УДК 662.71/.74
УДК 628.474.383

W.Garber[1], *M.Serant* [2]

[1]Ing.-Büro Feuerung- und Trocknungstechnologiern, Germany
info@ftt-ing.de
[2]RM Inest GmbH, Germany
info@rm-invest-com

Энергетический котёл с сжиганием угля в барботируемом слое шлака

АННОТАЦИЯ

Приведены описания и техническая информация о реализации в металлургии технологии сжигания угля в барботируемом слое шлака. Показаны возможности использования этой технологии в энергетике на основе отработанных металлургами технических решений. Показаны технические и экологические преимущества технологии сжигания угля в барботируемом слое шлака по сравнению с традиционными технологиями сжигания угля. Технология может применяться при строительстве новых угольных тепловых станций, реконструкции котлов с жидким шлакоудалением для расширения сортов топлива, при переводе мазутных и газовых котлов на угольное топливо.

1. ВВЕДЕНИЕ

В России развитие угольной энергетики невозможно без обеспечения сравнимых с газовыми станциями экологических показателей, удовлетворяющих современным требованиям. Значительное уменьшение вредного воздействия на окружающую среду возможно только при использовании новых эффективных угольных технологий.

Несмотря на многообразие известных способов сжигания угля, до сих пор не удалось создать эффективную и экологически чистую угольную технологию, сравнимую с технологиями на природном газе.

Такая технология должна обеспечивать

1. Комплексное использование угля как минерального сырья, как органическую, так и минеральную части угля.
2. Возможность стабильной работы установок на углях разного качества.
3. Минимальное количество отходов – золы.
4. Широкий диапазон регулирования производительности.
5. Существенно меньшее количество выбросов в виде оксидов азота, серы и пыли.
6. Высокое теплонапряжение топочного объёма – уменьшение площади, веса, стоимости теплообменных поверхностей.[1]

ЭТО РЕАЛЬНО, такие установки с сжиганием угля под шлаком уже более 40 лет работают при производительности 40-50 тонн/час по пару и нет ограничений по наращиванию мощности.

Но работают они не в энергетике. Они работают в металлургии.

2. Шлаковозгоночные печи ШВУ,

являющиеся основой нашего рассказа - это по сути хорошая топочная камера угольного котла, готовая для использования в энергетике.

Металлурги построили и эксплуатируют десятки подобных установок, называя их печи: фьюмингования, печи Ванюкова, печи плавки в жидкой ванне, печи с боковым дутьём, Ромелт и тп.

Отработаны приёмы подачи угля, оборудование, режимы работы с целью получения металлов.

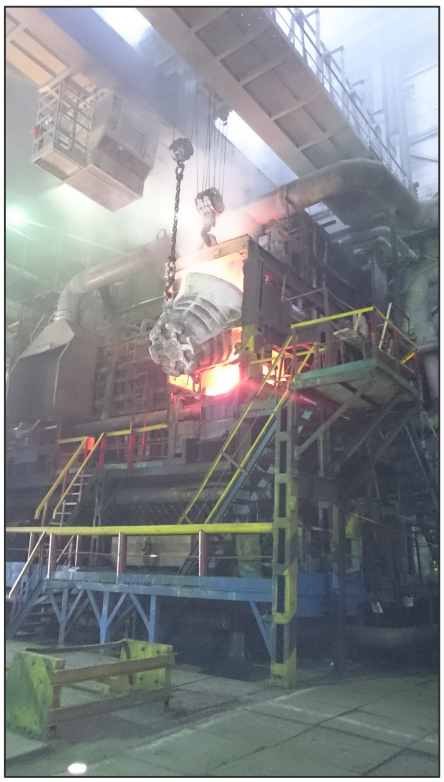

Рис. 1. Заливка шлака в печь ШВУ (шлако-возгоночная установка)

Отработаные металлургами процессы намного сложнее, чем просто окислительное сжигание угля в слое барботируемого шлака, которое нужно энергетикам.

В шлаковую ванну печи ШВУ, ограниченную трубными панелями испарительного охлаждения, заливают 50-60 тонн шлака с температурой 1100°C, полученного в шахтных металлургических плавильных печах. Шлак продувают снизу смесью угольной пыли и сжатого воздуха, поддерживая восстановительную среду, добиваясь восстановления окислов цинка и свинца до металлов, испарение металлов, выполняют дожигание горючих компонентов CO и SO2 над шлаком, охлаждают газы от 1300°C до 200°C в котле утилизаторе, очищают отходящие газы от окислов металлов в рукавных фильтрах, получая готовую продукцию – окислы

металлов, полученные из шлаков. Обеднённые шлаки сливают в водяной гранулятор, получая граншлак 0,2-2 мм.

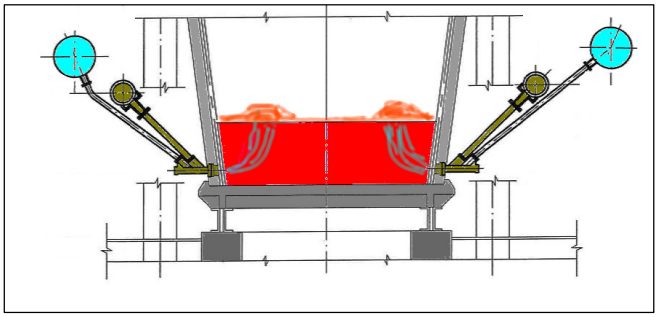

Рис. 2. Поперечный разрез нижнего пояса кессонов печи ШВУ. Подача угля и воздуха под шлак.

Тепловые показатели печи ШВУ и котла утилизатора:
- тепло вносимое горячим шлаком составляет 15%
- в установке под шлаком сжигают 7-10 тонн угля в час;
- тепловые потоки от шлака к трубным поверхностям системы испарительного охлаждения 100-120.000 ккал/м2 х час;
- от трубных панелей испарительного охлаждения весом 10 тонн получают 20 тонн пара в час с давлением 25 бар;
- от трубных поверхностей котла утилизатора весом 80 тонн, получаем 25 тонн пара в час с давлением 25 бар.

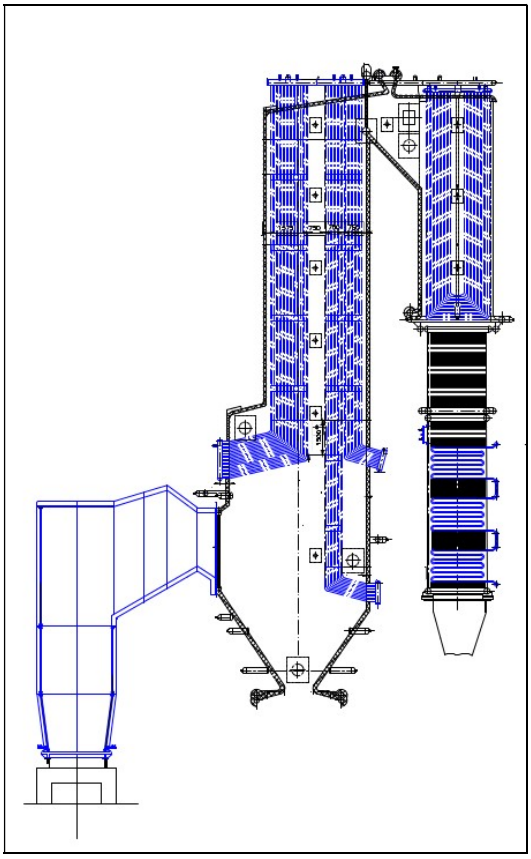

Рис 3. Поперечный разрез печи ШВУ и котла утилизатора

Устройство печи ШВУ, фурмы, установленные под шлаком, система подачи и распределения угольной пыли, зона дожигания - все эти блоки являются готовыми, отработанными практикой в металлургии элементами возможной топочной камеры энергетического котла. В тексте и на рисунках описывается действующая с 70-х годов Шлако - возгоночная установка Усть-Каменогорского металлургического комбината.
Мы выполняем в настоящее время проект технологической модернизации и этой установки. Была построена и длительно эксплуатировалась подобная установка на Чимкентском свинцовом комбинате, другие установки на металлургических комбинатах СССР и по всему миру.
Установки ШВУ не предполагают получение, накопление и слив жидкого металла, имеют систему испарительного охлаждения (получение товарного пара) шлаковой камеры, водоохлаждаемый под, прямой слив шлака, являются простыми по конструкции, по нашему мнению, наиболее подходят как прототип для использования в энергетике для нового строительства или модернизации существующих угольных и мазутных котлов, а при изменении ценовой топливной политики и газовых котлов.

3. Энергетический котёл с сжиганием (газификацией) дроблёного угля под шлаком

- идея не новая, энергетики СССР и России этим занимались, не доведя до промышленной реализации в связи с исчезновением финансирования в 90-е годы.

Нам известны три крупные программы проведения опытно-промышленных исследований:
- 80-е годы в рамках ГНТП Экологически чистая энергетика, на Харьковской ГРЭС-2, со стороны металлургов Гинцветмет и Гипроцветмет, реализации не было;
- 1985 год, опытно-промышленная установка Ромелт Новолипецкого металлургического комбината, команда МИСИС, институт Стальпроект, специалисты-энергетики провели обширную серию экспериментов для определения основных параметров восстановления оксидов железа в шлаке углеродом, установка в дальнейшем не работала;
- в середине 90-х годов проект опытно-промышленной установки для Экспериментальной ТЭС (бывшая Несветай ГРЭС, г. Красный Сулин, Ростовская обл. 50 МВт (170 тонн пара в час, в команде Ростовтеплоэлектропроект, Стальпроект, Таганрогский КЗ, НИИЭПЭ и НПО Алгон, реализации не было.

Энергетический котёл с сжиганием дроблённого угля в барботируемом шлаке по аналогии с печью ШВУ оснащённой котлом утилизатором может быть устроен и работает следующим образом.

Под радиационной камерой котла организована топочная камера с жидким шлакоудалением вниз или боковой циклонный предтопок, вырабатывающие жидкий шлак, который накапливается в нижней барботажной топочной камере, повторяющей в основных решениях конструкцию печи ШВУ.

Между топочной шлаковой камерой и основным котлом расположен компенсатор, например песочный затвор.
В барботажной топочной камере, над накапливаемым шлаком установлена наклонная горелка, которая поддерживает шлак в жидком состоянии, до накопления слоя шлака 0,4-0,5 м , после этого подключаются на полную мощность фурмы подающие под шлак смесь угольной пыли 0,2-1 мм и сжатого воздуха.

Необходимое колличество шлака накапливается в барботажной камере за несколько дней, в зависимости от зольности угля, например 3-4 дня при зольности 5%, 2 дня при зольности 10%, 1 день при зольности 20%. Затем котёл переводят полностью на работу с подачей угля в барботажную ванну под шлак или кускового угля сверху в шлак. Около 30% угля может подаваться в шлак сверху в кусковом виде без измельчения или помола.

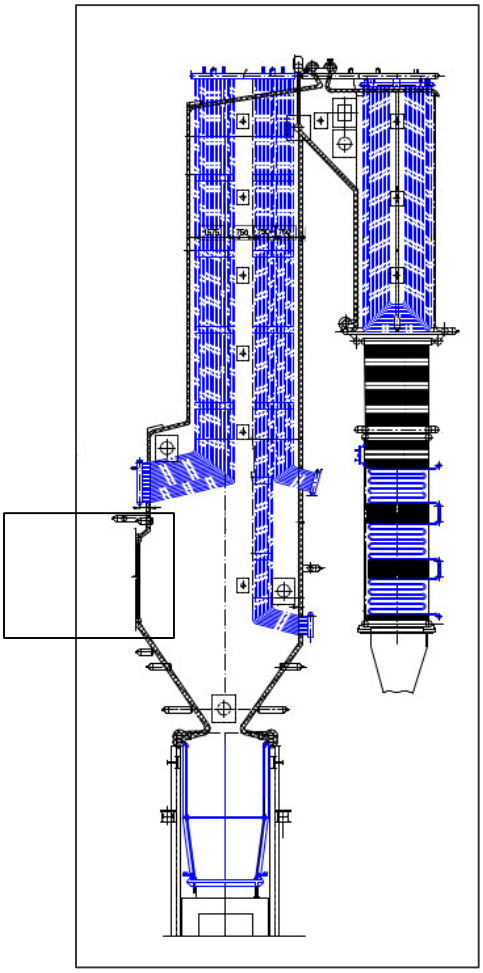

Рис. 4. Эскиз энергетического котла с топочной камерой для барботажа шлака

Возможны различные варианты накопления шлака в барботажной топочной камере, например расплавление в котле легкоплавкого шлака, использование при старте жидкого шлака взятого из других источников, работа котла при старте на высокозольных углях, для быстрого накопления нужного количества шлака, использование при расплавлении обогащения дутья кислородом и тп.

Диапазон регурирования производительности барботажной шлаковой топки 10%-100%.
Это известно из металлургической практики и это хороший показатель для топки энергетического котла.

Горючие газы над зоной барботажа дожигаются подачей по контуру сочленения с котлом проникающих струй воздуха, сужение способствует перемешиванию.

Работа барботажной топочной камеры в окислительном режиме, с ориентировкой на сжигание угля, характеризуется температурами газов 1400°С и более на входе в котёл. Это позволяет уйти от проблем с застыванием шлака, характерных для котлов с жидким шлакоудалением.

Предлагаемая система может работать на углях с высокими температурами плавления золы, отходах, углях любой зольности, на высокозольных шламах – продуктах углеобогащения.

Мы разрабатываем и поставляем оборудование для сушки углей в процессе углеобогащения или помола на ТЭС, поэтому не исключено, что первые котлы предлагаемой конструкции появятся именно в составе заводских котельных углеобогатительных фабрик, выполняя роль утилизации сбросных угольных шламов.

3.1. Устройство и работа барботажной камеры

Для использования в энергетике нужны первые два ряда кессонов, до уровня ниже несущей балки.
Высота этой части барботажной топочной камеры 3-4 м. Ширина около 2,5 м. Длина выбирается в зависимости от мощности котла - примерно 8 м на 50 тонн пара в час, при прямоугольной форме камеры.

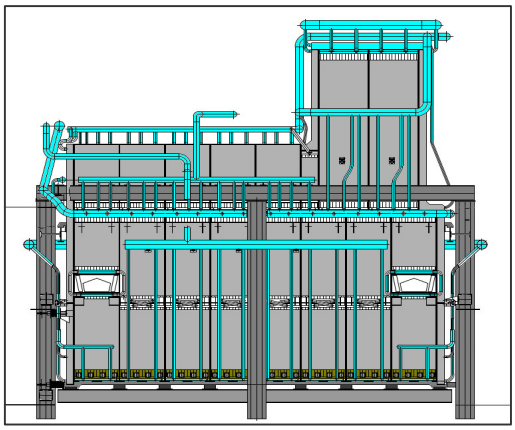

Рис. 5. Камера для барботажа шлака печи ШВУ

Возможна различная геометрия топочной камеры при сохранении расстояния 2,5 м между параллельными продольными стенками. Это обусловлено глубиной проникновения струй из фурм в шлак. Раздача угольной пыли и сжатого воздуха осуществляется из кольцевых коллекторов. Расстояние между фурмами 300 мм.

Рис. 6. Фурмы шлакового пояса кессонов для подачи угольной пыли под шлак. Коллекторы угольной пыли и сжатого воздуха, подающие трубы с компенсаторами

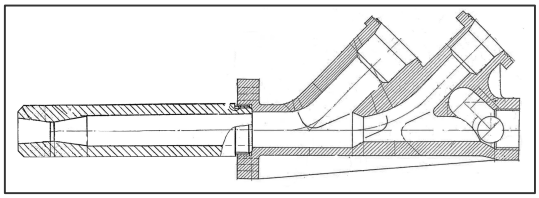

Рис. 7. Чертёж фурмы. Материал - чугун.

Возможны фурмы более сложной конструкции, позволяющие при работе на высокосернистых углях вдувать через них помолотый известняк и другие шихтовые компоненты.
Возможно вдувание через фурмы нескольких различных горючих пылей или подача сверху в шлак различных горючих продуктов, кусковых отходов и тп.

Выпуск шлака из печей ШВУ выполняется в металлургии порциями примерно через 2 часа, с сохранением постоянного нижнего уровня шлака выше фурм барботажа. Это позволяет поддерживать печь в горячем состоянии до заливки новой порции шлака, подаваемого на фьюмингование.

Рис 8. Сопла фурм внутри печи. Проход через кессоны системы испарительного охлаждения

Выпуск шлака в энергетических котлах возможен малыми порциями с незначительным изменением общего верхнего уровня. Выпускаемый шлак подаётся в водяную ванну, где охлаждается и гранулируется вследствие разбиения на мелкие капли образующимся паром. Гранулированный шлак удаляют из ванны, высушивают отстоем на открытой площадке. Конечная влажность шлака 6-12% в зависимости от погоды. Размер частиц гранулированного шлака 0,2-2 мм.

Гранулированный шлак содержит алит и белит – основные связующие компоненты клинкера, получаемого во вращающихся печах спекания цементных заводов. Гранулированный шлак от сжигания углей используется для получения шлако-цементов. Это простая и высокорентабельная технология заключается в сушке, помоле граншлаков и смешении продуктов помола с готовым цементом в соотношении примерно 50 : 50.
Таким образом из одной тонны готового цемента с использованием отхода ТЭС получают две тонны шлако-цемента близкого качества и с близкой рыночной ценой. Мы готовы предложить комплектные установки получения шлако-цементов отдельно или в составе ТЭС, что повышает рентабельность тепловой станции, исключает отходы.

3.2. Экологические показатели

Механический недожёг. При сжигании пылеугля, особенно низкореакционного имеется значительный механический недожёг. Содержание углерода в золе достигает 20%. При сжигании угля в барботируемом слое шлака механический недожёг может быть полностью исключен для любого угля.

Отходящие газы с температурой до 1400°С и более в районе перехода к котлу, высокие теплонапряжения в топочной камере, грубый помол угля, захват шлаком золы от сжигания угля (это работает как мокрая барботажная газоочистка) ведут к снижению колличества газов за котлом, снижению содержания в газах твердых частиц. В совокупности это снижает в 1,5-2 раза объём и стоимость системы газоочистки за котлом.

Угли с высоким содержанием серы.
При сжигании (газификации) угля в шлаковом расплаве существует реальная возможность исключить реагентную очистку газов от соединений серы, ограничиваясь только аппаратами газоочистки. Около 15% серы остаётся в шлаке, около 70% серы, удаляемой с газами из шлакового расплава, концентрируется в виде твёрдых соединений с восстановившимися в расплаве калием, натрием, и другими летучими металлами, около 30% представлены газообразными соединениями серы, в основном SO2. Выбросы серы для этой технологии в 3-4 раза меньше, чем при традиционной.

Окислы азота. Особенности газификации угля в шлаке:
- при избытке воздуха 0,5 количество оксидов азота из топлива уменьшается с обычных 15-20% до 0,5%. В основных режимах содержание NOx 20-40 мг/м3, что на порядок ниже содержания окислов азота за угольными котлами с пылеугольными горелками. Общее снижение выбросов окислов азота в 10 раз, с учётом уменьшения объёмов отходящих газов в 1,5-2 раза.

Содержание твердых частиц в газах.
Над поверхностью барботируемого расплава имеется сепарационная зона из крупных брызг и капель расплава высотой 0,7- 1 м. В этой зоне выносимые мелкие капли и твёрдые частицы частично осаждаются и возвращаются в расплав. Возгоны, капли шлака и твёрдые частицы по мере движения потока газов коагулируют и налипают друг на друга.
В металлургии поступающая в газоочистку пыль представляет собой сложный конгломерат, содержание твердого в газах 5-7 г/м3 . Часть этих твёрдых выбросов вызвана загрузкой шихтовых компонентов, подаваемых на плавку и восстановление. В энергетическом котле с барботажем шлака содержание твёрдого в отходящих газах ожидается на уровне 1-2 г/м3, доля золы, поступающей в газоочистку 1%-2% от минеральной составляющей угля.
Вынос пыли из энергетических топок использующих пыле-уголь на порядок выше.

3.3. Сжигание отходов.

Барботажная шлаковая печь является в металлургии универсальной, «всеядной». Это свойство передаётся «по наследству» топочной камере сжигания углей в барботируемом слое шлака в составе энергетического котла и может применяться при сжигании и обезвреживании отходов.
При сжигании бытовых отходов на колосниковой решётке невозможно разложить наиболее опасные компоненты - диоксины и фураны, по причине невозможности увеличить темпераутру сжигания выше 900-100°С. Диоксины и фураны содержатся в золе, количество которой составляет 20-40% от сжигаемых

отходов. Нужно повышение температыры сжигания выше 1200 град. Шлаковый расплав является хорошим решением для этой цели. Температура шлаковой ванны 1250-1350 град.
Могут сжигаться несортированные отходы с влажностью 50% при незначительной добавке угля, около 50-70 кг/тонну отходов.
Редкие и рассеянные металлы в составе углей:
- легкоплавкие, такие как цинк, свинец, серебро, германий, кадмий, калий, натрий возгоняются из шлака и концентрируются в тонких пылях системы газоочистки;
- тугоплавкие, железо, никель, медь, платина остаются в шлаке.

4. Что даёт сжигание угля в барботируемом слое шлака для энергетики?

1. Надёжная работа с жидким шлакоудалением на любом угле.
   Эффективнее чем циклонные топки с жидким шлакоудалением. Работа с любым углем без изменения конструкции. Угли с золой любой тугоплавкости.
   Угли любой влажности. Угли любой зольности.
2. Работа на углях с высоким содержанием серы. Снижение выбросов серы в 3-4 раза без дополнительных расходов.
3. Расширение диапазона регулирования котла. Ориентируясь на металлургию реально работать в диапазоне нагрузок 10%-120% и более. Без дополнительных затрат, что предпочтительнее для низкосорных углей, чем ЦКС.
4. Система газоочистки меньше чем на других котлах по причине работы с низкими избытками воздуха, зола на 98% остаётся в шлаке.
5. Работа на дроблёном угле и частично на кусковом угле. Пониженные затраты на помол. Простая система раздачи угля. Простые горелки – по сути фурмы – сопла.
6. Камера барботажа шлака имеет собственную систему испарительного охлаждения интегрированную в паровую систему котла. Сокращение площади теплообменных поверхностей (цены котла) по сравнению с котлами равной паропроизводительности.
7. Возможна установка к существующим котлам с жидким шлакоудалением с целью расширения сортности используемых углей. Возможна установка при переводе мазутных котлов на уголь, газовых котлов на уголь.
8. Барботажная шлаковая камера всеядна. Ориентируясь на металлургию - реально работать с зольностью 80%. Это позволяет перерабатывать отходы, например высокозольные отходы углеобогащения с зольностью 60-80%. Иные горючие отходы. В том числе жидкие. Бытовые отходы.
9. Высокие температуры в топочной камере, реально до 1400-1600°С, позволяют вести разложение вредных органических отходов.
10. Является основой для интеграции энергетики и промышленных предприятий при использовании горючих отходов, как топлива, а граншлака котлов как сырья для производства строительных материалов.

Предлагаем использовать топочную камеру для сжигания угля в барботируемом слое шлака при строительстве новых угольных котлов, при переводе мазутных котлов на угольное топливо, сжигании высокозольных шламов углеобогащения, сжигания отходов.

Реализация в энергетике сжигания угля в барбртируемом шлаке не требует опытно-промышленных установок. Просто внимательное проектирование с комбинацией известных решений отработанных в металлургии и энергетике.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технология сжигания угля в барботируемом слое шлака (ТБШ) освоенная в металлургии, может стать основой для современных угольных энергетических котлов с пониженным объёмом газовых выбросов и снижением до нуля твёрдых отходов.

Показаны технологические, экономические и экологические преимущества ТБШ по сравнению с традиционными технологиями сжигания углей, таких как сжигание пылеугля в факеле, сжигание с жидким шлакоудалением, ЦКС.

Технология барботирования шлака универсально применима для сжигания любых углей, в том числе низкокачественных, высокозольных, высокосерных, а также горючих промышленных и бытовых отходов.

Области высокоэффективного использования ТБШ:
- в энергетике, при строительстве новых угольных ТЭС, модернизации котлов с жидким шлакоудалением, переводе мазутных котлов на уголь;
- в промышленности, например на фабриках обогащения угля, для сжигания высокозольных угольных шламов, при переработке/сжигании отходов нефтехимии;
- в коммунальном хозяйстве городов для сжигания бытовых отходов, снижении затрат в коммунальной энергетике путём перевода котельных с мазута на уголь.

Реализация технологии сжигания угля или отходов в барбртируемом шлаке не требует НИР и опытно-промышленных установок.

При проектировании и выборе оборудования ТБШ возможно использование технических решений, узлов, рабочих чертежей, технологических приёмов старта/ остановки/ управления отработанных многолетней практикой в металлургии и энергетике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баласанов А.В., Лехерзак В.Е. «Газификация угля в шлаковом расплаве», Институт Стальролект, 2008 – 288 с.