

## Предпосылки к созданию изобретения

### 1. Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к усовершенствованию процесса отделения углерода от зольной пыли с использованием трибозлектрического сепаратора ленточного типа с противотоком и более конкретно к управлению относительной влажностью зольной пыли, поступающей в сепаратор, в оптимальных пределах.

### 2. Описание существующего уровня техники

Для выработки электроэнергии во всем мире сжигают огромное количество угля. Обычно уголь подвергают тонкому измельчению, вдувают в котел и сжигают в форме диспергированного порошка, причем высвобождающееся при сгорании порошка тепло используется для получения пара, используемого для привода турбин и выработки электроэнергии. В котле сгорают и выделяют тепло углеродсодержащие составляющие угля. Несгораемые материалы нагреваются до высокой температуры, обычно плавятся и выходят из котла в виде зольной пыли. Эту зольную пыль обычно улавливают до того, как топочные газы попадают в дымовую трубу и выбрасываются в атмосферу. Так, например, на электростанции мощностью 1000 мегаватт можно сжигать приблизительно 500 т угля в час. У большинства марок угля, которые сжигают по всему миру, зольность составляет порядка 10%. Отсюда следует, что в промышленно развитых странах вырабатываются очень большие объемы зольной пыли.

Экономическая часть проекта любой электростанции представляет собой компромисс между размером капиталовложений и эксплуатационными затратами. Стоимость оборудования, предназначенного для измельчения угля и обеспечения полного сгорания компенсируется стоимостью тепловой энергии, выделяющейся при сжигании угля и стоимостью угля до его распыления. Кроме того, в последнее время важным фактором стало загрязнение атмосферы, возникающее при сжигании угля на крупных электростанциях общего назначения. Одним из видов загрязнения атмосферы, которое стремятся устранить на электростанциях, являются выбросы  $\text{Nox}$  (оксидов азота).  $\text{Nox}$  образуются в результате реакции кислорода и азота при высокой температуре, при высокой температуре. Одним из способов уменьшения выбросов  $\text{Nox}$  является понижение температуры в котле и уменьшение избытка кислорода. Это обычно достигается путем применения т.н. горелок с низким оксидом азота. Многие изготовители котлов производят такие горелки, а на многих объектах происходит установка таких устройств. Однако, нежелательным побочным эффектом понижения температуры и уменьшения избытка кислорода является увеличение количества несгоревшего углерода, который вместе с зольной пылью выходит из котла.

Прохождение несгораемых минералов через высокотемпературный котел и последующее улавливание зольной пыли обычно сопровождаются охлаждением в трубчатых газоходах котла, в результате чего входящие в состав угля относительно инертные глинистые и сланцевые минералы превращаются в стекловидные материалы типа керамики. Особенность этих стекловидных неорганических частиц заключается в том, что они вступают в реакцию с известью, образуя вяжущие материалы. Это сходство зольной пыли с пуццоланами находит широкое применение в промышленности, т.е. зольную пыль включают в состав бетона, в котором она заменяет часть цемента, вступает в реакцию со свободной известью во время гидратации цемента и образует вяжущие материалы, обеспечивая получение более прочного бетона с меньшим содержанием свободной извести, что делает его сульфатостойким, более прочным и дешевым. Одно из преимуществ использования зольной пыли в бетоне вместо пуццоланов заключается в обеспечении превращения больших объемов отходов в большие объемы полезного материала. Другим преимуществом применения зольной пыли в бетоне вместо цемента является уменьшение производства цемента. Обычно цемент получают из минералов, являющихся источниками кальция, глинозема и кремнезема. При производстве цемента эти минералы смешивают во вращающейся печи и нагревают до температуры первоначального плавления. Однако на каждую тонну произведенного цемента добывают приблизительно две тонны минералов и выбрасывают в атмосферу приблизительно одну тонну  $\text{CO}_2$ ; часть  $\text{CO}_2$  выделяется из топлива и часть - из известняка, который используется как источник кальция. Таким образом, другое преимущество замены цемента зольной пылью заключается в том, что оно позволяет уменьшить выбросы  $\text{CO}_2$  в отношении один к одному, т.е. в расчете на каждую тонну использованной зольной пыли происходит уменьшение на одну тонну выбросов  $\text{CO}_2$ .

Применение зольной пыли в бетоне требует, чтобы зольная пыль обладала определенными физическими свойствами. Одно из этих свойств, согласно спецификации C618 Американского Общества испытаний и материалов (ASTM), заключается в том, что содержание углерода должно быть ниже 6%. Однако даже в этой спецификации указан верхний предел, и большинство пользователей требуют, чтобы содержание углерода было как можно ниже. К сожалению, повышение углерода в зольной пыли, уходящей из котла после горелок с низким оксидом азота, часто ведет к тому, что доля углерода превышает приемлемые уровни, указанные вероятными потребителями зольной пыли. Таким образом возникает одна проблема, т.е. выбросов  $\text{Nox}$  в атмосферу, вызывает усугубление

другой, т.е. выброса обладающего тепличным эффектом  $\text{CO}_2$ . Соответственно, удаление из зольной пыли (например, зольной пыли, полученной на горелках с низким оксидом азота углерода, которое позволяет использовать зольную пыль в бетоне, является полезным для электростанций общего назначения, поскольку снимает проблему удаления отходов, выгодным для производителя бетона, который использует более дешевый чем цемент материал, а также способствует защите окружающей среды за счет уменьшения выбросов  $\text{CO}_2$ .

Различные способы, предлагаемые для удаления углерода из зольной пыли, включают низкотемпературное горение, пенную флотацию, разделение частиц по размеру и электростатическое разделение. Электростатическое разделение включает в себя несколько различных технологий, основанных на электрических свойствах разделяемых частиц. Один из видов электростатического разделения является разделением проводников и диэлектриков, зависящим от различий в электропроводности между разнородными частицами. Обычно частицы заряжают или коронным разрядом, или путем контакта с проводящей поверхностью, и скорость потока зарядов, поступающего в частицы или из них при контакте с проводящей поверхностью позволяет определить, какие частицы принимаются, а какие частицы отвергаются. Сепараторы этого типа достаточно описаны в литературе - см., например, главу 6 в Society of Mining Engineers (SME) Mineral Processing Handbook (Справочник по переработке минералов Общества горных инженеров), изданного Норманом Л. Вейсом, издательские права Американского Института горных инженеров, инженеров-металлургов и нефтяников (каталожная карточка Библиотеки Конгресса номер 85-072130). Однако проблема таких сепараторов разделения проводников и диэлектриков заключается в необходимости для каждой частицы касаться проводящей поверхности. Для мелких частиц необходимость контакта с проводящей поверхностью создает ряд трудностей, таких как, например, прилипание частиц к проводящей поверхности и уменьшение производительности сепаратора в связи с зависимостью производительности сепаратора от площади поверхности и толщины слоя частиц.

Другой способ электростатического разделения предусматривает контактную зарядку и будет обозначаться далее как трибоэлектрическое электростатическое разделение. Согласно этому способу, который также описан в SME Mineral Processing Handbook, зарядка частиц происходит за счет их контакта друг с другом. Его преимуществом является отсутствие необходимости контакта с проводящей поверхностью и принципиальная возможность разделения более мелких частиц. SME Mineral Processing Handbook устанавливает для этого сепарато-

ра на основе практического опыта автора нижний предел на уровне 20 микрон. Однако трибоэлектрический сепаратор ленточного типа с противотоком, описанный в патентах США №№ 4939507 и 4874507, выданных Уитлоку, успешно и устойчиво работал с частицами гораздо меньше 20 микрон, и использовался для отделения углерода от зольной пыли (См., например, Whitlock (1993) "Electrostatic Separation of Unburned Carbon from Flyash" Proceedings Tenth International Ash Use Symposium, Volume 2, pp. 70-1 - 70-12).

В научной и технической литературе ведется широкая дискуссия о важности соблюдения низкой влажности среды для наблюдения и использования электростатических эффектов. Причина заключается в том, что водяные пленки на твердых поверхностях являются электропроводными, и эта поверхностная проводимость способствует отводу любого заряда с частиц, делая разделение неэффективным. Кроме того, в литературе указывается, что мелкие частицы поглощают влагу и могут слипаться из-за этой поглощенной влаги. В соответствии с этим суммарный эффект проводящих водяных пленок и слипания из-за влаги частиц делает необходимым применение электростатических сепараторов в районах с низкой влажностью. Так, например, в патенте США № 5513755, выданном Хевильону и др., рассматривается важность низкой влажности для избежания слипания частиц. В частности, в этом патенте описывается электростатический сепаратор, который заряжается частицами углерода или посредством контакта с проводящей лентой, или посредством индукции, причем заряженные частицы углерода выделяются из слоя зольной пыли, перемещающегося на проводящей ленте, путем перемешивания слоя зольной пыли бильными прутками, размещенными под проводящей лентой. Заряженные частицы углерода взлетают и соприкасаются с электродом, принимая при контакте противоположный заряд. Получившая противоположный заряд частица в конечном счете перемещается вниз и наружу от электрода в предназначенный для отходов бункер или приемник. Таким образом, сепаратор Хевильона и др. является сепаратором разделения проводников и диэлектриков типа, описанного выше, зависящим от проводимости частиц углерода для приобретения ими заряда и от отсутствия проводимости зольных минералов, остающихся не заряженными, и имеет описанные выше недостатки.

Нагревание несущего воздуха применяется для переноса зольной пыли, например, от удаленного накопительного бункера к электростатическому сепаратору, и поэтому нагревание воздуха, применяемое при массовом пневматическом перемещении зольной пыли для удаления влаги, находит широкое применение в энергетике. С другой стороны, Хевильон и др. опи-

сывают применение нагревателя перед подачей зольной пыли в бункер, который распределяет зольную пыль тонким слоем по проводящей ленте электростатического сепаратора, причем нагреватель нагревает зольную пыль до достаточно высокой температуры, превышающей точку росы, чтобы удалить влагу в степени, достаточной для нарушения поверхностного сцепления между углеродом и золой. Описание маятникового состояния воды в скоплении частиц описано, например, в Perry's Chemical Engineering Handbook, 6<sup>th</sup> edition McGraw Hill, 1984. Другими словами, «небольшие количества жидкости удерживаются в форме дискретных линзообразных колец в точках соприкосновения частиц». Размеры этих линзообразных водяных мостиков зависят от поверхностного натяжения (T) воды и количества присутствующей воды. Как показано ниже в формуле Кельвина (1), поверхностное натяжение (T) является функцией перепада давления (P) или капиллярных сил и радиуса кривизны (R) криволинейной поверхности мениска:

$$P = 2T/R \quad (1)$$

Как показано W.B. Pietch в главе 7.2, озаглавленной «Agglomerate Bonding and Strength» в Handbook of Powder Science and Technology, изданной M.E. Fayed и L. Otten, 1984, Van Nostrand, номер Библиотеки Конгресса 83-6828, когда неровность поверхности частиц превышает размер маятникового сцепления, жидкостный мостик разрушает более крупные частицы и сила, удерживающая вместе частицы, ослабевает. Можно предположить, что это соответствует уровню влажности, необходимому для нарушения сцепления между углеродом и зольной пылью.

Однако Хевильон и др. ничего не говорят об измерении уровня влажности или о конкретном диапазоне уровня влажности, необходимом для работы их основанного на использовании электропроводности сепаратора. Кроме того, в литературе рассматривается только удаление влаги, способствующее свободному течению частиц, а также удаление влаги с целью избежать появления проводящих влажных пленок на непроводящих частицах. Из литературы следует, что низкая влажность обеспечивает решение обеих этих проблем, и следовательно, чем ниже влажность, тем лучше.

В японском патенте JP 57171454, выданном Яцуо ("Yasuo"), описано применение трибоэлектрических сепараторов в целом, а также использование трибоэлектрических сепараторов для отделения неорганических материалов от распыленного угля. Какие-либо указания на приведение относительной влажности к оптимальному диапазону относительной влажности отсутствуют.

В патенте США 4482351, выданном Китацава ("Kitazawa"), описан сепаратор разделения проводника и диэлектрика со средствами, при-

меняемыми для регулирования влажности. Китацава далее указывает, что в сепараторе разделения проводника и диэлектрика с коронной зарядкой более высокая влажность способствует поддержанию более мощного и стабильного коронного разряда, повышая качество разделения проводника и диэлектрика.

### Сущность изобретения

Ниже будет подробно описано, что в случае зольной пыли и несгоревшего углерода существует оптимальный диапазон влажности зольной пыли, способствующий улучшению разделения с использованием трибоэлектрических сепараторов.

Согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения предлагается способ отделения частиц углерода от зольной пыли, который включает подачу зольной пыли в трибоэлектрический сепаратор таким образом, чтобы заряжать трибоэлектрическим способом частицы углерода и зольной пыли и электростатически отделять заряженные частицы углерода от заряженной зольной пыли, отличающийся тем, что перед подачей зольной пыли в трибоэлектрический сепаратор для трибоэлектрического отделения частиц углерода от зольной пыли относительная влажность зольной пыли доводится до оптимального значения в пределах от приблизительно 5 до 30%. Относительная влажность зольной пыли может быть снижена до этого оптимального диапазона относительной влажности. Относительная влажность зольной пыли может также быть повышена до этого оптимального диапазона относительной влажности, что можно сделать за счет добавления воды в воздух, применяемый для переноса зольной пыли от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору. Эта добавляемая вода может быть в жидкой фазе или в форме пара. Относительную влажность можно также повысить путем добавления к зольной пыли воды при загрузке трибоэлектрического сепаратора и вода может быть добавлена к зольной пыли перед прохождением зольной пыли через псевдоожиженный участок загрузки. Относительную влажность зольной пыли можно понизить в ходе операций: комбинирования зольной пыли с воздухом, обладающим пониженной относительной влажностью в системе переноса зола-воздух, предназначенной для переноса золы к трибоэлектрическому сепаратору, причем температура системы переноса зола-воздух превышает температуру окружающей среды; поддержания температуры системы переноса зола-воздух на уровне выше температуры окружающей среды; разделение воздуха и золы в то время, когда температура системы переноса зола-воздух превышает температуру окружающей среды и накопления золы для загрузки в трибоэлектрический сепаратор. Относительную влажность воздуха можно понизить путем нагревания воздуха и обезвоживания воз-

духа для получения воздуха с пониженной относительной влажностью. Относительную влажность зольной пыли также можно понизить путем нагрева воздуха, который используется для псевдооживления зольной пыли.

Согласно другому варианту осуществления настоящего изобретения предлагается устройство для отделения частиц углерода от зольной пыли, которое содержит трибоэлектрический сепаратор, в который поступает зольная пыль и который заряжает трибоэлектрическим способом частицы углерода и зольной пыли и электростатически отделяет заряженные частицы углерода от заряженной зольной пыли, отличающийся тем, что устройство содержит средство обработки зольной пыли, в которое зольная пыль поступает до трибоэлектрического сепаратора и в котором для трибоэлектрического отделения частиц углерода от зольной пыли относительная влажность зольной пыли доводится до оптимального значения в пределах от приблизительно 5 до 30%. Средство обработки зольной пыли может включать средство для добавления воды в воздух, используемый для переноса зольной пыли от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору. Средство обработки зольной пыли может также включать средство для добавления определенного количества воды к зольной пыли в месте загрузки трибоэлектрического сепаратора. Средство обработки зольной пыли может дополнительно включать средство добавления определенного количества воды к зольной пыли, находящейся в накопительном бункере, питающем трибоэлектрический сепаратор. Воздух может использоваться для переноса зольной пыли от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору, а средство обработки зольной пыли может включать нагреватель, который нагревает воздух для переноса перед комбинированием воздуха для переноса с зольной пылью. Воздушная система переноса, которая переносит зольную пыль от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору, может быть изолирована таким образом, чтобы уменьшить потери тепла в воздухе в воздушной системе переноса, причем возможно также включение накопительной емкости для золы с разгрузочным окном, через которое происходит загрузка трибоэлектрического сепаратора. Средство обработки зольной пыли может также включать нагревательное устройство, применяемое для нагрева используемого для псевдооживления зольной пыли воздуха перед его комбинированием с зольной пылью. Средство обработки зольной пыли может также включать устройство для обезвоживания воздуха, применяемого для переноса зольной пыли от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору, до комбинирования воздуха для переноса с зольной пылью.

Согласно еще одному варианту осуществления изобретения предлагается система электростанции общего назначения, которая содержит котел для сжигания угля для получения пара, используемого для выработки электроэнергии, причем в котле образуются несгораемые материалы, выходящие из котла в виде газов; соединенную с котлом систему улавливания золы, в которую поступают газы, выходящие из котла и в которой улавливается содержащаяся в газах зола; систему переноса зольной пыли, соединенную с системой улавливания золы, в которую поступает уловленная зола и которая транспортирует собранную золу к удаленной накопительной емкости, а также трибоэлектрический сепаратор ленточного типа с противотоком, в который поступает зольная пыль из удаленной накопительной емкости и который заряжает трибоэлектрическим способом содержащиеся в зольной пыли частицы углерода, а также и саму зольную пыль таким образом, чтобы электростатически отделить заряженные частицы углерода от заряженной зольной пыли, отличающаяся тем, что система содержит также расположенное перед трибоэлектрическим сепаратором средство обработки зольной пыли, в которое поступает зольная пыль из удаленной накопительной емкости и которое предназначено для доведения относительной влажности зольной пыли до оптимального значения в пределах от приблизительно 5% до 30% для трибоэлектрического отделения частиц углерода от зольной пыли.

Другие задачи и признаки настоящего изобретения станут очевидны из следующего детального описания, которое выполнено в сочетании с последующими чертежами. Следует помнить, что чертежи служат только для иллюстрации и не предназначены для установления пределов изобретения.

#### **Краткое описание чертежей**

Перечисленные и другие задачи и преимущества будут более понятны благодаря следующим чертежам, на которых

на фиг. 1 схематически показана электростанция, работающая на угле, включающая систему транспортировки, хранения и переработки золы с трибоэлектрическим электростатическим ленточным сепаратором с противотоком;

на фиг. 2 показана психрометрическая диаграмма, указывающая характеристики воздуха и водяного пара при различной температуре и атмосферном давлении 29,92 дюйма (760 мм) рт.ст.;

на фиг. 2А показана диаграмма, указывающая энтальпию воды в расчете на фунт сухого воздуха в зависимости от температуры воды;

на фиг. 3 графически показано содержание влаги для нескольких образцов зольной пыли в зависимости от относительной влажности; на фиг. 4 приведена таблица, в которой указана

относительная влажность и соответствующий ей радиус кривизны для нескольких водных растворов соли;

на фиг. 5 показана измеренная сила сцепления между двумя поверхностями как функция относительной влажности;

на фиг. 6 показана таблица с указанием объема и удельного поверхностного сопротивления при различном значении относительной влажности;

на фиг. 7 графически показан выход зольного продукта с низким содержанием углерода в зависимости от относительной влажности;

на фиг. 8 графически показано содержание углерода в зольном продукте с низким содержанием углерода в зависимости от относительной влажности;

на фиг. 9 графически показаны выход зольного продукта с низким содержанием углерода и содержание в нем углерода в зависимости от относительной влажности;

на фиг. 10 показана схема электростанции, работающей на угле, иллюстрирующая несколько вариантов повышения относительной влажности золы согласно настоящему изобретению;

на фиг. 11 показана схема электростанции, работающей на угле, иллюстрирующая несколько вариантов понижения относительной влажности золы согласно настоящему изобретению.

### Подробное описание

На фиг. 1 схематически показана электростанция 10, которая включает котел 22, работающий на угле, и механизм транспортировки, хранения и обработки зольной пыли с трибоэлектрическим электростатическим ленточным сепаратором 12 с противотоком, таким как описанный в патентах США 4839032 и 4874507 (далее обозначаются как патенты '032 и '507), включенных сюда в качестве ссылки. Согласно общепринятой в промышленности практике уголь 14 подвергают измельчению с помощью, например, валков 16, 18, и подают сжатым воздухом по конвейеру 20 в котел 22, где его сжигают в форме диспергированного порошка. Сгоревший уголь нагревает трубу 24, в которой находится вода, и нагревает таким образом воду до ее превращения в пар, который, расширяясь в турбине 26, осуществляет привод генератора 28 для выработки электроэнергии. Далее происходит обратная конденсация пара в воду, которую насосом 30 перекачивают обратно в котел, в котором она непрерывно нагревается и конденсируется в замкнутой системе. Весь не сгоревший материал передается по теплоотводящим трубам в виде топочных газов до системы улавливания золы, такой, например, как бункер электростатического электроосадителя 32, где отделяется твердый зольный материал и после прохождения которого топочные газы отводятся

в дымовую трубу 34 и выбрасываются в атмосферу.

В системе, показанной на фиг. 1, золу транспортируют из осадительного бункера 32 в удаленный накопительный бункер 36. Обычно перед захватом золы для транспортировки конвейером 42 в бункер 36 воздух сжимают компрессором 38 и нагревают нагревательным устройством 40. В бункере передающий воздух отводят через выпускное отверстие 44, а зола накапливается в бункере. В днище 48 бункера для прохождения воздуха через воздушный канал 50 применяются псевдоожижающие камни (не показаны), так, чтобы псевдоожижать зольную пыль для облегчения ее прохождения через разгрузочное окно 52. Обычно этот псевдоожижающий воздух нагревают нагревательным устройством 54. Бункер также соединяется с трибоэлектрическим сепаратором 12 ленточного типа с противотоком. Когда зольная пыль выходит из бункера, ее пропускают через сито 56, находящееся, например, внутри воронки, для удаления любого постороннего материала, который может оказаться помехой для работы сепаратора. После пропуска через сито зольную пыль затем подают в сепаратор, где углерод заряжают трибоэлектрическим способом и электростатически отделяют от зольной пыли. Применяется также средство 58 для транспортировки и равномерного распределения зольной пыли. Подробное описание псевдоожижающего питателя, сепаратора и средства для транспортировки и распределения зольной пыли описано в патенте '032.

Как было показано выше, обычная практика транспортировки и хранения зольной пыли заключается в поддержании зольной пыли как можно более сухой для того, чтобы не допустить слипания частиц и разрушить поверхностное сцепление между углеродом и зольной пылью. Это можно сделать, например, путем нагрева воздуха для переноса. В варианте осуществления, показанном на фиг. 1, воздух, применяемый для транспортировки золы от осадителя 32 в бункер 36, нагревают в нагревательном устройстве 40. Аналогичным образом воздух, применяемый для псевдоожижения золы в осадительном бункере, нагревают в нагревательном устройстве 63, а воздух, применяемый для псевдоожижения накопленной золы в бункере, нагревают в нагревательном устройстве 54. Нагревание воздуха делает систему зола-воздух более горячей, чем при использовании окружающего воздуха. Движение зольной пыли в воздухе для переноса быстро ведет к установлению равновесия между воздухом, соприкасающимся с зольной пылью, и зольной пылью. Выравнивание температуры и относительной влажности происходит довольно быстро. Обычная промышленная практика предусматривает проектирование таких транспортных систем в расчете на наихудшие условия и на их кругло-

годовую эксплуатацию. Однако одним из недостатков транспортной системы, спроектированной, например, для поддержания золы сухой и свободно проходящей в условиях влажного лета, является то, что она обеспечивает избыточную сухость при использовании в сухие зимние месяцы.

Движущей силой изменения фазового состояния воды является химический потенциал. В равновесном состоянии все фазы обладают одинаковым химическим потенциалом. Произвольно химический потенциал фазового состояния после полной конденсации принимается равным единице. Таким образом, жидкая вода и водяной пар в состоянии равновесия обладают одинаковым химическим потенциалом и не существует чистой движущей силы, переводящей воду из одного фазового состояния в другое. В системе зольной пыли с водой подходящей мерой активности воды является относительная влажность. В состоянии насыщения или при относительной влажности 100%, воздух находится в равновесии с водой. При относительной влажности 0% содержание воды в воздухе равно 0%. Значения относительной влажности между 0% и 100% отражают химический потенциал воды при различной концентрации воды в атмосфере. Давление водяного пара возрастает экспоненциально вместе с температурой, так что повышение температуры воздуха повышает температуру насыщения, повышает парциальное давление насыщения, так что при постоянном содержании воды относительная влажность будет снижаться. Психометрические диаграммы, такие как опубликованные в Perry's Chemical Engineers Handbook, Sixth Edition, McGraw Hill, 1984, и воспроизведенные на фиг. 2 и 2А, графически иллюстрируют равновесное содержание воздуха и воды при различных значениях температуры и относительной влажности, и энтальпию воды при различной температуре воды. На фиг. 2 кривые, обозначенные буквой А, являются линиями энтальпии насыщения - в б.т.е на фунт сухого воздуха (2,33 кДж/кг); кривые, обозначенные буквой В, являются линиями температуры смоченного термометра и точки росы или температуры насыщения; кривые, обозначенные буквой С, являются линией энтальпии при насыщении - б.т.е. на фунт сухого воздуха (2,33 кДж/кг); кривые, обозначенные буквой D, показывают количество гранов (0,0648 г) влаги на фунт сухого воздуха; кривые, обозначенные буквой Е, являются кривыми относительной влажности; кривые, обозначенные буквой F, представляют температуры смоченного шарика термометра; кривые, обозначенные буквой G, являются отклонением энтальпии - б.т.е на фунт сухого воздуха; и кривые, обозначенные буквой H, показывают количество кубических футов в расчете на фунт сухого воздуха. Из сказанного следует, что нагревание твердого материала самого по себе не меняет относи-

тельную влажность материалов. Нагревание материала, находящегося в контакте с воздухом, способствует повышению парциального давления насыщения воды и при сохранении постоянной абсолютной влажности вызывает снижение относительной влажности. Нагревание материала в герметичной камере до температуры 100°C не влияет на относительную влажность.

На фиг. 3 графически показана зависимость содержания влаги в зольной пыли от относительной влажности воздуха и при различном содержании несгоревшего угля, обозначенном как «потери при закипании» (LOI%). Экспериментальные данные были получены для системы поглощения воды, состоящей из аналитических весов с неуравновешенной подвесной чашкой для пробы; камеры для пробы с регулированием температуры и регулированием продувочного газа; системы регулирования относительной влажности продувочного газа для получения в камере конечной относительной влажности в пределах от 0% до 65% при постоянном расходе; и зонда определения относительной влажности фирмы Вайсала, предназначенного для постоянного наблюдения за относительной влажностью. Процедура накопления данных включает сборку системы поглощения воды и весов при продувке камеры при экспериментальном расходе продувочного газа для регулирования эффекта плавучести; помещение 10-15 г предназначенной для анализа зольной пыли на чашку весов и сборку нагревательной камеры; доведение при относительной влажности продуваемого воздуха, равной 0%, температуры в камере до 222-250°C и сохранение температуры постоянной в течение приблизительно 30 мин для удаления из поглощенной воды через открытые атмосфере поверхности; охлаждение пробы и камеры до нужной температуры эксперимента при поддержании относительной влажности продувочного газа на уровне 0%; регистрацию веса сухой пробы при относительной влажности 0%; определение веса пробы при повышении относительной влажности путем ступенчатого приращения относительной влажности приблизительно на 2% после выдерживания в состоянии равновесия приблизительно в течение 10 мин для каждой точки замера, причем данные включают вес пробы при относительной влажности; расчет увеличения веса в процентах относительно сухого веса пробы при каждом приращении относительной влажности; и получение изотермы поглощения, показанной на фиг. 3, путем нанесения на график процентного увеличения веса для каждого приращения относительной влажности.

На фиг. 3 можно видеть, что увеличение содержания влаги при повышении относительной влажности больше в зольной пыли с более высоким содержанием несгоревшего углерода. Зависимость отношения содержания влаги к относительной влажности зольной пыли от со-

держания углерода можно объяснить тем, что углерод предпочтительно поглощает больше воды, чем неорганические частицы золы. Как было показано выше, остаточный углерод в зольной пыли получается из не полностью сгоревшего угля. Уголь нагревается до высокой температуры, его летучие составляющие испаряются, причем происходит частичное окисление. В результате этого частицы углерода оказываются пористыми и обладают низкой объемной плотностью. Именно эта пористость способствует высокому поглощению воды углеродом по сравнению с непористыми стекловидными минералами. Вода, захваченная порами внутри частицы углерода, отсутствует на поверхности, чтобы взаимодействовать с любыми поверхностными характеристиками частицы, что могло бы повлиять на разделение.

Известно, что на криволинейной поверхности поверхностное натяжение ( $T$ ) жидкости создает усилие, вызывающее перепад давления ( $P$ ) по криволинейной поверхности. Этот перепад давления ( $P$ ) равен удвоенному поверхностному натяжению ( $T$ ), разделенному на радиус кривизны ( $R$ ) поверхности и известен как формула капиллярного давления Кельвина;

$$P = 2T/R \quad (1)$$

Когда наливная вода находится в равновесии с паром, перепад давления по поверхности раздела воды и пара равен нулю, радиус кривизны стремится к бесконечности и поверхность раздела между жидкостью и паром является плоской. При равновесии с парциальным давлением воды, меньшем насыщения, система может находиться в равновесии только с криволинейной поверхностью, так что перепад давления по криволинейной поверхности раздела равен относительной влажности. Нельзя пренебрегать изменением поверхностного натяжения в зависимости от радиуса кривизны и содержания солей.

В таблице на фиг. 6 показана зависимость относительной влажности от радиуса поверхности раздела для чистой воды и нескольких насыщенных растворов солей. Эти соли в определенной степени изменяют соотношение, снижая относительную влажность наливной жидкой водной фазы. Это должно привести к увеличению радиуса кривизны при любой заданной относительной влажности, однако увеличение при очень низкой относительной влажности не слишком велико. Как можно видеть в таблице на фиг. 4, при низких значениях относительной влажности наблюдаются низкие радиусы кривизны поверхности раздела. Предполагается, что твердые материалы в воде ведут себя как нарушители сплошной среды при приближении к размерам порядка молекулярных размеров. Это происходит в воде при относительной влажности порядка нескольких десятков процентов. В этом случае поглощение воды является не просто проявлением капиллярного дейст-

вия при простом физическом контакте, но скорее становится химической абсорбцией или хем-сорбцией. В обзорной статье P.F. Luckham в Powder Technology, 58(1989) 75-91, озаглавленной "The Measurement of Interparticle Forces", описана работа, демонстрирующая, что применимость термодинамики массы к мениску установлена для воды вплоть до радиуса, превышающего 40 ангстремов, что равно приблизительно 20 молекулам воды. Лакхэм показывает, как продемонстрировано здесь на фиг. 5, графическое отображение измеренного усилия сцепления, разделенного на  $4\pi R \cos \theta$ , как функцию относительного давления пара ( $P/P_s$ ) воды. Как можно видеть на фиг. 5, сила сцепления монотонно уменьшается вместе с относительной влажностью. Сцепление при относительной влажности 0% является просто сухим сцеплением между двумя поверхностями слюды, использованными в этих экспериментах.

Водные растворы электролитов являются электропроводящими за счет подвижных носителей заряда, то есть положительных и отрицательных ионов в растворе. Эти ионы образуются из-за полярной природы воды и существуют в форме гидратированных ионов. Если слой воды является тонким по сравнению с толщиной гидратированного иона, проводимость этой системы становится низкой. В частности, проводимость поверхностной пленки уменьшается по экспоненте вместе с уменьшением толщины. Таким образом, электрическая проводимость поверхностных водяных пленок становится низкой, когда поверхностные пленки становятся слишком тонкими для того, чтобы допускать достаточное движение растворенных ионов. Уменьшение проводимости происходит монотонно с содержанием воды. Когда пленка становится тонкой, проводимость частицы определяется электропроводностью объема материала.

На фиг. 6 показана таблица объемных и поверхностных удельных сопротивлений твердых диэлектриков, воспроизведенная из Smithsonian Physical Tables, Volume 88, Eight Revised Edition, опубликованных Smithsonian Institution, 1934. Объемным удельным сопротивлением,  $\rho$ , является сопротивление между противоположными плоскостями куба со стороной в один сантиметр. Поверхностным удельным сопротивлением,  $\sigma$ , является сопротивление между противоположными кромками центрального квадрата поверхности. Поверхностное удельное сопротивление обычно меняется в широком диапазоне в зависимости от влажности. Все материалы показывают повышение удельного сопротивления при уменьшении относительной влажности.

Выполненная Горным Бюро США и опубликованная Foster Fraas в US Bureau of Mines Bulletin # 603, 1962, "Electrostatic Separation of Granular Minerals" работа (далее обозначается как «работа») определяет некоторые виды воз-

действий влажности на разделение. Так, например, в главе 7 работы рассматривается влияние влажности на поверхностную проводимость частиц, так же как влияние влажности на сепараторы с контактной зарядкой. При анализе влияния влажности на трибоэлектрическое разделение кварца и полевого шпата в работе указано: «Удовлетворительное разделение достигается при относительной влажности, достигающей 20 процентов». При низкой влажности и кварц, и полевой шпат получают отрицательный заряд относительно алюминия\*. (\*При более высокой влажности полевой шпат становится заряженным положительно, и при еще более высокой кварц начинает заряжаться положительно. При очень высокой влажности зарядка обоих материалов прекращается.)

В работе это явление объясняется двумя факторами: тем, что поверхностная проводимость и поверхности частиц становятся одинаковыми в результате поглощения всеми поверхностями определенной влажной пленки. В случае кварца и полевого шпата эта поглощенная влага вызывает изменения знака заряда частицы относительно алюминия. При увеличении влажного покрытия увеличивается сходство трех поверхностей кварца, полевого шпата и алюминия.

Изменения в выходе годной продукции, измеренные при трибоэлектрическом разделении зольной пыли в зависимости от изменений относительной влажности, являются более трудно уловимыми. Во всех случаях углерод продолжает получать положительный, а стекловидные неорганические минералы - отрицательный заряд. Однако при относительной влажности в пределах оптимальных значений наблюдается повышение выхода материала с низким содержанием углерода. На фиг. 7 графически показана зависимость выхода материала с низким содержанием углерода и содержания углерода в этом продукте от относительной влажности загружаемой золы перед переработкой. Эти измерения относительной влажности достаточно точны. Пробы золы были приготовлены путем механического перемешивания зольной пыли в бетономешалке в контакте с ситовой тканью цеолитовых молекулярных сит. Затем золу высушивали до значения, соответствующего или ниже значения относительной влажности, при котором намечалось проводить испытание. В случае необходимости добавляли воду, чтобы довести относительную влажность до значения, необходимого для испытания. Пробы были защищены от контакта с атмосферой и в случае применения псевдоожижающего или продувочного газа подавали газ, относительная влажность которого была ниже значения, требующегося для испытания, за исключением самых низких значений относительной влажности, при которых применялся сухой воздух. Применявшийся при испытаниях сепаратор был специ-

ально усовершенствован таким образом, чтобы поддерживать влажность проб, проходящих обработку. Два продукта, полученные после разделения, также подвергались испытаниям для того, чтобы убедиться, что относительная влажность изменилась незначительно. Влажность измеряли зондом определения относительной влажности, изготовленным фирмой Вайсала, Инк., 100 Коммерс уэй, Уоберн, шт. Массачусетс 01801, (617)933-4500 (НМР 35 с дисплеем НМІ 31). Эти зонды регулярно подвергаются калибровке путем сравнения с насыщенными растворами различных солей при заданных температурах. При низкой относительной влажности иногда требуется десять минут для того, чтобы показания зондов стали стабильными.

На графиках фиг. 7 ясно показан максимальный выход годной продукции при определенной относительной влажности. Кроме того, на фиг. 7 показано, что продукты с низким содержанием углерода обладают относительной влажностью, входящей в диапазон оптимальных значений. Оптимизация любого процесса требует попеременного использования различных относящихся к делу параметров и максимизации экономичности процесса. В случае отделения углерода от зольной пыли углерод должен быть удален вплоть до достижения его содержания, приемлемого для пользователя, после чего должен быть максимизирован выход годной продукции. Так, например, если местные потребители золы требуют, чтобы содержание углерода составило 3%, выход годной продукции должен быть максимизирован для производства золы с содержанием углерода 3% или менее. В табл. 1 показаны данные с фиг. 7, 8 и 9. В следующей колонке показан выход при относительной влажности, при которой состав отвечает требованию содержания несгоревшего угля (LOI) 3%.

Причины такого поведения не ясны. Вероятно, дело не в проводимости частиц. Углерод, находящийся в зольной пыли обладает очень высокой проводимостью при удельном сопротивлении порядка 0,004 Ом/см, так что при такой проводимости пленка влаги не оказывает ощутимого влияния на проводимость углерода. Зола является менее проводимой более чем на 10 порядков. Тем не менее проводимость частицы не является важным фактором при использовании трибоэлектрического ленточного сепаратора с противотоком, а пропорциональное изменение поверхностной проводимости в диапазоне относительной влажности от 5 до 25% не велико. Вряд ли единственным объяснением может служить слипание частиц. Более низкая относительная влажность должна привести к уменьшению слипания, что должно способствовать продолжающемуся улучшению результатов разделения. Вместо этого наблюдаются оптимальная относительная влажность и диапазон значений относительной влажности, оптималь-



ных для разделения. По мере высушивания частиц и утончения пленок влаги поверхности становятся все более несходными, становясь суше. Нельзя ожидать изменения знака зарядки частиц по мере того, как они становятся менее одинаковыми, и трудно ожидать ухудшения качественного разделения.

На фиг. 7-9 графически показаны выход продукции и чистота продукции для ряда различных проб зольной пыли в зависимости от относительной влажности. Кроме того, на фиг. 9 показан выход продукции в пробе с низким содержанием углерода как функция двух различных температур. Как показано на фиг. 7-9, все пробы показывают пик выхода годной продукции при относительной влажности, входящей в диапазон ее оптимальных значений, с уменьшением выхода годной продукции при очень низкой и очень высокой относительной влажности и с ухудшением чистоты продукции при очень высокой относительной влажности. Точное значение этой оптимальной относительной влажности и диапазона оптимальных значений относительной влажности в определенной степени зависят от рабочей температуры и несколько различаются для различных проб зольной пыли. На фиг. 9 показано, что оптимальная относительная влажность несколько повышается вместе с температурой данной золы, и что абсолютный выход годной продукции повышается тоже.

Практика удаления воды из материалов хорошо известна при наличии многих предназначенных для этого промышленных методов и промышленных образцов оборудования. Нагревание материала, соприкасающегося с воздухом, уменьшает относительную влажность воздуха, так что влага может переходить из материала в воздух. Так, например, этого можно добиться для зольной пыли путем нагревания воздуха перед его соприкосновением с золой, или путем нагревания золы перед ее соприкосновением с воздухом, или путем нагревания их обоих при нахождении их в контакте. В оборудовании для высушивания мелких частиц применяются все три способа. Практически во всех установках для удаления зольной пыли применяется нагретый воздух для ее переноса, так что усиление его нагрева является простой задачей. Иногда также применяется обезвоживание воздуха перед переносом золы, но этот процесс в целом является более дорогостоящим.

Задачей настоящего изобретения является управление относительной влажностью зольной пыли, поступающей в сепаратор, для поддержания ее в пределах диапазона оптимальных значений. Обычно управление требует как наличия средства для повышения относительной влажности, так и средства для снижения относительной влажности. На фиг. 10 показан способ повышения относительной влажности путем впрыскивания воды в различных точках 62, 64,

66, 68 в системе транспортировки золы между осадительным бункером 32 и сепаратором 12. На фиг. 11 показан ряд способов снижения относительной влажности золы, включая дополнительное нагревание воздуха для переноса нагревательным устройством 72, уменьшение тепловых потерь во время транспортировки путем изолирования системы транспортировки 42 и бункера 36 изоляцией 76, увеличение расхода воздуха для переноса в системе транспортировки (38, 40, 42), а особенно эффективным способом является повышение мощности подачи воздуха для псевдооживления (61, 63, 65) в бункер осадителя или в нижнюю часть накопительного бункера (54, 50). Не проиллюстрированы высушивание воздуха перед сжатием или обезвоживание воздуха после сжатия. Однако способы высушивания или обезвоживания материалов хорошо известны и специалисты в данной области техники могут использовать известные технические приемы для проектирования и внедрения подходящих систем с достаточными возможностями регулирования влажности таким образом, чтобы она оказалась в пределах диапазона оптимальных значений.

Как показано на фиг. 10, в случае, если относительная влажность золы слишком низкая, можно применить добавление воды к золе для повышения ее относительной влажности до величины, находящейся в пределах диапазона оптимальных значений. Перед соприкосновением с золой можно увлажнить воздух, применяемый для переноса золы, например в форме пневматического перемещения, или для псевдооживления. Этого можно добиться путем впрыскивания воды или в жидкой фазе, или в форме пара. Смешивание пара (газа) с воздухом можно легко и быстро осуществить с помощью простого инжекционного отверстия, в котором пар вдувают в поток воздуха и перемешивают с воздухом. Впрыскивание воды в жидкой фазе более затруднено. Такую воду требуется разделить на мелкие капли, так чтобы они могли быстро смешаться с воздухом. Существующие технические решения в области распылительных устройств хорошо описаны в книге под названием «Liquid Atomisation» L. Bayvel and Z. Orzechowski, опубликованной Taylor & Francis, 1993, номер в Библиотеке Конгресса 93-8528, TP156.56L57. Особенно полезными являются пневматические устройства распыления воды, поскольку в форме сжатого воздуха можно использовать большое количество энергии для получения обладающих высокой скоростью мелких капель, которые могут быстро смешиваться.

Конкретное расположение устройств для повышения влажности 62, 64, 66, 68 обычно должно определяться планировкой предприятия и местами, в которых доступны пар или вода. Если воздух для переноса нагревается паром, применение вдувания пара будет очень удоб-

ным, уменьшая вероятность вдувания слишком большого количества жидкой воды и нарушения хода процесса. Это особенно важно в том случае, если воду добавляют в псевдоожижающий воздух или в нижней части накопительного бункера через канал 50, или в нижней части осадителя через канал 65. Слишком большое количество воды в нижней части накопительного бункера для зольной пыли может вызвать слипание и даже закупорку бункера. Необходимое количество воды может быть довольно мало.

Как показано на фиг. 3, при производительности 50 т/ч повышение относительной влажности золы с 5% до 10% для золы с остаточным содержанием углерода (LOI) 13% является повышением содержания влаги с 0,04% до 0,06%, и повышение на 0,02% равнозначно приблизительно 0,4 фунта (181 г) в расчете на 1 тонну, или приблизительно 20 фунтов (9 кг) в час при расходе 50 тонн. Впрыскивание воды в жидкой фазе может также осуществляться для повышения относительной влажности, однако при этом следует следить за тем, чтобы вода диспергировалась в золе. Один из таких способов предусматривает впрыскивание воды пневматическим распылителем модели №38972-2 фирмы Делевэн, 200 Делевэн Драйв, Лексингтон, шт. Теннесси 38351, в котором сжатый воздух применяется для получения очень мелких капель. Эта вода может также быть инжектирована в различных местах 62 и 64 системы транспортировки золы. С другой стороны, впрыскивание воды в точку впрыскивания 68 под накопительным бункером или в точке псевдоожижения 66 в нижней части накопительного бункера является удобным, поскольку можно измерить относительную влажность золы в бункере перед впрыскиваем воды и использовать контролируемое количество воды. Кроме того, возможно использование сита и псевдоожижающего питателя 56 для перемешивания и диспергирования воды в золе.

Воду можно также впрыскивать в компрессор 38, применяемый для сжатия воздуха для переноса, где испарительное охлаждение воздуха по мере его сжатия будет несколько снижать энергию сжатия. Добавление воды в золу или удаление из нее воды перед накопительным бункером 36 для золы может обеспечить время пребывания воды, достаточное для перемещения капель. В этом случае не требуется, чтобы первоначальное распределение воды в золе было таким же равномерным, как и при менее длительном отрезке времени между добавлением воды и разделением.

На фиг. 11 показаны различные варианты понижения относительной влажности зольной пыли до уровня, находящегося в диапазоне оптимальных значений. Одно устройство применяется для уменьшения тепловых потерь, возникающих в процессе транспортировки и пере-

грузки зольной пыли по системе транспортировки 42, и реализуется в форме изолирования системы 42 и бункера 36 изоляцией 76. В типичной для электростанций системе перегрузки золы зольная пыль выходит из бункера 32 электростатического осадителя при температуре более 150°F (65°C). Если после этого золу перемещают на большие расстояния с помощью пневматической системы транспортировки (38, 40, 42), зола может охладиться практически до температуры окружающей среды из-за потери тепла. По мере охлаждения золы и связанного с ней воздуха воздух может удерживать меньше воды. Когда зола и воздух разделяются в бункере 36, меньшая часть воды удаляется с воздухом, а остальное остается в золе. Уменьшение перепада температуры золы на пневматических линиях транспортировки между осадительным бункером и накопительным бункером, такое как изолирование линии, может способствовать уменьшению относительной влажности золы при ее поступлении в сепаратор 12. Аналогичным образом, поскольку давление насыщения воды при температуре осадителя достаточно велико, замещение воздуха, соприкасающегося с золой при высокой температуре сухим воздухом будет способствовать удалению значительной части влаги. Так, псевдоожижение в осадительном бункере 32, например, через систему воздушной транспортировки 61, 63, 65, сухим воздухом в количестве, достаточном для вытеснения из золы топочных газов перед ее перемещением в накопительный бункер обеспечивает удаление воды из системы зола - воздух.

На основании описанных конкретных вариантов осуществления настоящего изобретения специалисты в данной области техники могут представить себе различные модификации и улучшения, которые могут входить в описание. В соответствии с этим приведенное описание может служить только примером и ограничивается только объемом, определяемым прилагаемой формулой изобретения и его эквивалентами.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ отделения частиц углерода от зольной пыли, включающий подачу зольной пыли в трибоэлектрический сепаратор таким образом, чтобы заряжать трибоэлектрическим способом частицы углерода и зольной пыли и электростатически отделять заряженные частицы углерода от заряженной зольной пыли, отличающийся тем, что перед подачей зольной пыли в трибоэлектрический сепаратор относительную влажность зольной пыли доводят до оптимального значения в пределах от приблизительно 5 до 30%.

2. Способ по п.1, в котором относительную влажность зольной пыли уменьшают.

3. Способ по п.1, в котором относительную влажность зольной пыли повышают.

4. Способ по п.3, в котором относительную влажность зольной пыли повышают путем добавления воды в воздух, применяемый для переноса зольной пыли от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору.

5. Способ по п.4, в котором воду добавляют в жидкой фазе.

6. Способ по п.4, в котором воду добавляют в виде пара.

7. Способ по п.3, в котором относительную влажность повышают путем добавления воды к золе при загрузке трибоэлектрического сепаратора.

8. Способ по п.7, в котором воду добавляют к зольной пыли перед прохождением зольной пыли через псевдоожиженный участок загрузки трибоэлектрического сепаратора.

9. Способ по п.2, в котором относительную влажность зольной пыли понижают в ходе операций:

комбинирования зольной пыли с воздухом, обладающим пониженной относительной влажностью в системе переноса зола - воздух, предназначенной для переноса золы к трибоэлектрическому сепаратору, причем температура системы переноса зола - воздух превышает температуру окружающей среды;

поддержания температуры системы переноса зола - воздух на уровне выше температуры окружающей среды;

разделения воздуха и золы в то время, когда температура системы переноса зола - воздух превышает температуру окружающей среды; и

накопления золы для загрузки в трибоэлектрический сепаратор.

10. Способ по п.9, в котором относительную влажность воздуха понижают посредством нагревания воздуха и обезвоживания воздуха для получения воздуха с пониженной относительной влажностью.

11. Способ по п.2, в котором относительную влажность зольной пыли понижают посредством нагрева воздуха, который используется для псевдоожижения зольной пыли.

12. Устройство для отделения частиц углерода от зольной пыли, содержащее трибоэлектрический сепаратор, в который подается зольная пыль и который заряжает трибоэлектрическим способом частицы углерода и зольной пыли и электростатически отделяет заряженные частицы углерода от заряженной зольной пыли, отличающееся тем, что устройство содержит средство обработки зольной пыли, в которое зольная пыль подается до трибоэлектрического сепаратора, при этом для трибоэлектрического отделения частиц углерода от зольной пыли относительная влажность зольной пыли доводится до оптимального значения в пределах от приблизительно 5 до 30%.

13. Устройство по п.12, в котором средство обработки зольной пыли включает средство для добавления воды в воздух, используемый для переноса зольной пыли от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору.

14. Устройство по п.12, в котором средство обработки зольной пыли включает средство для добавления воды к зольной пыли в месте загрузки трибоэлектрического сепаратора.

15. Устройство по п.12, в котором средство обработки зольной пыли включает средство добавления воды к зольной пыли, находящейся в накопительном бункере, питающем трибоэлектрический сепаратор.

16. Устройство по п.12, в котором воздух используется для переноса зольной пыли от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору, а средство обработки зольной пыли включает нагреватель, который нагревает воздух для переноса перед комбинированием воздуха для переноса с зольной пылью.

17. Устройство по п.16, в котором воздушная система переноса, которая переносит зольную пыль от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору, изолирована таким образом, чтобы уменьшить потери тепла в воздухе в воздушной системе переноса.

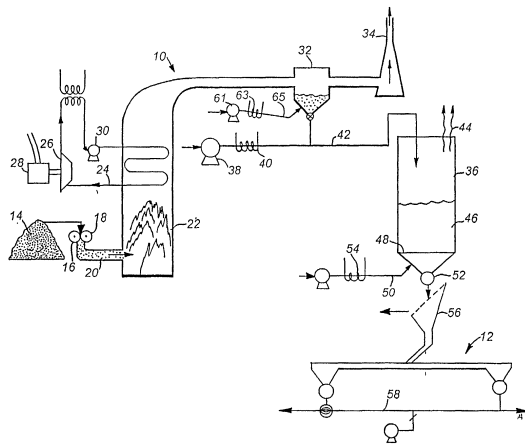
18. Устройство по п.17, которое содержит накопительную емкость для золы с разгрузочным окном, через которое происходит загрузка трибоэлектрического сепаратора.

19. Устройство по п.13, в котором средство обработки зольной пыли включает в себя нагревательное устройство, применяемое для нагрева используемого для псевдоожижения зольной пыли воздуха перед его комбинированием с зольной пылью.

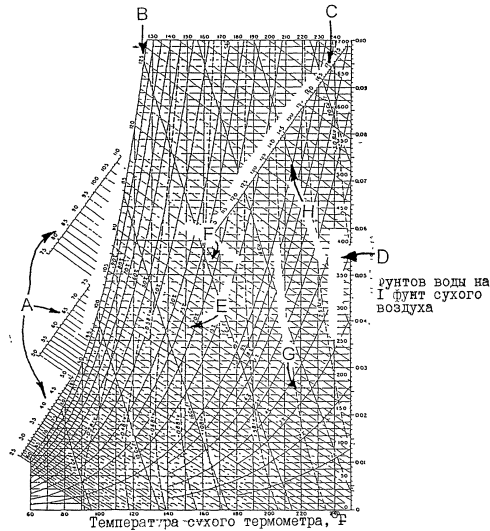
20. Устройство по п.12, в котором средство обработки зольной пыли включает устройство для обезвоживания воздуха для переноса, применяемого для переноса зольной пыли от удаленного накопительного бункера к трибоэлектрическому сепаратору, до комбинирования воздуха для переноса с зольной пылью.

21. Система электростанции общего назначения, содержащая котел для сжигания угля для получения пара, используемого для выработки электроэнергии, причем в котле образуются несгораемые материалы, выходящие из котла в виде газов; соединенную с котлом систему улавливания золы, в которую поступают газы, выходящие из котла и улавливается содержащаяся в газах зола, систему переноса зольной пыли, соединенную с системой улавливания золы, в которую поступает уловленная зола, обеспечивающая транспортировку собранной золы к удаленной накопительной емкости, и трибоэлектрический сепаратор ленточного типа с противотоком, в который поступает зольная пыль из удаленной накопительной емкости,

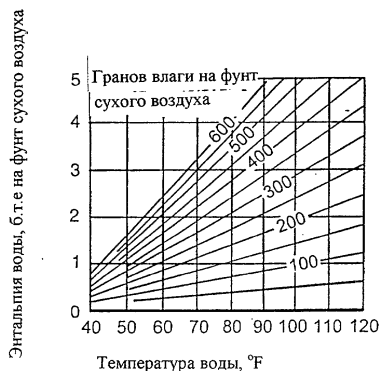
обеспечивающий зарядку трибоэлектрическим способом содержащихся в зольной пыли частиц углерода, а также зольную пыль таким образом, чтобы электростатически отделить заряженные частицы углерода от заряженной зольной пыли, отличающаяся тем, что система содержит расположенное перед трибоэлектрическим сепаратором средство обработки зольной пыли, в ко-



Фиг. 1

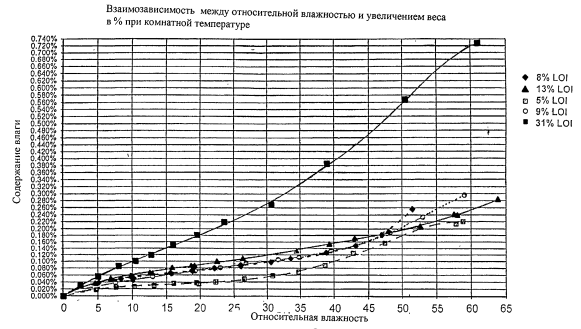


Фиг. 2



торое подается зольная пыль из удаленной накопительной емкости, предназначенное для доведения относительной влажности зольной пыли до оптимального значения в пределах от приблизительно 5% до 30% для трибоэлектрического отделения частиц углерода от зольной пыли.

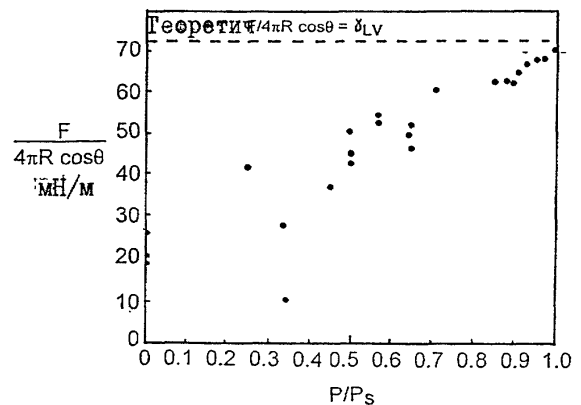
Фиг. 2А



Фиг. 3

Относительная влажность	Радиус кривизны для чистой воды			Радиус кривизны для насыщенных солей		
	метров	микронов	Ангстремов	NaCl (75)	NaI (50)	CaCl2 (33)
100	плоский	плоский	плоский	плоский	плоский	плоский
99.9999	0.001078	1077.602	10776016	17.14266	48.29188	113.0627
99.999	0.000108	107.7597	1077597	9.808758	15.54651	38.81408
99.99	1.08E-05	10.77548	107754.8	8.152808	11.76048	21.51868
99.9	1.08E-06	1.077053	10770.63	6.695519	8.950386	13.66722
99	1.07E-07	0.107221	1072.205	5.348159	6.695519	9.02573
90	1.02E-08	0.010228	102.2776	3.979255	4.679967	5.710453
75	3.75E-09	0.003746	37.45809	2.495901	2.754591	3.081939
50	1.55E-09	0.001555	15.54651	2.15063	2.339963	2.572059
40	1.18E-09	0.001176	11.76048	1.62778	1.733982	1.858225
30	8.95E-10	0.000895	8.950386	1.473495	1.559989	1.659331
25	7.77E-10	0.000777	7.773257	1.207714	1.265208	1.330098
20	6.7E-10	0.00067	6.695519			
15	5.68E-10	0.000568	5.6802			
10	4.68E-10	0.000468	4.679967			
5	3.6E-10	0.00036	3.597124			
1	2.34E-10	0.000234	2.339963			
0.5	2.03E-10	0.000203	2.033857			
0.1	1.55E-10	0.000156	1.559989			
0.05	1.42E-10	0.000142	1.417729			
0.01	1.17E-10	0.000117	1.169992			

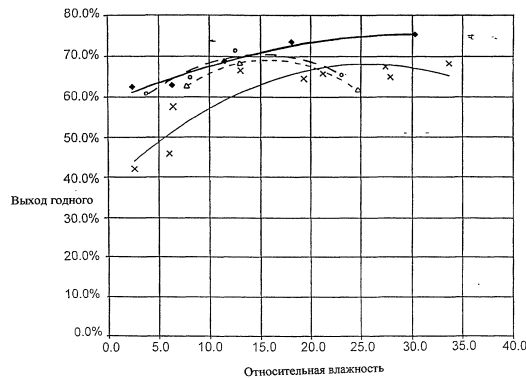
Фиг. 4



Фиг. 5

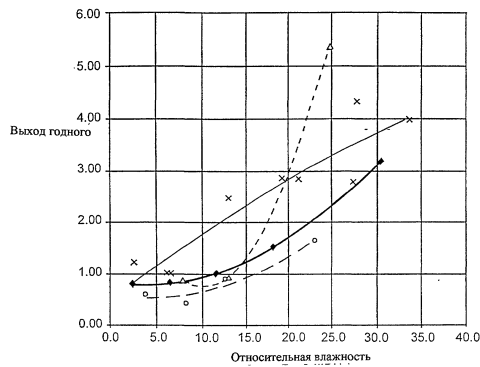
МАТЕРИАЛ.	МЕГАОМ 50% ВЛАЖНОСТЬ	МЕГАОМ 70% ВЛАЖНОСТЬ	МЕГАОМ 90% ВЛАЖНОСТЬ	МЕГАОМ-см.
ЯНТАРЬ.....	6x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>8</sup>	5x10 <sup>10</sup>
ПЧЕЛИНЫЙ ВОСК, ЖЕЛТЫЙ.....	6x10 <sup>8</sup>	6x10 <sup>8</sup>	5x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>10</sup>
ЦЕЛЛЮЛОЗД.....	6x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>10</sup>
ФИБРА, КРАСНАЯ.....	2x10 <sup>8</sup>	3x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	5x10 <sup>10</sup>
СТЕКЛО, ЛИСТОВОЕ.....	5x10 <sup>8</sup>	6x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>10</sup>
СТЕКЛО КАВАЛЬЕ.....	4x10 <sup>8</sup>	4x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>8</sup>	8x10 <sup>10</sup>
ЖЕСТКИЙ КАУЧУК, НОВЫЙ.....	3x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>12</sup>
СПОНОВАЯ КОСТЬ.....	5x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>8</sup>	3x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>10</sup>
ХОТИНСКИЙ ЦЕМЕНТ.....	7x10 <sup>8</sup>	3x10 <sup>8</sup>	5x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>10</sup>
МРАМОР, ИТАЛЬЯНСКИЙ.....	3x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>10</sup>
СЛЮДА, ПРОЗРАЧНАЯ.....	2x10 <sup>8</sup>	4x10 <sup>8</sup>	8x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>11</sup>
ПАРАФИН.....	9x10 <sup>8</sup>	7x10 <sup>8</sup>	6x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>10</sup>
ФАРФОР, НЕГЛАЗУРОВАННЫЙ.....	6x10 <sup>8</sup>	7x10 <sup>8</sup>	5x10 <sup>8</sup>	3x10 <sup>10</sup>
КВАРЦ, ОПЛАВЛЕННЫЙ.....	3x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	5x10 <sup>12</sup>
КАНИФОЛЬ.....	6x10 <sup>8</sup>	3x10 <sup>8</sup>	2x10 <sup>8</sup>	5x10 <sup>10</sup>
СУРГУЧ.....	2x10 <sup>8</sup>	6x10 <sup>8</sup>	9x10 <sup>8</sup>	8x10 <sup>10</sup>
ШЕЛЛАК.....	6x10 <sup>8</sup>	3x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>10</sup>
ШИФЕР.....	9x10 <sup>8</sup>	3x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>11</sup>
СЕРА.....	7x10 <sup>8</sup>	4x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>8</sup>	1x10 <sup>11</sup>
ДРЕВЕСИНА, НАВОЩЕННОЕ КРАСНОЕ ДЕРЕВО.....	4x10 <sup>8</sup>	5x10 <sup>8</sup>	7x10 <sup>8</sup>	4x10 <sup>7</sup>

Фиг. 6



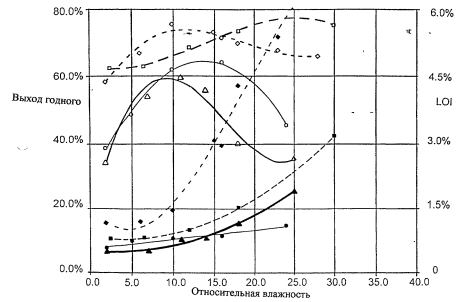
• Зола 1 – 10% остаточного углерода, 100°F (38°C)  
 Δ Зола 2 – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C)  
 x Зола 3 – 19% остаточного углерода, 70°F (21°C)  
 o Зола 4 – 6% остаточного углерода, 70°F (21°C)  
 — кривая (Зола 1 – 10% остаточного углерода, 100°F (38°C))  
 - - кривая (Зола 2 – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C))  
 - - кривая (Зола 3 – 19% остаточного углерода, 70°F (21°C))  
 - - кривая (Зола 4 – 6% остаточного углерода, 70°F (21°C))

Фиг. 7



• Зола 1 – 10% остаточного углерода, 100°F (38°C)  
 Δ Зола 2 – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C)  
 x Зола 3 – 19% остаточного углерода, 70°F (21°C)  
 o Зола 4 – 6% остаточного углерода, 70°F (21°C)  
 — кривая (Зола 1 – 10% остаточного углерода, 100°F (38°C))  
 - - кривая (Зола 2 – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C))  
 - - кривая (Зола 3 – 19% остаточного углерода, 70°F (21°C))  
 - - кривая (Зола 4 – 6% остаточного углерода, 70°F (21°C))

Фиг. 8

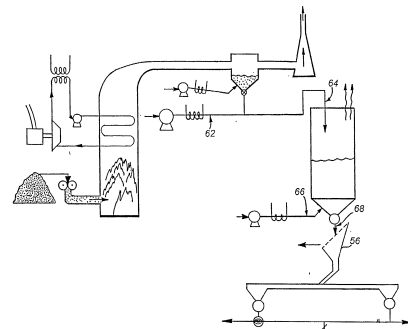


Δ Зола А – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C), выход годного  
 o Зола В – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C), выход годного  
 o Зола С – 10% остаточного углерода, 90°F (32°C), выход годного  
 o Зола D – 10% остаточного углерода, 95°F (35°C), выход годного  
 Δ Зола А – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C), остаточный углерод  
 • Зола В – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C), остаточный углерод  
 • Зола С – 10% остаточного углерода, 90°F (32°C), остаточный углерод  
 • Зола D – 10% остаточного углерода, 95°F (35°C), остаточный углерод  
 — кривая (Зола А – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C), остаточный углерод)  
 - - кривая (Зола В – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C), остаточный углерод)  
 - - кривая (Зола С – 10% остаточного углерода, 90°F (32°C), остаточный углерод)  
 - - кривая (Зола D – 10% остаточного углерода, 95°F (35°C), остаточный углерод)  
 — кривая (Зола А – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C), выход годного)  
 - - кривая (Зола В – 10% остаточного углерода, 70°F (21°C), выход годного)  
 - - кривая (Зола С – 10% остаточного углерода, 90°F (32°C), выход годного)  
 - - кривая (Зола D – 10% остаточного углерода, 95°F (35°C), выход годного)

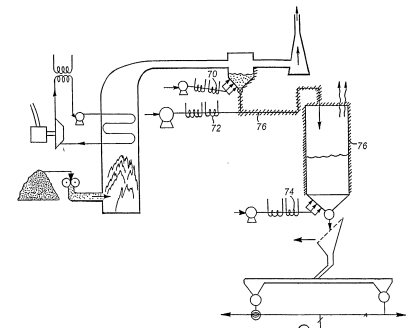
Фиг. 9

Зола	Отн. влажность, при которой в продукте содержится 3% несорванного углерода	Выход годного при отн. влажности, при которой в продукте содержится 3% несорванного углерода	Отн. влажность, при максимальной выход годного	Максимальный выход годного	Отн. влажность при выходе годного продукта	Выход годного при выходе годного продукта
1	30%	75%	30%	75%	30%	75%
2	20%	67	15	70	15	70
3	22	60	25	68	22	67
4	>25	60	15	70	15	70
A	>25	35	14	65	14	65
B	15	72	12	73	12	72
C	>25	45	9	60	9	60
D	29	75	25	78	25	78

Таблица 1



Фиг. 10



Фиг. 11

