

Сжигание высокозольных шламов как путь к безотходной технологии обогащения углей

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-8-140-145>

КОЗЛОВ Вадим Анатольевич

Канд. техн. наук, доцент,
главный технолог «Коралайна Инжиниринг»,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: vak@coralina.ru

Владимир ГАРБЕР

Доктор-инженер,
директор фирмы FTT-Ing.,
40229, Дюссельдорф, Германия,
e-mail: info@ftt-ing.de

Рассмотрены технология и оборудование, позволяющие сжигать высокозольные шламы, образующиеся при обогащении углей. Технология сжигания в кипящем слое хорошо освоена в энергетике и позволяет заменить высокозольными шламами качественное топливо. Сухая зола от сжигания высокозольных шламов может использоваться для производства шлако-цементов, стенового камня, легкого бетона и других строительных материалов. Технология сжигания в кипящем слое для утилизации высокозольных отходов позволяет реализовать идею безотходной технологии обогащения углей. Рассмотрены возможности влияния федеральной и региональной властей на предприятия для перехода на технологии сжигания высокозольных продуктов с целью улучшения экологии регионов и уменьшения потерь угля с отходами обогащения.

Ключевые слова: зольность угля, влага угля, угольный шлам, отходы углеобогащения, промпродукт, топки с кипящим слоем, безотходное обогащение углей, угольная энергетика, экономия угольного топлива, шлако-цементы, стеновые камни, легкие бетоны, снижение затрат на топливо, экология окружающей среды.

ВВЕДЕНИЕ

На углеобогатительных фабриках, в технологии которых применяются мокрые процессы обогащения, как правило, в конце схемы образуются шламы с высокой зольностью и с высокой влажностью после обезвоживания, в результате чего необходимо решать проблему: присоединить их к концентрату или направить их в отходы. В последнем случае это приводит к значительным потерям угля с отходами обогащения.

На современных фабриках с замкнутой водно-шламовой схемой без сброса шламовых пульп во внешние отстойники необогащенные тонкие шламы и хвосты флотации с крупностью частиц 0-0,3 мм обычно сгущаются в су-

стителях, осадок которых обезвоживается на ленточных фильтр-прессах. Влага кека на этих обезвоживающих аппаратах находится в пределах 35-45%. Зольность кека зависит от глубины обогащения угля на фабрике и зольности исходного угля. Если зольность кека, который при указанной влаге является транспортабельным продуктом, будет выше 30%, то его можно считать высокозольным продуктом. В этом случае его нежелательно присоединять к товарным угольным продуктам из-за заметного ухудшения их качества по зольности и влаге. В результате кек направляют в отвалы вместе с крупной породой.

Рассмотрим существующие технические возможности использования высокозольного кека в качестве энергетического продукта.

ТОПОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА С КИПАЩИМ СЛОЕМ ДЛЯ ГЕНЕРАТОРОВ ГОРЯЧИХ ГАЗОВ

Топки, работающие на принципе создания кипящего слоя угля, в настоящее время применяются в котельных агрегатах тепловой мощностью от 5 до 300 МВт. Эти топки также входят в состав «генераторов горячих газов», применяемых в сушильных агрегатах. В них могут сжигаться угли низкого качества, в том числе высокозольные шламы, образующиеся в процессе обогащения угля [1]. В генераторах горячих газов конструкции фирмы «ФТТ» [2] получают газы с температурой до 1000°C, что позволяет использовать их в различных установках для сушки углей и других промышленных материалов (рис. 1).

Основой **технологии кипящего слоя** является процесс интенсивного теплообмена во взвешенном слое между горячим газом и твердыми частицами топлива. Взвешенный слой частиц создается поступающим снизу из сопел через водоохлаждаемую решетку потоком горячего газа. Топливо подается питателем на решетку сверху. Нижняя часть камеры дожига топлива (см. рис. 1, поз. 1) расширяется под углом примерно 60°. Это приводит к снижению восходящей скорости горячих газов, частицы топлива выпадают из потока и сгорают, а несгоревшие частицы многократно возвращаются к воздухораспределительной решетке. Под слой топлива подается 50-70% всего воздуха, это обеспечивает газификацию топлива без высокого выноса твердых частиц. Другая часть воздуха – 30-50% общего объема – подается выше зоны кипящего слоя и служит для дожига топлива и продуктов газификации. Это обеспечивает высокую степень выгорания органики даже в высокозольном и высоковлажном топливе.

Перед подачей в топку высокозольные угольные шламы пропускают через шнековый экструдер с режущим ножом

для получения коротких пеллет диаметром 50-10 мм и длиной 10-20 мм.

Пеллеты, приготовленные из угольного шлама, при попадании на воздушную решетку кипящего слоя быстро высыхают, сжимаются в размерах и сгорают в кипящем слое как цельные кусочки угля. Благодаря этому процессу исходный высокозольный угольный шлам с частицами 0-1,5 мм сгорает в кипящем слое как уголь с размерами частиц 5-10 мм. При этом 60-80% золы удаляется под решетку кипящего слоя в виде сравнительно крупных комков шлама, не попадая в горячие газы, идущие в сушильный аппарат или конвективную часть котельного агрегата [3]. Таким образом, генератор горячих газов с топкой кипящего слоя меньше засоряет товарные угли золой при их сушке.

Зольные продукты сгорания удаляются вниз под решетку через водоохлаждаемые каналы и водоохлаждаемую арматуру на пластинчатый конвейер, снабженный дополнительными устройствами охлаждения золы, иногда с рекуперацией тепла.

Топки кипящего слоя используются также для **сжигания углей или жидких топлив с высоким содержанием серы**. Добавление в кипящий слой молотого известняка позволяет связать серу и вывести ее из процесса в виде гипса в составе сухой золы.

Низкое образование окислов азота и возможность эффективно связывать серу известняком в кипящем слое позволяют получать горячие газы с низким содержанием SO₂, что характеризует этот способ сжигания топлива как соответствующий высоким требованиям по защите окружающей среды [4].

КАКИЕ ВЫСОКОЗОЛЬНЫЕ ПРОДУКТЫ И С ВЫСОКОЙ ВЛАГОЙ МОЖНО СЖИГАТЬ?

В работе [5] авторы используют диаграмму шведского ученого Таннера, который предложил для определения границ автогенного горения использовать

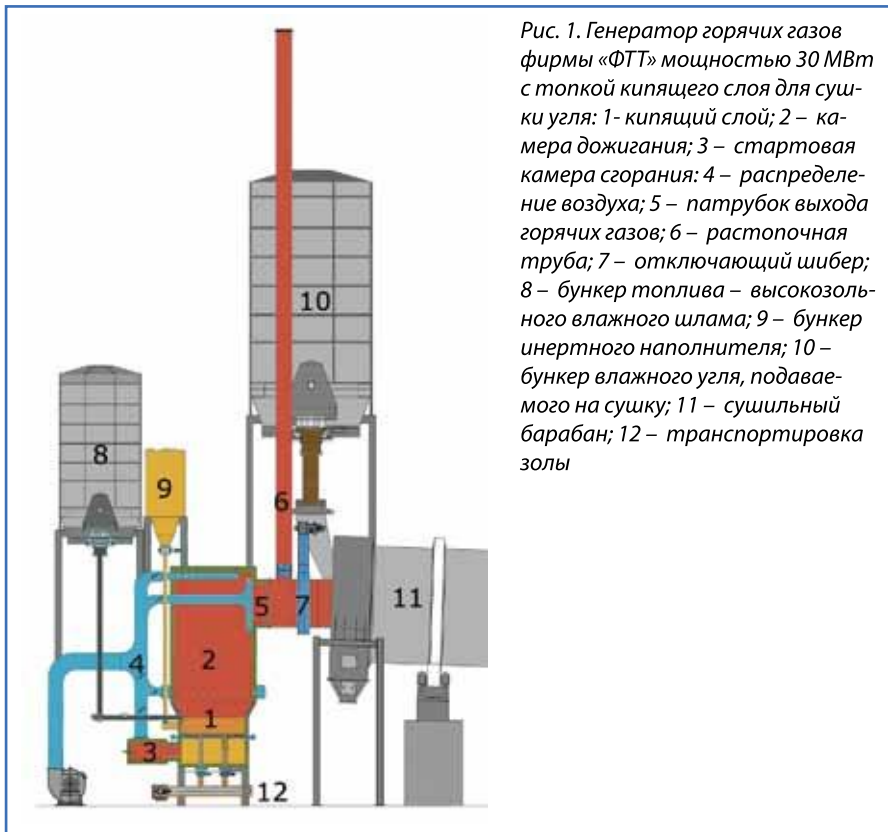


Рис. 1. Генератор горячих газов фирмы «ФТТ» мощностью 30 МВт с топкой кипящего слоя для сушки угля: 1- кипящий слой; 2 – камера дожигания; 3 – стартовая камера сгорания; 4 – распределение воздуха; 5 – патрубок выхода горячих газов; 6 – растопочная труба; 7 – отключающий шибер; 8 – бункер топлива – высокозольного влажного шлама; 9 – бункер инертного наполнителя; 10 – бункер влажного угля, подаваемого на сушку; 11 – сушильный барабан; 12 – транспортировка золы

схему-треугольник, описывающую область горения органического вещества без дополнительного подвода тепла (рис. 3).

Согласно диаграмме, нижний предел теплоты сгорания высокозольного и влажного органического вещества, при котором возможно автогенное (самоподдерживающееся) его горение без применения дополнительного топлива, должно соответствовать условию: влага должна быть <50%, зольность <60%, содержание углерода >25%. Большинство шламовых отходов углеобогащения удовлетворяет этим условиям и, следовательно, их можно рассматривать в качестве сырья для получения энергосистем (горячих газов).

Для сжигания в кипящем слое без предварительной сушки и подмеса качественных топлив высокозольные угольные шламы должны иметь низшую теплоту сгорания не менее 2200 ккал/кг, что обеспечивает полезное тепло от

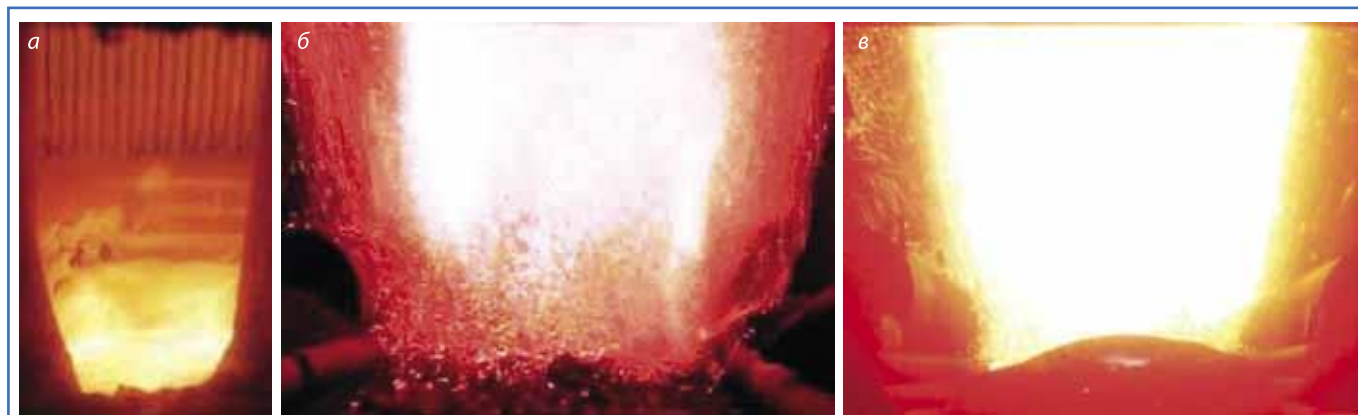


Рис. 2. Кипящий слой при старте: а – разогрев инертного наполнителя; б – начало подачи топлива; в – номинальный рабочий режим



Рис. 3. Диаграмма «зольность – влажность». Желтая зона – для органических веществ, сжигаемых без применения дополнительного тепла

сжигания, покрывающее потери тепла на удаление влаги из топлива и нагрев золы до температуры горячих газов (см. таблицу).

Желтая зона на графике (рис. 4) показывает, какие угольные отходы могут сжигаться в кипящем слое «как есть», без подсушки и подмеса качественного угля. Повышение теплового КПД возможно за счет подсушки топлива перед подачей в топку с использованием тепла газов от сжигания топлива в кипящем слое.

Можно заменить предварительную подсушку шламовых отходов углеобогащения на подмес к ним более качественного угля. Добавка к высокозольному шламу до 40% качественного угля, по опыту немецких фирм, позволяет сжигать шламы с зольностью до 65% и влажностью до 45%.

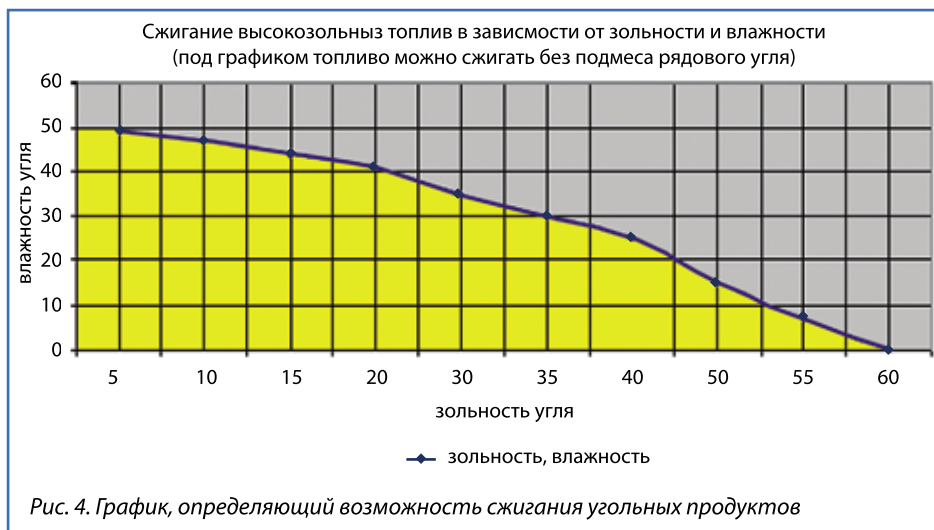


Рис. 4. График, определяющий возможность сжигания угольных продуктов

Как показала практика, при работе углеобогащительных фабрик 4-8% органической массы добываемых углей теряется в составе высокозольного кека с отходами. Задачу утилизации высокозольных шламов, образующихся при обогащении углей, можно решить в три этапа.

Рассмотрим это на примере расчета объема собственного потребления высокозольных шламов углеобогащительной фабрикой при условной производительности 1 млн т угля в год.

Этап 1: потребление на собственные нужды

1. Котельная фабрики мощностью 10 МВт потребляет 4 т в час высокозольного шлама с калорийностью 2250 ккал/кг. Потребление шлама в котельной составит 24 тыс. т в год.

2. Сушильные агрегаты должны подсушить 300 тыс. т угля в год с начальной влажности 14% до конечной влажности 7%. На сушку угля будет израсходовано 14 тыс. т в год высокозольного шлама с калорийностью 2250 ккал/кг. Суммарное потребление высокозольных шламов внутри углеобогащительной фабрики составит 38 тыс. т в год. Суммарное количество высокозольного шлама, образующегося при обогащении, составляет около 8% производительности фабрики (80 тыс. т в год). Фабрика может использовать на собственные нужды почти половину высокозольного шлама. Остаток: 80 тыс. – 38 тыс. = 42 тыс. т может быть использован вне фабрики.

Этап 2: обогащение угля + энергетика

Сжигание шламов, остающихся после первого этапа в энергетических котлах и топливопотребляющих промышленных установках, заменяя ими качественное топливо. На этом этапе прекращается подача шлама в породные отвалы. Высокозольный и влажный угольный шлам не является ликвидным продуктом, который можно продать покупателю, так же проблематично осуществлять его отдельную транспортировку на большие расстояния.

Использование высокозольных продуктов углеобогащения наиболее экономически выгодно в случае, если угольное месторождение, углеобогащительная фабрика, теплостанция или иные топливопотребляющие

производства, например цементный завод, входят в единую экономическую структуру (рис. 5).

При кооперации углеобогащительных фабрик с угольными теплостанциями реализуемы два варианта:

- первый вариант – перевод котлов суммарной тепловой мощностью 40 МВт (с учетом сезонности теплофикационных котлов) на работу с кипящим слоем и сжиганием только высокозольных шламов, что позволит сжечь 42 тыс. т шлама в год;
- второй вариант – добавление высокозольных шламов к

Теплотворная способность угольных продуктов при различных соотношениях: зольность/влага

Зольность, Ash, %	5	10	15	20	30	35	40	50	55	60
Влага, W, %	49	47	44	41	30	25	15	15	7	0
Низшая теплота сгорания, Q, kkal/kg	2250	2230	2250	2260	2200	2270	2290	2240	2280	2240

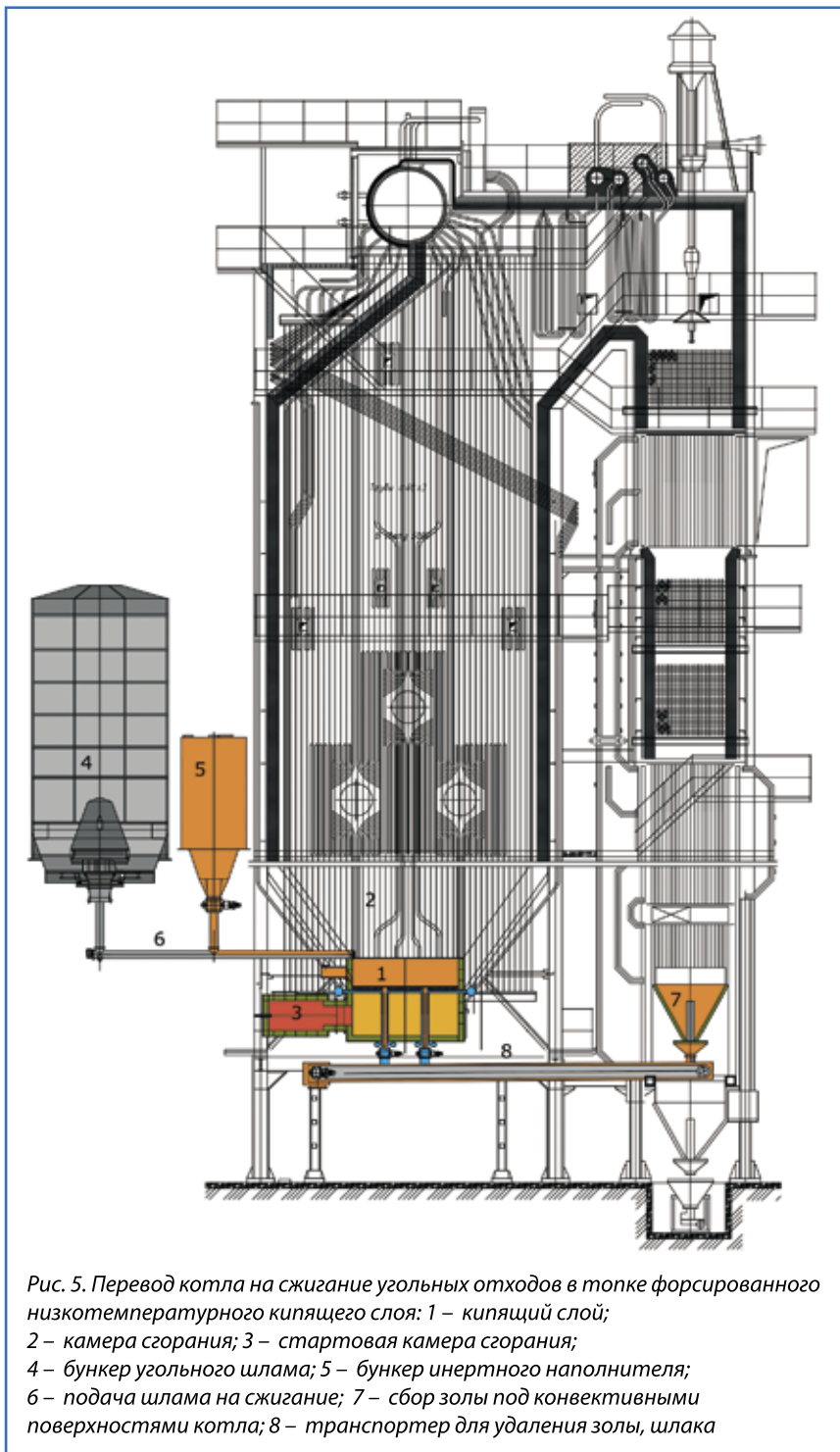


Рис. 5. Перевод котла на сжигание угольных отходов в топке форсированного низкотемпературного кипящего слоя: 1 – кипящий слой; 2 – камера сгорания; 3 – стартовая камера сгорания; 4 – бункер угольного шлама; 5 – бункер инертного наполнителя; 6 – подача шлама на сжигание; 7 – сбор золы под конвективными поверхностями котла; 8 – транспортер для удаления золы, шлама

основному качественному углю, подаваемому на тепловые станции. Реально возможна замена 20% основного угольного топлива без дорогостоящих реконструкций котельных агрегатов. Высокозольные шламы должны подмешиваться к основному углю до помола. Потребуется подавать больше тепла на мельницы. Шламы после подсушки являются почти готовым мелким топливом, поэтому увеличения расхода электроэнергии на угольные мельницы не произойдет. Для утилизации высокозольного шлама от углеобогащательной фабрики, оставшегося после сжигания на собственные нужды, в этом случае потребуется перевести на частичное сжигание шлама суммарно 200 МВт тепловых мощностей без реконструкции собственно котельных агрегатов.

содержащаяся в высокозольных шламах, выгорает, замещая часть топлива, а минеральная составляющая – зольные остатки – являются минеральным сырьем для получения цемента [6].

Сжигание высокозольных твердых топлив несет с собой проблему утилизации золы. С другой стороны, положительным моментом является то, что из золы можно изготовить строительные материалы. Строительная технология предполагает, что остатки от сжигания высокозольных углей в кипящем слое смешиваются с небольшим (10-15%) количеством цемента и перемалываются в сырьевой мельнице. Таким путем может быть получен строительный цемент, соответствующий нормам для шлако-цементов (рис. 6).

Отходами от сжигания шламов на втором этапе являются летучая сухая зола, гранулированные шлаки и подобные материалы с содержанием минеральной части 96-98%. Экономия складывается из стоимости топлива для котельной и сушильных агрегатов, плюс экономия средств на депонирование отходов – около 3-5 дол. США за 1 т.

Существует упрощенный вариант подачи высокозольных шламов на сжигание в котлы без реконструкции топочной камеры. Возможна установка специальных форсунок для распыления шлама между основными горелками котла. Так можно сжечь шлам в количестве, эквивалентном 5% основного угля. Технические решения уже реализованы в промышленности. Отработаны также технические решения по эффективному низкочастотному транспорту шлама к котельному агрегату. Это гидротранспорт с использованием плунжерных насосов, позволяющий подавать шлам с концентрацией твердого до 75%.

В любом случае, экономический эффект появляется при совместной эксплуатации углеобогащательной фабрики и котлов теплоэлектростанции. Характерно, что энергетические предприятия, входящие в состав концернов, как правило, высказываются против изменений в топливном режиме котлов. Решением этого организационного вопроса является доплата энергетикам доли прибыли от сжигания высокозольных продуктов. Это практикуется на европейских предприятиях. Предприятия не только не покупают при этом топливо, но и получают доплату за организацию сжигания отходов.

Этап 3: строительные материалы из золы от сжигания высокозольных шламов

Заводы могут подмешивать высокозольные угольные шламы в шихту, подаваемую в цементные печи получения цементного клинкера. При этом органи-

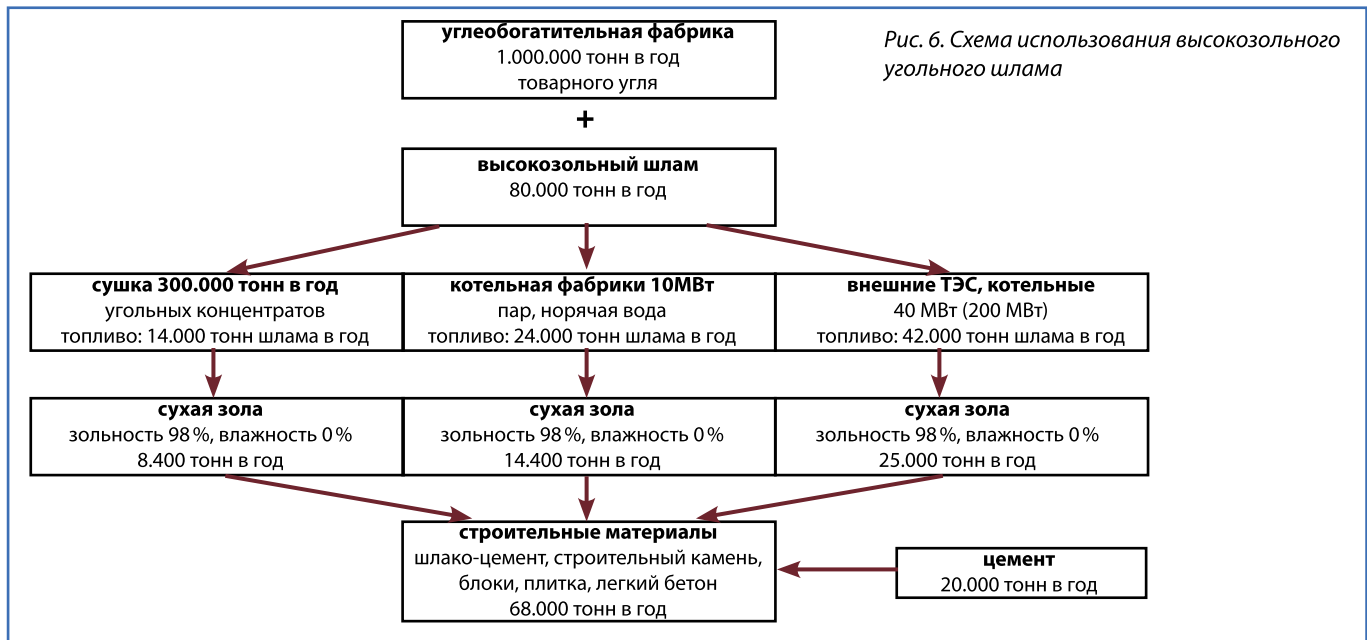


Рис. 6. Схема использования высокозольного угольного шлама

На основе золы можно выпускать такие продукты, как стеновой камень, легкие изолирующие шлакоблоки. При этом решаются три задачи:

- первая – расширяется топливная база за счет использования высокозольных углей;
- вторая – снижаются экологические проблемы – должно складироваться меньшее количество отходов;
- третья – производятся строительные материалы, замещающие цементы или легкие строительные камни.

Региональное и федеральное управление

В энергетике освоены технологии, позволяющие сжигать любые отходы углеобогащения, и практически любые бытовые отходы. Решения этих вопросов сейчас уже не определяются только развитием техники, а лежат в области регионального и федерального управления. Энергетики могут сжигать высокозольные продукты в объеме, эквивалентном 100% количества энергетического угля, установив в котлах топку высокофорсированного низкотемпературного кипящего слоя, сохраняя 90-95% трубных поверхностей без изменения. Реконструкция относительно недорогая. В регионе не нужно будет выделять дополнительные площади под утилизацию отходов с проблемами рекультивации отвалов.

Региональные власти определяют стоимость площадей под захоронение отходов. Это мощный рычаг для повышения количества сжигаемых отходов углеобогащения. Введение на федеральном уровне достаточных доплат или иных экономических льгот тепловым станциям и промышленным предприятиям, типа цементных заводов, за сжигание высокозольных шламовых отходов должно сделать их сжигание прибыльным для котельных и промышленных предприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сжигание высокозольных шламов, образующихся при обогащении угля, позволяет полностью использовать эти, как правило, неликвидные продукты в энергетических целях. Результаты рассмотренной технологии позволяют:

- полностью перевести процессы сушки угля и котельные углеобогащительных фабрик на сжигание отходов без использования качественного топлива;
- заменить от 20 до 100% объема качественного угля, используемого в качестве топлива в топках ТЭС или котельных, расположенных на небольшом удалении от углеобогащительных фабрик, на высокозольные продукты обогащения;
- исключить потери органической массы угля с высокозольными и влажными тонкодисперсными шламами;
- улучшить экологию угольных регионов, исключить накопление отходов, переработать существующие шламоотстойники;
- сухая зола от сжигания высокозольных шламов может использоваться для производства шлако-цементов, стенового камня, легкого бетона и других строительных материалов.

Возможные решения региональной власти для уменьшения объема отходов углеобогащения:

1. Повышение стоимости площадей и стоимости складирования отходов;
2. Введение специальных льгот и доплат энергетикам и промышленным предприятиям за сжигание отходов. Возможно введение долевого норматива по сжиганию отходов по отношению к основному топливу.

Доплаты на сжигание шламовых отходов финансируются из средств от повышения стоимости породных отвалов и рассчитываются таким образом, чтобы сжигание отходов становилось выгодным энергетикам и другим отраслям промышленности. Дополнительного финансирования это не требует. Эти решения находятся в руках региональной власти, которая может принципиально изменить ситуацию в угледобывающих регионах.

Список литературы

1. Котлы с циркулирующим кипящим слоем для различного твердого топлива // Энергетика за рубежом. 2017. № 3. С. 29-37.
2. Генераторы горячих газов / 001 Брошюра. URL: <http://ftt-ing.de/09Broschure.html> (дата обращения: 14.07.2017).

3. Сжигание высокозольных шламов и промпродуктов углеобогащения при сушке углей и в котельных агрегатах. Безотходное обогащение углей / 007 Брошюра. URL: <http://ftt-ing.de/09Broschure.html> (дата обращения: 14.07.2017).

4. Белосельский Б.С., Барышев В.И. Низкосортные энергетические топлива: особенности подготовки и сжигания. М. Энергоатомиздат, 1989, 139 с.

5. Komilis D., Kissas K., Symeonidis A. Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid wastes: An update of the Tanner diagram, Waste Management, 34 (2014), pp. 249–255.

6. Приготовление и использование пылевидного угольного топлива – ПУТ в промышленности / 002 Брошюра. URL: <http://ftt-ing.de/09Broschure.html> (дата обращения: 14.07.2017).

COAL PREPARATION

UDC 622.7:622.794.3:622.794.42:658.512 © V.A. Kozlov, W. Garber, 2017
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2017, № 8, pp. 140-145

Title
HIGH-ASH SLURRY COMBUSTION AS A WAY TO NON-WASTE COAL PREPARATION TECHNOLOGIES

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2017-8-140-145>

Authors

Kozlov V.A.¹, Garber W.²

¹“Coralina Engineering”, LLC, Moscow, 105005, Russian Federation

²Buro Feuerung-und Trocknungstechnologiern, Dusseldorf, 40229, Germany

Authors' Information

Kozlov V.A., PhD (Engineering), Associate Professor, Chief technologist, e-mail: vak@coralina.ru

Garber W., Dr.– Ing., CEO, e-mail: info@ftt-ing.de

Abstract

The technology and the equipment allowing to burn high-ash slurry, generated during coal preparation, are reviewed. The technology of fluidized bed combustion is well deployed in power engineering and allows replacing quality fuel with high-ash slurry. Dry ash from high ash slurry combustion can be used for slag-cement, wall stone, lightweight concrete and other building materials production. The technology of incineration in the fluidized bed for the high-ash waste disposal enables implementing the idea of non-waste coal preparation technology. Potential federal and regional authorities leverage for conversion to high-ash products for local environment improvement and reduction of coal preparation wastes are reviewed.

Keywords

Coal ash content, Coal moisture content, Coal slurry, Coal preparation wastes, Mid-coal, Fluidized bed furnaces, Nonwaste coal preparation, Coal energy, Coal fuel saving, Slag-cement, Wall stone, Lightweight concrete, Coal costs reduction, Environment.

References

1. Kotly s tsirkuliruyushchim kipyashchim sloem dlya razlichnogo tverdogo topliva [Fluidized bed boilers for different solid fuel]. *Energetika za rubezhom – International Power Industry*, 2017, no. 3, pp. 29-37.
2. *Generatory goryachih gazov* [Hot gas generators]. 001 Brochure. Available at: <http://ftt-ing.de/09Broschure.html> (accessed 14.07.2017).
3. *Szhiganie vysokozolnyh shlamov i promproduktov ugleobogashcheniya pri sushke ugley i v kotelnyh agregatah Bezotходное obogashchenie ugley* [High-ash slurry and mid-coal combustion during coal drying and in boiler units. Non-waste coal preparation]. 007 Brochure. Available at: <http://ftt-ing.de/09Broschure.html> (accessed 14.07.2017).
4. Beloselskiy B.S. & Baryshev V.I. *Nizkosortnye energeticheskie topliva Osobennosti podgotovki i szhiganiya* [Low grade energy fuel: specific features of preparation and combustion]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1989, 139 pp.
5. Komilis D., Kissas K. & Symeonidis A. Effect of organic matter and moisture on the calorific value of solid wastes: An update of the Tanner diagram, *Waste Management*, 34 (2014), pp. 249–255.
6. *Prigotovlenie i ispolzovanie pylevidnogo ugolnogo topliva – PUT v promyshlennosti* [Powdered coal fuel preparation and utilization – powdered coal fuel in industry]. 002 Brochure. Available at: <http://ftt-ing.de/09Broschure.html> (accessed 14.07.2017).

НАДЕЖНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ – ВАМ В ПОМОЩЬ



Коронки, адаптеры, зубья, межзубьевая защита и ковши производства компании ESCO для экскаваторов P&H.

Минимальные сроки исполнения заказов: поставка со склада в Кемерове

С Днём шахтёра, дорогие горняки!
Новых рекордов, крепкого здоровья, стабильности!

г. Москва, ул. Суцевский Вал, д. 3/5а, +7 (499) 375-35-52, intermining.msk@gmail.com