оптимизация затрат. Может использоваться как старая, так и свежая зола. Большинство зол, производимых в Великобритании, по техническим характеристикам подходят для связанных зольных смесей. Существует несколько способов их изготовления. В основном они централизованно изготавливаются на дозаторных установках. Уплотнение смеси может быть осуществлено непосредственно на месте, после чего она может быть использована в качестве алкалиновой битумной эмульсии.

#### Высокозольный бетон

Высокозольный бетон (ВЗБ), как правило, содержит от 50% до 70% ЛЗ, смешанной с портландцементом. Необходимое низкое содержание воды достигается за счет использования суперпластификаторов. С 1980-х гг. в Великобритании было осуществлено несколько проектов с использованием ВЗБ, для которого основным рынком является США. Большая часть ЛЗ в составе ВЗБ реагирует не пуццолановым образом, образуя эффективный инертный заполнитель

внутри бетонной смеси.

#### ЛЗ как добавка в глину при производстве кирпичей

ЛЗ применяется при производстве обычных кирпичей, состав которых может сильно различаться (таблица 5). Летучая зола по составу похожа на глину для производства кирпича, и количество добавляемой золы зависит от типа глины. Для тяжелой глины требуется больше золы, а также может применяться более крупная зола.

Эффективность различных комбинаций глин с золами может варьироваться, и это необходимо учитывать в каждом конкретном случае. При производстве кирпичей зола может использоваться как основной компонент или как вспомогательный. Несмотря на крупномасштабные исследования в этой области, в Великобритании ЛЗ используется не слишком часто в этих целях, в основном, из-за близкого расположения глиняных карьеров к кирпичным производствам. Также играют роль льготы в налогообложении для производителей кирпичей. Поскольку ЛЗ требует транспортировки, стоимость продукта увеличивается. Тем не менее, в небольших количествах ЛЗ используется некоторыми производителями для снижения расхода глины и использования положительных характеристик несожженного углерода в золе для снижения расхода топлива при обжиге и снижения эффекта усадки кирпичей при высыхании.

## Новые и разрабатываемые технологии

### *Летучая зола в асфальте*

Горячий укатанный асфальт (ГУА) широко применяется для покрытия автомобильных дорог и особенно дорог с большой нагрузкой. Асфальт производят путем нагревания смеси минеральных компонентов, заполнителей и битума до относительно высокой температуры. Затем смесь укладывают и укатывают. Как правило, в качестве заполнителя используется известняковая пыль. Замена ее летучей золой улучшает укладочные свойства смеси по сравнению с обычным асфальтом: уменьшает плотность и повышает долговечность. Также стоит учитывать экономию энергии. ЛЗ также используется в пенобитумных продуктах, где за счет сферичности частиц золы можно снизить расход битума.

### *Ксеносферы*

При удалении в отстойники небольшая часть золы (1-2%) остается на поверхности. Это ксеносферы - полые частицы расширившегося силикатного стекла. Основные характеристики - размер от микронов до миллиметров, сверхнизкая плотность, низкая теплопроводность, высокая прочность, стойкость к кислотам и низкое влагопоглощение. Основное применение этого материала - инертный заполнитель, который улучшает реологию заполнителей, как в сухом, так и в мокром способах применения. Таким образом, они применяются в обычных пластмассах, стеклопластиках, огнестойкой облицовке и почти во всех областях, где применяются традиционные заполнители. Важными областями применения также являются аэрокосмическая промышленность, садоводство; производство дорожного покрытия, шпатлевки, материалов для ремонта бетона, а также добавок в изолирующие материалы и огнеупорную глину.

### *Заполнители*

Основной областью применения золы является строительная промышленность,

где потребности рынка удовлетворяются большими объемами производства. Зола в больших количествах используется в качестве заполнителей, а также в сельском хозяйстве.

ЛЗ используется в качестве добавки в заполнителях и изоляционных материалах с целью минимизации усадки. В некоторых ситуациях ЛЗ используется как наполнитель в составе лакокрасочных материалов. Ежегодно в Великобритании производится 500 млн. литров краски и 5 млрд. литров в Европе, что делает этот рынок весьма перспективным.

### *Сельское хозяйство*

Помимо органического углерода и азота в состав золы входит большинство элементов, входящих в состав почвы, что обуславливает использование ЛЗ в сельском хозяйстве. Зола повышает качество почвы и урожая, особенно на плохих землях. Таким образом, свойства почвы могут быть улучшены за счет улучшения текстуры, изменения плотности, увеличения влагопоглощения, нейтрализации кислотности и снижения неровностей поверхности.

ЛЗ положительно влияет на рост и урожайность. Удобрения на основе золы продаются во многих странах, включая США. Удобрения на основе ЛЗ и отходов систем десульфуризации дымовых газов особенно ценны из-за наличия важных питательных веществ и для нейтрализации кислых почв. Несколько видов таких удобрений доступны на рынке.

### *Аэрированная керамика*

Экспериментальные разработки в США и Великобритании [8] показали, что зола может использоваться при производстве аэрированной керамики путем добавления небольших количеств пенного агента и других материалов. В США производятся изделия размером до 1,2 м x 0,6 м x 0,1 м.

### *Использование существующих золоотвалов для развития земель*

В Великобритании бывшие золоотвалы



переводятся в промышленные земли и земли для производств и офисов. При этом, несмотря на все преимущества, жилищное строительство на этих территориях идет меньшими темпами.

Там где золоотвалы были возвращены в земельный оборот, земля используется в сельскохозяйственных и рекреационных целях (футбольные поля и т. д.). В настоящее время осуществляется несколько крупных подобных проектов.

### **Отходы новых и разрабатываемых технологий**

#### *Отходы от сжигания угля в псевдоожигенном слое*

Отходы процессов сжигания угля в псевдоожигенном слое существенно отличаются от отходов установок сжигания измельченного угольного топлива тем, что они не могут выйти на существующий рынок золы. До тех пор пока не будут производиться значительные объемы этих веществ, не может быть осуществлен их контроль качества, а их потребительские свойства могут определяться только на основе единичных случаев их применения. Определенные характеристики некоторых из этих веществ, такие как самозатвердевание, обуславливают их применение в инженерных и строительных работах, а содержание в них свободного известняка привлекательно для сельского хозяйства. Возможные другие области применения - это строительство, сельское хозяйство и связывание мусорных отходов. В настоящее время зола из систем СПС используется как добавка и пуццолан в производстве бетонных блоков. Свободный известняк и содержание сульфатов в золе при сжигании в циркулирующем псевдоожигенном слое ограничивают ее применение в этой области. Сейчас ведутся разработки в области применения такой золы в других сферах.

#### *Отходы от газификации*

Как и отходы от сжигания угля в псевдоожигенном слое, отходы от газификации угля существенно отличаются

по своим свойствам от летучей золы и поэтому они не могут применяться в существующих областях. Поскольку зола от газификации существует в ограниченных количествах, она использовалась в основном как заполнитель. Помимо этого она применялась в производстве кирпичей и подземной закладке. Также поступали различные предложения использования этой золы с учетом ее особых характеристик.

#### *Зола от совместного сжигания*

Различные вещества, совместно сжигаемые с углем, при добавлении в больших пропорциях могут существенно ухудшить качество золы и таким образом снизить ее коммерческую привлекательность.

Совместное сжигание с углем биомассы и мусорных отходов приобретает все большую значимость во многих странах, особенно в Европе, поскольку это помогает соблюдать обязательства по снижению выбросов CO<sub>2</sub>. Исследования подтвердили, что, за некоторыми исключениями, по свойствам зола от совместного сжигания незначительно отличается от угольной золы. Тем не менее, некоторые изменения химического состава (например повышенное содержание щелочей, фосфатов и тяжелых металлов) все-таки имеют место. На данный момент изменений свойств бетона с использованием золы от совместного сжигания не обнаружено.

#### *Отходы технологий контроля эмиссии*

Отходы технологии десульфуризации дымовых газов успешно утилизируются в нескольких областях, в частности, в США [9] 95% произведенного гипса используется для производства гипсокартона, отделочных материалов и портландцемента. Помимо гипса, некоторые вещества, содержащие большие количества гипса и сульфитов, применяются в сельском хозяйстве. При этом во многих областях эти отходы не используются по экономическим или законодательным причинам.

Области применения отходов технологии десульфуризации дымовых газов включают



производство гипсокартона, структурных заполнителей, портландцемента, пластмассы, красящих веществ, строительных растворов, а также горное дело и сельское хозяйство.

## Обогащение золы

Количество золы, удовлетворяющей требованиям заказчика, всегда ограничено на рынке. Характеристики золы для строительных материалов и/или других востребованных продуктов требуют улучшения. Считается, что характеристики материалов, ранее классифицируемые как отходы, могут быть улучшены путем контроля качества. Такие материалы могут также быть использованы и востребованы рынком (рис. 17). В отношении золы это - обогащение.

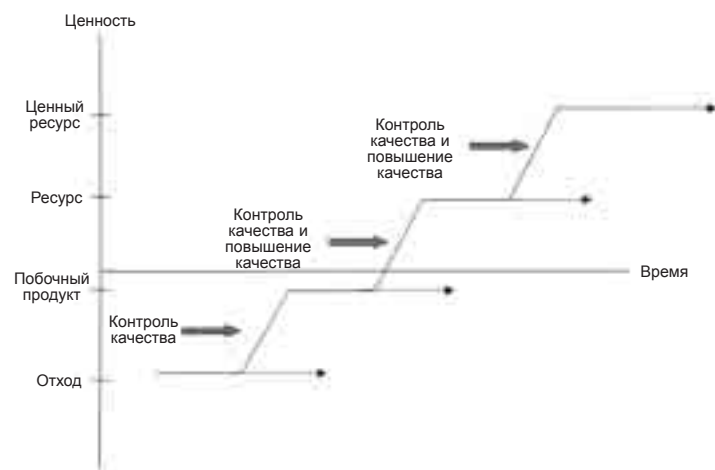


Рис. 17. Повышение качества золы как рыночного продукта



Рис. 18. Обогащение золы

Существует несколько технологий и систем улучшения качества золы:

## Сортировка и смешивание

Зола может быть разделена на составляющие, обладающие полезными свойствами, в основном путем просеивания и разделения на фракции. Это помогает снизить содержание остаточного углерода. В Европе существует несколько предприятий обогащения золы. Пример показан на рис. 18.

## Измельчение золы

Сортировка золы по крупности иногда не удовлетворяет особым требованиям, и их невозможно достичь только сортировкой и смешиванием. Например, в высокопрочных бетонах в качестве сырья предпочитается сверхмелкая зола (<10 мкм). Тонкий помол иногда применяется для уменьшения всех частиц до максимально возможных величин для улучшения качества продукта.

## Флотация золы

Флотация в простейшей форме применяется для отделения ксеносфер с поверхности золоотстойников. В более сложных системах флотации применяется вспенивание и некоторые агенты для разделения материалов. Данная технология - хороший способ отделения углерода от золы. Негативную роль может сыграть необходимость сушки вещества.

## Технологии магнитного отделения

В летучей золе в значительных концентрациях могут содержаться ферромагнитные материалы, которые могут быть извлечены с помощью магнитной сепарации. Извлечение магнитных частиц из летучей золы с помощью электромагнитов дает золу с повышенной текучестью для строительных растворов. Этот процесс часто является частью комбинированной системы.

## Извлечение углерода

Большое содержание углерода ограничивает применение золы. Значительные усилия были приложены для разработки технологий снижения его содержания в золе [11], в частности, дожигание углерода (в СПС), электростатическое разделение, пенная флотация, пневматическое разделение и трибоэлектрическая сепарация. Первые две технологии применяются коммерчески. Вторая схематически представлена на рис. 19.

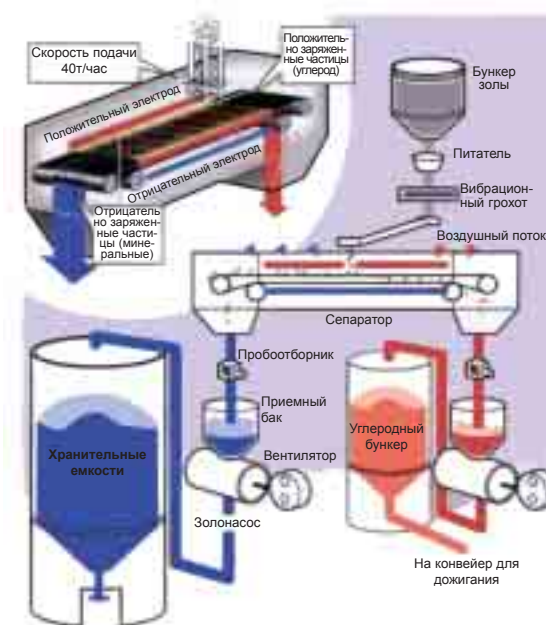


Рис. 19. Электростатическая сепарация

Электростатический сепаратор обрабатывает широкий спектр зол и понижает содержание углерода в золе с 30% до 2%, таким образом удовлетворяя требованиям для ее использования в бетоне.

## Химическая обработка

Пуццолановые свойства золы могут быть улучшены путем использования  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  или  $\text{CaCl}_2$ . Золы с относительно высоким содержанием выщелачиваемых солей могут быть восстановлены путем длительного выдерживания в отстойниках. Зола с высоким содержанием известняка, особенно при применении новых чистых угольных технологий, после гидрообработки может использоваться в производстве цемента и бетона.

Таблица 6. Основные потребители угля для производства электроэнергии

Страна или регион	Доля угля в производстве электроэнергии
Польша	94,8%
Южная Африка	93,0%
Индия	78,3%
Австралия	76,9%
Китай	76,2%
Чехия	66,7%
Греция	62,3%
Германия	52,0%
США	49,9%
Дания	47,3%
Великобритания	32,9%
ЕС15	27,2%

## Комбинированные технологии обогащения

В Европе было построено несколько предприятий обогащения и смешивания золы для производства высококачественной продукции из золы (рис. 20). Некоторые из них специализируются, например, на поставке высококачественной летучей золы и продуктов на ее основе для цементной и строительной промышленности. Также могут производиться специальные материалы.

Несколько таких предприятий располагаются в Великобритании, например RockTron, который производит золу на заказ для изготовления обширного ассортимента



Рис. 20. Предприятие по упаковке золы ScotAsh на электростанции Longannet

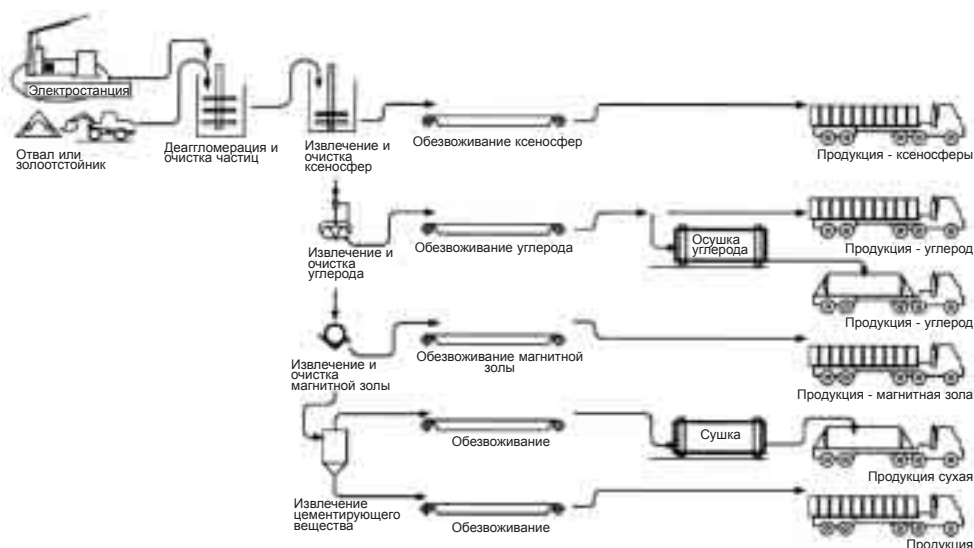


Рис. 21. Упрощенная схема обогащения золы на предприятии RockTrop

продукции [12]. Обработывается как свежая зола, так и материалы, хранившиеся длительное время. Таким образом достигается энергосбережение и снижается вредное воздействие на окружающую среду.

## УТИЛИЗАЦИЯ ЗОЛЫ В МИРЕ

### Производство золы на угольных электростанциях

При нынешних темпах добычи запасы угля оцениваются на более чем 200 лет. По последним оценкам запасы угля составляют 950 000 млн. тонн на конец 2002 г. [13]. Запасами угля обладают практически все страны, извлекаемыми запасами - порядка 70 стран. Крупнейшими запасами обладают США, РФ и Китай.

Мировая добыча каменного угля за последние 25 лет выросла более чем на 46% до 3837 млн. тонн в 2002 г. Основные добывающие страны: Китай (1326 млн. т.), США (916 млн. т.), Индия (333,7 млн. т.), Австралия (276 млн. т.), ЮАР (223 млн. т.), Россия (163,6 млн. т.), Индонезия (101,2 млн. т.), Украина (82,9 млн. т.) и Казахстан (70,6 млн. т.).

Добыча бурого угля в 2002 г. составила

876,5 млн. т. Ведущие производители и потребители - Германия, Греция и Северная Корея.

Уголь удовлетворяет свыше 23% процентов мировой потребности в энергии. Приблизительно 38% электричества в мире производится из угольного топлива. Польша, ЮАР, Австралия, Китай и Индия основную часть электроэнергии получают из угля. Более 50% электричества в Чехии, Греции и Германии вырабатывается на угольных электростанциях [14].

Основные производители электроэнергии из угля представлены в таблице 6. По оценкам, в 2000 г. в мире было произведено 480 млн. т. угольной золы (рис. 22), большая часть - в семи странах или регионах.

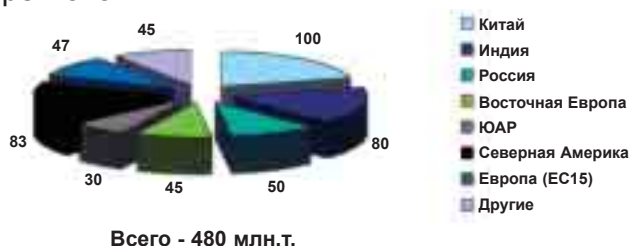


Рис. 22. Производство золы в мире в 2000 г. в млн. т.

### Китай

С 1949 г. в Китае произведено свыше 2,2 млрд. т. золы, которая покрывает территорию более 300 км<sup>2</sup>. В последние годы выработка электроэнергии из угля и,

соответственно, золы значительно увеличилась. Китай ежегодно производит приблизительно 160 млн. т. золы. К 2005 г. ожидается рост до 250-260 млн. т., к 2010 - 320-380 млн. т., к 2020 - 570-610 млн. т. Китайское правительство активно работает над этим вопросом.

Многие годы зола утилизировалась, но до 1980-х гг. уровень ее утилизации оставался низким (~10%). С тех пор уровень утилизации значительно возрос. В 2002 г. общий уровень производства золы составил 150 млн. т., из которых 100 млн. т. было утилизировано. В последние годы замечен рост применения современных технологий очистки дымового газа, что значительно улучшает качество золы и повышает возможности ее использования. Современные угольные котлы производят высококачественную золу, применяемую в cemento-использующих отраслях и производстве кирпичей. Правительство активно стимулирует утилизацию золы. В результате, использование золы должно достигнуть 65% в 2005 г.



Всего 150 млн.т. (2002), утилизировано 66%

Рис. 23. Утилизация золы в Китае

На рис. 23 отражено использование золы по отраслям. Большая часть золы потребляется строительной промышленностью, для чего разработаны свыше 20 стандартов. В настоящее время в Китае зола используется достаточно широко, некоторые отрасли применения развиты больше, чем другие. Это, например, производство цемента, бетона, гипсокартона, кирпичей, заполнители для различных целей, строительство дорог, сельское хозяйство (в качестве удобрения).

Для решения проблемы недостатка сельскохозяйственных земель старые золоотстойники как правило возвращаются в сельскохозяйственный оборот (рис. 24 и 25).



Рис. 24. Золоотстойник (электростанция Qingzhen, провинция Гуйян)



Рис. 25. Сельскохозяйственные земли на месте бывшего золоотстойника (электростанция Qingzhen, провинция Гуйян)

## Индия

Порядка 75 объектов ежегодно производят приблизительно 80-100 млн. т. золы, помимо этого 10 млн. т. производится промышленными электростанциями. При среднем содержании золы 40% и предполагаемом потреблении угля в объеме ~285 млн. т., производство золы оценивается на уровне ~115 млн. т.

Уровень утилизации золы значительно увеличился с 10% в 2000 г., до нынешних ~26%, из которых 19 млн. т. было использовано в производстве цемента. Остальная зола использовалась как ландшафтный заполнитель и т.д. Этот рост стал результатом давления правительства, которое требует практически стопроцентной утилизации золы на новых электростанциях в течение следующих 9 лет и 15-ти для существующих электростанций.

В рамках мероприятий по увеличению доли



утилизируемой золы правительства принимают различные инициативы по стимулированию утилизации и осведомленности о технологиях хранения золы. Были определены ключевые моменты и уже запущен ряд демонстрационных проектов.

Производственная мощность индийской цементной промышленности составляет свыше 125 млн. т. цемента в год и продолжает расти. Использование ЛЗ в производстве цемента увеличивается и в настоящий момент достигает 50%. Скорее всего эта доля увеличится, если будет доступно больше сухой золы подходящего качества. В Индии существует большой, но неразвитый рынок для ЛЗ, поскольку активно растет сектор строительства жилых и нежилых помещений, а также дорог. По оценкам, рынки для продукции на основе золы могут значительно увеличиться в ближайшие годы.

### **Россия (включая СНГ)**

Россия обладает вторыми в мире разведанными запасами угля. В России и в Казахстане хорошо развиты угольная промышленность и угольная энергетика, многие электростанции подлежат замещению. Большинство российских электростанций производят влажную золу, чтобы соответствовать новым требованиям по выбросам. Большинство существующих и новых электростанций будут обязаны использовать рукавные фильтры или электрофильтры. Ежегодно угольная энергетика производит более 75 млн. т. золы и шлаковых отходов, из которых утилизируется приблизительно 11%, в основном в виде вторичных стройматериалов. Расстояния между точкой производства и возможными рынками сбыта могут быть значительными.

Вода, используемая для увлажнения золы, часто сливается непосредственно в реки и озера. Экологические последствия этого вызывает большую озабоченность наряду с влиянием на экологию золоотвалов. Таким образом, основные усилия России в этой области направлены на приведение в



Рис. 26. Золоудаление на электростанции в бывшем Советском Союзе

порядок советского наследства.

### **Восточная Европа (включая страны - новые члены ЕС)**

В мае 2004 Кипр, Чехия, Эстония, Венгрия, Латвия, Литва, Мальта, Польша, Словакия и Словения вступили в ЕС. Некоторые из этих стран, в частности, Польша, Чехия и, в меньшей степени, Венгрия, добывают и потребляют значительные количества каменного и бурого угля [16]. Основная добывающая страна и потребитель в бывшей Восточной Европе - Польша, за которой следует Чехия. Они производят 103 и 15 млн. т. угля соответственно.

В 2000 г. основными производителями каменно- и буроугольной золы среди этих стран были Латвия (23,3 млн. т.), Чехия (10,4 млн. т.) и Румыния (6,4 млн. т.).

В Польше, производящей ~15 млн. т. золы в год, утилизируется значительная ее часть (70% в 2001 г.) Утилизация золы значительно возросла после обретения независимости от Советского Союза, как показывает пример одной из электростанций, где утилизация золы возросла с нуля в 1990 г. до 100 тыс. т. в 2003 г. [17].

Более того, в будущем использование золы будет регламентироваться принятыми нормами ЕС в рамках стандартов и законодательства.

### **ЮАР**

В ЮАР угольные электростанции производят 22-24 млн. т. золы в год, при



этом завод сжигания угля Sasol также производит грубую золу, а также золу на электростанциях компании. Таким образом, зола производится в основном из каменного угля и утилизируется несколькими способами. Качество контролируется постоянно в соответствии с международными стандартами с помощью регулярных тестов. Потеря веса на прокаливании ЛЗ составляет, как правило, менее 1%, видимо потому, что не используются горелки с низкой эмиссией NO<sub>x</sub>. Поскольку электростанции располагаются рядом с угольными шахтами, избыточная зола используется как заполнитель в шахтах. В стране из золы производится ряд материалов, в основном для нужд строительства. В разработке находятся новые области применения.

### Северная Америка - США

В 2002 г. производство продуктов сжигания угля составило 128,7 млн. т., из них 45,5 млн. т. (35,4%) было утилизировано. Ежегодное производство золы может сильно колебаться в зависимости от общего количества сожженного угля, зольности угля и объемов очистки дымового газа. ЛЗ составляет большую часть выбросов, по оценкам, ~76,5 млн. т., из которых значительная часть утилизируется (12-13 млн. т. в год), в частности в производстве цемента. Общий объем утилизации золы в США составляет ~26,5 млн. т. и постоянно растет. Использование шлака и синтетического гипса также растет (7,6 млн. т. шлака использовано в дорожных и строительных работах). Синтетический гипс из систем ДДГ используется для производства гипсокартона, ежегодно утилизируется 8 млн. т. Ожидается, что в будущем объемы утилизации продуктов сжигания угля возрастут.

Там где зола не утилизируется, ее часто удаляют на отвалы (с учетом различий в региональных законодательствах). Зачастую регионы напрямую стимулируют увеличение объемов утилизации и золоотвалы часто рассматриваются как потенциальные источники прибыли. Не все энергогенерирующие компании

рассматривают утилизацию золы как важный вопрос. Многие по-прежнему продолжают вывоз золы на отвалы.

Исторически сложилось довольно запутанное отношение правительства к золе, поскольку вопрос регулируется двумя органами - Агентство охраны окружающей среды отвечает за твердые отходы, но при этом ответственность за золу также подпадает и под действие Директивы о чистом воздухе. Характеристики золы также отличаются от штата к штату.

### Северная Америка - Канада

Утилизация золы в Канаде регулируется CIRCA - Канадской ассоциацией переработчиков золы. В CIRCA входят канадские производители отходов сжигания угля с целью увеличить высокотехнологичное, экологически чистое и коммерчески выгодное использование минеральных ресурсов. Работа, в основном, сосредоточена на ЛЗ от сжигания угля, хотя другие материалы (шлак, отходы ДДГ) также представляют интерес.

На Канадскую организацию по стандартам оказывается все больше давления с целью стандартизации использования ЛЗ в производстве бетона, а также разработки точных рекомендаций по использованию ЛЗ и ее количества для добавки в различные вещества. Ожидается, что после принятия этих документов объем утилизации золы увеличится. Также предпринимаются попытки избежать возможные проблемы, вызванные двусмысленной классификацией золы: иногда как продукта, а иногда как отхода. Понимание общественностью того, что золу можно утилизировать оценивается как важный момент. Предпринимаются различные усилия для улучшения общественного понимания потенциальных выгод от утилизации золы.

Осуществляется несколько инициатив, целью которых является продвижение более интенсивного использования "дополнительных цементирующих материалов - ДЦМ". Среди них - Национальный план действий по изменению климата и EcoSmart. Вторая

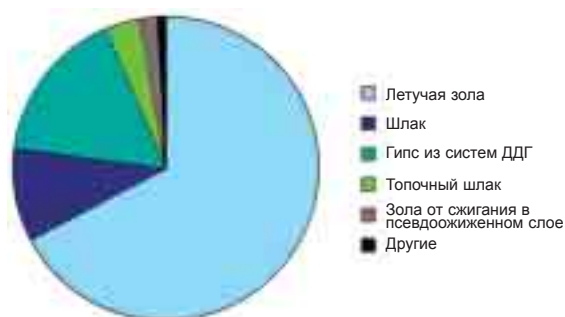
программа направлена на продвижение использования золы в качестве ДЦМ при производстве бетона.

Ратификация Канадой Киотского протокола рассматривается как важный механизм для утилизации золы в будущем, в особенности как цементной добавки. Угольная энергетика и цементная промышленность могут совместно снижать выбросы парниковых газов и, соответственно, свое негативное влияние на окружающую среду.

## Европа (ЕС 15)

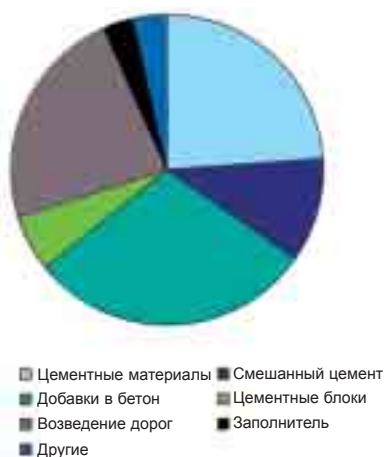
В Европейском Союзе (ЕС15) в 2001 г. было произведено и утилизировано ~60 млн. т. (рис. 27 и 28).

Большая часть от общего производства продуктов сжигания угля (ПСУ) - это летучая зола. В ЕС утилизация золы в



Всего - 59,6 млн. т. (2001 г.)

Рис. 27. Зольные вещества, производимые на европейских энергетических предприятиях



Всего - 18,7 млн. т. (2001 г.)

Рис. 28. Утилизация золы, произведенной на европейских энергетических предприятиях

строительной промышленности составляет

~46%; шлака - ~41%; топочного шлака - 100%. В большинстве случаев ПСУ используются в качестве замены природных ресурсов и таким образом достигается положительный экологический эффект за счет меньшего объема добычи и, соответственно, подземных и открытых горных работ. ПСУ помогают снизить энергозатраты и эмиссии в атмосферу. Они утилизируются в строительной промышленности (добавки в бетон как замена цементу, добавки при строительстве дорог, минеральные заполнители и удобрения). Их использование регламентируется соответствующими национальными и европейскими строительными стандартами и нормами. Относительная утилизация угольной золы в разных странах значительно отличается. В Нидерландах, например, уровень утилизации - 100%. В Германии 75% каменноугольной ЛЗ используется в производстве бетона. В зависимости от спроса, страны торгуют золой между собой.

В Европе на утилизацию значительно влияют существенные затраты и налоги на захоронение отходов. Помимо этого, в ЕС существуют ограничения на отходы по определенным параметрам. В странах ЕС нет общей философии утилизации золы, и каждая страна идет своим путем в этой области.

По поводу ЛЗ нарастает давление со стороны природоохранных организаций. В будущем будут приняты законы, регламентирующие использование ЛЗ с учетом местных условий. По мнению некоторых, строительные материалы, содержащие золу, излучают радиацию. Также есть вопросы по выщелачиваемости при возведении дорог. Помимо этого новые правила могут повлиять на уровень содержания тяжелых металлов.

Количество золы от современных угольных технологий остается низким, и эта зола обычно смешивается с обычной. Коммерческие перспективы такой золы остаются низкими.

## Япония

Япония практически полностью полагается на импортный уголь для энергетических и промышленных целей. Сейчас утилизируется 7 млн. т. (82% от общего объема производства золы).

Приблизительно 78% золы энергетических предприятий и 95% промышленных предприятий утилизируется. Основная часть золы утилизируется в цементной промышленности - 71% (4,89 млн. т.). Помимо применения в цементе и бетоне разрабатываются другие области использования.

## Австралия и Новая Зеландия

Производство золы в Австралии и Новой Зеландии в 2002 г. составило 12,5 млн. т., из которых 4,1 млн. т. было утилизировано. Основные области применения - цементная промышленность (1,35 млн. т.). В других отраслях было утилизировано 0,47 млн. т. 2,28 млн. т. было утилизировано в таких проектах как возведение дорог, заполнение шахт и ландшафтные работы. При этом существуют барьеры, препятствующие утилизации золы, например, изолированность некоторых электростанций и недостаточная законодательная база. В соответствии с настоящим законодательством зола классифицируется как отходы, и это значительно снижает ее коммерческие перспективы.

## Израиль

Израиль удовлетворяет ~32% своих энергетических потребностей за счет импорта угля. Зола с электростанций не обогащается и используется в основном для производства бетона как заменитель песка и совсем немного - цемента.

Израильские электростанции производят 1 млн. т. золы в год со средним содержанием углерода 5-8%. Они располагаются в непосредственной близости от населенных пунктов.

Земельные ресурсы ограничены, поэтому захоронение золы трудновыполнимо.

Правительство всячески способствует росту уровня утилизации. Из-за низкой стоимости зола активно применяется в производстве

товарного бетона. Зола и шлак также используются как основание при строительстве дорог и в небольших количествах - для сельскохозяйственных целей. В целом, производители товарного бетона потребляют 40% производимой золы, дорожное строительство - 25% и сельское хозяйство - 1%.

## Турция

Турция обладает запасами каменного угля и антрацитов в объеме 1,1 млрд. т. плюс 8 млрд. т. [8]. Из одиннадцати электростанций шесть работают на буром угле и, соответственно, производят золу, содержащую кальций. Остальные работают на каменном угле и производят золу, содержащую кремний [19].

Электростанции производят от 6,5 до 13 млн. т. золы в год. ЛЗ используется в производстве товарного бетона. Существует несколько предприятий по сортировке золы для нужд цементной промышленности. Также рассматриваются другие возможности использования золы.

## БАРЬЕРЫ К УВЕЛИЧЕНИЮ ОБЪЕМОВ УТИЛИЗАЦИИ

Существует ряд технологических, экономических, институциональных и законодательных барьеров для продолжения использования больших количеств золы и схожих отходов. Недавнее исследование, проведенное в США [20] определило 11 барьеров для увеличения объемов утилизации:

- недостаток информации о возможных сферах использования золы;
- недостаток данных о воздействии золы на окружающую среду и здоровье человека;
- ограничительные или запрещающие нормы;
- предубеждения о непостоянстве количественных и качественных свойств золы;
- недостаток технических характеристик золы для нецементных областей

применения;

- мнения о том, что сырьевые ресурсы более доступны и дешевы;
- мнения различных штатов (в США) о том, что инструкции по использованию ЛЗ в производстве бетона - это не инструкции, а "туманная завеса";
- мероприятия, проводимые природоохранными агентствами, которые поддерживают утилизацию золы в принципе, но препятствуют ее утилизации ограничительными нормами;
- нормы, классифицирующие ЛЗ как твердые отходы в большинстве штатов;
- недостаток информации о преимуществах использования золы;
- отсутствие внятной федеральной политики в отношении утилизации золы.

Во многих странах подобные вопросы решаются соответствующими торговыми организациями, представляющими интересы производителей и потребителей золы. Каждая национальная ассоциация активно продвигает идеи более глубокого понимания использования и потенциала летучей золы. Многие из этих организаций сотрудничают на международном уровне. Например, Есоба - европейская ассоциация за использование побочных продуктов угольных электростанций, имеет представителей из 11 стран-членов ЕС и активно сотрудничает с другими организациями.

С прекращением регулирования и увеличением количества частных электростанций во многих странах мира появляется тенденция эксплуатации электростанций с наименьшими издержками, что подразумевает наиболее дешевые способы управления золоудалением/утилизацией. Это может ограничить рост утилизации продуктов сжигания угля в долгосрочной перспективе, если не будут приняты меры, направленные на расширение области применения золы и снижение затрат. На практике это означает необходимость разработки каждой электростанцией индивидуальных маркетинговых стратегий утилизации золы.

Основным препятствием для роста и развития утилизации золы является отнесение ее к отходам многими законодательными и регулирующими органами по всему миру. В настоящее время в Европе существует немало затруднений по поводу определения значения слова "отходы" и применения Директивы по отходам ЕС в отношении продуктов сжигания угля. Есоба активно содействует определению золы как "продукта". Проблемы, которые создает официальная классификация золных продуктов как "отходов", особенно остры в Великобритании, где этот вопрос является предметом интенсивного диалога между потребителями и производителями золы и основным регулирующим органом, Агентством по вопросам окружающей среды.

Вопросы, возникающие в связи с реализацией Директивы по отходам ЕС, не ограничиваются угольной золой. Они также затрагивают переработку других утилизируемых материалов. Такая классификация идет вразрез с понятием "устойчивость", которое лежит в основе стратегии развития Европы.

## ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА И СТАНДАРТЫ

Ниже представлены вопросы воздействия законодательных аспектов на утилизацию золы на местном, национальном и международном уровнях:

- законодательство ЕС и отдельных стран;
- законодательство США и отдельных штатов.

Законы могут как способствовать, так и препятствовать утилизации золы. Среди примеров первого - Директива правительства Индии по использованию летучей золы и китайской субсидирование стоимости перевозки золы и налоговые льготы компаниям, применяющим золу при строительстве. Среди законов, ограничивающих развитие утилизации



зола, - ограничения на уровень содержания выбрасываемых тяжелых элементов (Германия), и на использования золы в качестве шахтного заполнителя.

Местные законодательства определяют стоимость удаления золы, в частности размер налогообложения на вывоз и захоронение отходов. Уровень налогообложения различается в зависимости от страны и даже региона. Помимо этого учитываются транспортные расходы, и вместе они значительно влияют на экономику утилизации. Таким образом, экономически целесообразный процесс может быть осуществим в одном регионе и невозможен в другом из-за влияния "необязательных затрат". Важность таких различий может быть продемонстрирована данными OECD по налогообложению и платам за вывоз отходов для нескольких стран [21] (рис. 29 и 30).

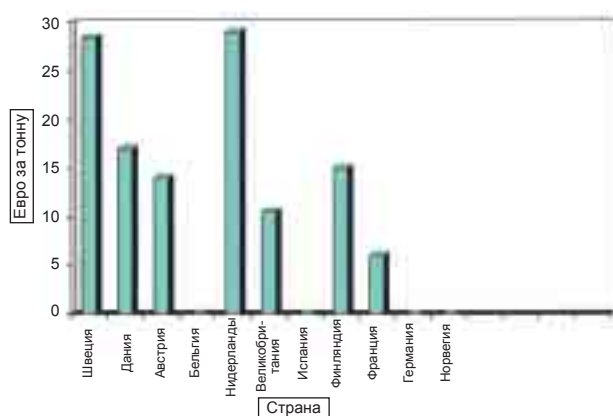


Рис. 29. Налогообложение на захоронение нетоксичных отходов в некоторых странах

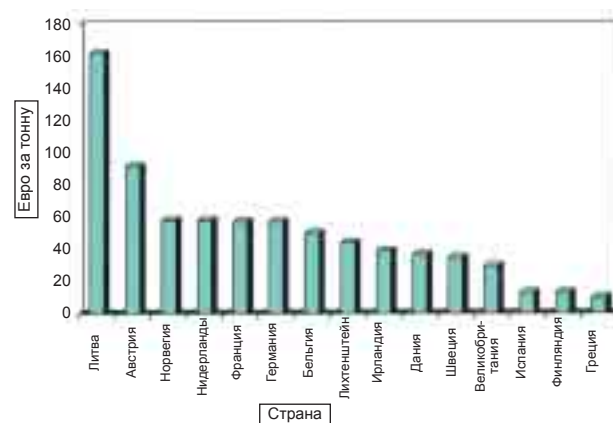


Рис. 30. Стоимость захоронения нетоксичных отходов в некоторых странах (без учета налога на вывоз отходов и НДС)

Основным препятствием для роста и развития уровня утилизации золы является отнесение ее к отходам. Во многих странах разработаны спецификации для использования золы, их целью является установление минимальных требований для технических характеристик продукции на основе золы, проверяемых в лабораторных условиях. В мире существует множество национальных стандартов и высказываются различные точки зрения о том, подходит ли зола для изготовления тех или иных видов продукции. Это определяется путем тестирования на соответствие тем или иным стандартам. При этом не везде принято, что все такие тесты уместны. Практический опыт показывает, что с некоторыми видами золы, неудовлетворяющей определенным стандартам, можно производить высококачественный конечный продукт.

Во многих настоящих спецификациях описывается только летучая зола, без учета золы от совместного сжигания, таким образом ограничивая масштабы утилизации. Схожие проблемы существуют в отношении отходов от продвинутых угольных технологий, таких как сжигание в псевдоожиженном слое и комбинированный цикл комплексной газификации (КЦКГ). Например, в США в некоторых штатах отходы КЦКГ широко утилизируются, в то время как в других их использование запрещено. В действительности, лишь некоторые стандарты, например, на содержание добавок в цементе, соответствуют требованиям времени, и необходима разработка новых требований, в основе которых лежат окончательные потребительские свойства продукции.

В некоторых странах, таких как Япония, возникают проблемы в связи со слишком жесткими стандартами, и продолжаются дебаты относительно использования ЛЗ в производстве бетона с целью смягчить настоящие стандарты. Пример Японии - это пример того, как установление стандартов может являться препятствием для продукции из золы, поскольку они зачастую пишутся для существующих продуктов.



Зачастую формулировки базируются на устоявшихся (названных) материалах. Такой подход может автоматически исключить продукты с использованием золы. Таким образом, спецификации должны основываться на технических характеристиках конечного продукта.

Вклад заинтересованных сторон, например, комитетов по техническим стандартам и потребителей, может сыграть важную роль в изменениях. Для принятия инновационных продуктов ситуация складывается очень благоприятно, поскольку подходящие стандарты либо не соответствуют, либо не существуют вовсе. Там, где требуется разработка новых стандартов для способствования продвижению таких продуктов на рынок, требуется общеевропейский подход.

В будущем будет учитываться возрастающая роль Схем экологического декларирования продукта (EPDS) [22], которые позволят компаниям управлять всеми мероприятиями и услугами, которые влияют на окружающую среду через системы экологического менеджмента. Эти инструменты позволяют адекватно оценить общее воздействие производственного процесса на окружающую среду и стимулируют использование золы вместо ископаемых материалов как часть стратегии более устойчивого развития.

## **ПРИОРИТЕТЫ ВЕЛИКОБРИТАНИИ В ОБЛАСТИ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАЗРАБОТОК**

Большинство крупных производителей и потребителей ЛЗ представлены в UKQAA - торговом союзе, который финансируют его члены. Его целью является продвижение научных, технических, промышленных, экологических, образовательных и юридических вопросов, связанных со всеми аспектами использования угольной золы из

электростанций Великобритании. Эти цели достигаются путем проведения различных общественных мероприятий, представлениями в британские и европейские комитеты по стандартам, предоставления данных и финансирования/продвижения возможных потенциальных областей применения.

Области НИР включают следующие темы:

- 1 усовершенствование современных и разработка новых технологий обогащения угля для получения дешевых зол различных фракций, удовлетворяющих рыночный спрос;
- 2 особое внимание уделяется получению золы сверхтонкого помола (<5 мкм), обладающей огромным потенциалом высококачественных цементов и заполнителей;
- 3 сельскохозяйственные преимущества ЛЗ;
- 4 развитие ясных способов оценки сравнительного экологического воздействия материалов (например, натуральных и переработанных);
- 5 усовершенствование воспроизводимости и точности методик экологического мониторинга (например, тесты на выщелачивание);
- 6 исследования в направлении улучшения цвета получаемых фракций ЛЗ для ее использования в качестве краскозаполнителей;
- 7 продолжающиеся попытки определения областей применения отходов чистых угольных технологий.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

- 1 Важность угольной энергетики для мировой энергетики в целом в ближайшем будущем гарантирует производство больших объемов золы.
- 2 Производство золы из систем сжигания измельченного угольного топлива, особенно на развивающихся ранках Индии и Китая, продолжит значительно возрастать.
- 3 Существуют возможности использования "ноу-хау"

Великобритании для этих развивающихся рынков.

- 4 Классификация угольной золы как отхода во многих странах - это серьезное препятствие для ее утилизации.
- 5 Классификация угольной золы как отхода и экологические требования в отношении золы, а не ее натуральных конкурентов, противоречит понятию устойчивого развития, к которому все больше стремятся в развивающемся мире.
- 6 Существуют значительные преимущества в объединении ведущих игроков рынка золы, регулирующих органов и представителей национальных и региональных властей для совместной работы над увеличением объемов использования золы, что продемонстрировала программа C2P2 (США).
- 7 Роль законодательных инструментов (например, налогообложение) при растущем уровне утилизации золы доказывает необходимость дальнейших исследований.
- 8 Прогрессивный переход от "рецептурных" спецификаций (которые включают золу) к стандартам конечного качества продукции значительно увеличит объемы утилизации.
- 9 С расширением использования чистых угольных технологий необходимо определение устойчивых рынков для этой золы.
- 10 В современных стандартах должны быть лучше представлены золы от совместного сжигания (биомасса и т.д.)
- 11 Потенциально масштабные области применения золы, такие как сельское хозяйство и наполнители в красках.
- 12 Ряд факторов задерживают развитие долгосрочных подходов и инвестирование в технологии утилизации золы в развивающихся странах, например:
  - неопределенность будущего угольной энергетики в развивающемся мире;
  - требования быстрого возврата инвестиций;
  - производство золы, маркетинг и

утилизация воспринимаются как непрофильный бизнес.

- 13 Существует необходимость согласованной европейской инициативы в отношении утилизации золы. Для сведения всех заинтересованных сторон необходима конференция по данной теме.
- 14 Для британских и международных организаций будет чрезвычайно полезно начать сотрудничество в сфере лоббирования интересов по утилизации золы. В частности, CIRCA очень заинтересована в организации более тесных связей с британскими коллегами.
- 15 Очень трудно получить достоверную информацию об утилизации золы в Российской Федерации. Необходимо устранить этот пробел, учитывая потенциальную важность рынка.

## РЕКОМЕНДАЦИИ

- 1 Более тщательно изучить потенциал использования британских технологий в Индии и Китае через представительства на местах (отделы торговли посольств). Может быть одобрена торговая миссия.
- 2 Решать проблемы, возникающие в связи с классификацией золы как отхода, путем согласованных действий участников рынка как на национальном уровне, так и на международном.
- 3 Проработать варианты организации финансируемой правительством программы, подобной C2P2, для стимулирования утилизации золы с участием игроков рынка, регулирующих органов, представителей национальных и региональных властей.
- 4 Продолжить изучение и анализ использования законодательных инструментов для стимулирования утилизации золы и достижения целей устойчивого развития.
- 5 Продолжить разработку использования золы в больших объемах для сельскохозяйственных и красконаполнительных целей. Можно использовать опыт фермерского эксперимента по использованию золы.

- 6 Рассмотреть возможность проведения в Европе конференции, подобной американской конференции "World of Coal Ash" (Мир угольной золы), для организации встречи производителей и потребителей золы, исследователей, представителей правительств и регулирующих органов.
- 7 Провести дополнительное исследование по сбору достоверной информации о производстве и использовании золы в Российской Федерации.

## БЛАГОДАРНОСТЬ

В работе над настоящим докладом авторы опирались на сведения, предоставленные компаниями, организациями и частными лицами, активно работающими в области утилизации золы.

Авторы выражают признательность Департаменту торговли и промышленности Великобритании за оказанную финансовую поддержку в этой работе.

Авторы также выражают признательность всем, кто внес свою лепту в создание данного доклада. Без тесного сотрудничества с Вами подготовка публикации была бы невозможна.

## ССЫЛКИ

- [1] Copley, C, World Coal Institute. Private Communication.
- [2] World Coal Institute "Coal Facts" 2003.
- [3] Unsworth, JF, Barratt, DJ & Roberst PT, Coal quality and combustion performance - an International perspective. Coal and Science Technology, Elsevier, 1991.
- [4] BS 3892: Part 2, Specification for pulverised-fuel ash for use as a Type I addition. 1996, BSI, London, ISBN 0 580 26444 0.
- [5] BS 3892: Part 3, Specification for pulverised-fuel ash for use in cementitious grouts. 1997, BSI, London, ISBN 0 580 27689 9.
- [6] BS EN 450, Fly ash for concrete - Definitions, requirements and quality control. 1995, BSI, London, ISBN 0 580 24612 4.
- [7] Building Research Establishment Digest 363, Sulphate and acid resistance of concrete in the ground. Watford, UK, July 1991. NB: This document is being revised.
- [8] Griffith, JS, Dusek, JT & Bailey, EC, A new use for fly ash - a lightweight ceramic building material. ASME Paper No. 61-WA-291, 1961.
- [9] US Geological Survey: Mineral Commodity Summaries, Gypsum. US Department of the Interior, Jan 2002.
- [10] Sloss, LL et al, Pulverised coal ash - requirements for utilisation. IEAPER/30 IEA Clean Coal Centre, 1996.
- [11] Ruppel, TC, What Have We Learned in Seven Conferences on Unburned Carbon on Utility Fly Ash? 2002 Conference on Unburned Carbon on Utility Fly Ash, May 14, 2002. Pittsburgh Marriott City Center.
- [12] RockTron Beneficiation Process ([www.rocktronplc.com](http://www.rocktronplc.com))
- [13] BP Statistical Review of World Energy (2003). BP Publications.
- [14] World Coal Institute, Coal Markets 2002.
- [15] Vom Berg, W, CCP Utilisation in Europe - Outstanding Option and Continuous Challenge. ECOBA 10th Anniversary Conference CCP-Utilisation in Europe, Essen Germany.
- [16] Mills, SJ, Coal in an enlarged European Union. IEA Clean Coal Centre Report CCC/85. 2004.
- [17] Zespo\_ Elektrowni Dolna Odra, Poland ([www.dolnaodra.com.pl/](http://www.dolnaodra.com.pl/))
- [18] Turkey - Country Analysis Brief ([www.eia.doe.gov/emeu/cabs/turkey.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/turkey.html))
- [19] Prof. Dr. Asim Yeginobali, Private communication.
- [20] Pflughoeft-Hassett, D, Hassett, D, Developing beneficial use rules for coal

combustion by-products. Proceedings of University of Kentucky Center for Applied Energy Research International Ash Utilization Symposium, 2001.

[21] Environmentally Related Taxes database ([www.oecd.org/document/29/0,2340,en\\_2649\\_34295\\_1894685\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/29/0,2340,en_2649_34295_1894685_1_1_1_1,00.html))

[22] Evaluation of Environmental Product Declaration Schemes. European Commission, DG Environment, September 2002.







**Дополнительную информацию по программе Экологически чистого ископаемого топлива и копии публикаций можно получить по адресу:**

Cleaner Fossil Fuels Programme Helpline, Building 329,  
Harwell International Business Centre, Didcot, Oxfordshire OX11 0QJ  
Tel: +44 (0)870 190 6343 Fax: +44 (0)870 190 6713  
E-mail: [helpline@cleanerfossilfuels.org.uk](mailto:helpline@cleanerfossilfuels.org.uk)  
Web: [www.dti.gov.uk/cct/](http://www.dti.gov.uk/cct/)  
[www.dti.uglemetan.ru](http://www.dti.uglemetan.ru)