

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра теплотехники и гидрогазодинамики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ В.А. Кулагин

подпись инициалы, фамилия

«_____» _____ 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.01. Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Применение непроектного топлива на угольных ТЭЦ

тема

Руководитель _____ доцент, канд. техн. наук Стебелева О.П.

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Выпускник _____

подпись, дата

Землянский Н.А.

инициалы, фамилия

Красноярск 2022

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Применение непроектного топлива на угольных ТЭЦ» содержит 64 страниц текстового документа, 12 иллюстраций, 19 таблиц, 22 использованных источников.

УГОЛЬ, ТОПЛИВНЫЕ СМЕСИ, НЕПРОЕКТНОЕ ТОПЛИВО, КОТЕЛ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ, ШЛАКОВАНИЕ.

Объект исследования – топливная смесь из бурых углей Канско-Ачинского бассейна.

Цель исследования: оценка возможности перехода к сжиганию непроектного топлива на угольной ТЭЦ.

Для достижения этой цели решены следующие задачи:

- проведен расчёт склонности угольной смеси к шлакованию топочных экранов котлов;

- предложено решение проблемы смешения различных топлив;

- разработано решение по организации стабильной работы ТЭЦ на непроектном топливе.

- проведена технико-экономическая оценка перевода котла БКЗ-160-1,4-5 на непроектное топливо.

В результате исследования была определена склонность угольной смеси к шлакованию поверхностей нагрева, предложены технические решения по смесеобразованию и складированию топлив, определены соотношения компонентов топливной смеси для стабильной работы котельных агрегатов, был разработан ряд рекомендаций и предложений по сжиганию непроектного топлива для осуществления стабильности работы ТЭЦ. Проведено технико-экономическое обоснование перевода котла БКЗ-160-1,4-5 на непроектные топлива.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 Материалы и методы | 11 |
| 1.1 Характеристики топлив | 11 |
| 1.2 Методика определения склонности топлив к шлакованию..... | 12 |
| 1.3 Метод термогравиметрического анализа | 14 |
| 1.4 Описание котельных агрегатов..... | 17 |
| 1.5 Методика расчёта расхода топлива котельного агрегата. | 22 |
| 2 Экспериментальная и расчетная часть..... | 23 |
| 2.1 Определение оптимальных соотношений углей для сжигания в котельных агрегатах..... | 23 |
| 2.2 Предварительная оценка склонности к шлакованию топлив..... | 24 |
| 2.2.1 Оценка склонности к шлакованию бородинского угля | 24 |
| 2.2.2 Оценка склонности к шлакованию балахтинского угля | 26 |
| 2.2.3 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 50% бородинского и 50% балахтинского угля..... | 28 |
| 2.2.4 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 60% бородинского и 40% балахтинского угля..... | 31 |
| 2.2.5 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 70% бородинского и 30% балахтинского угля..... | 34 |
| 2.2.6 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 80% бородинского и 20% балахтинского угля..... | 37 |
| 2.2.7 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 90% бородинского и 10% балахтинского угля..... | 40 |

| | |
|---|----|
| 2.3 Характеристики горения топливных смесей в неизотермических условиях | 46 |
| 2.4 Расчёт расхода топлива котельного агрегата при горении топливных смесей | 51 |
| 3 Технические решения при переходе на сжигание непроектных топлив..... | 53 |
| 3.1 Разработка решений по уменьшению шлакования | 53 |
| 3.2 Хранение топлив | 54 |
| 3.3 Способы организации смешения..... | 56 |
| 4 Технико-экономическое обоснование перехода на непроектные топлива | 57 |
| 4.1 Краткая характеристика методики обоснования перехода непроектного топлива | 57 |
| 4.2 Результаты методики обоснования по переводу ТЭЦ на сжигание другого угля..... | 58 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 60 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 62 |

ВВЕДЕНИЕ

Согласно указу президента Российской Федерации “О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации” от 1 декабря 2016 года, в ближайшие 10-15 лет приоритетами научно-технологического развития следует считать те направления, которые позволят достичь результатов в научно-технической области и создать технологии, обеспечивающие в частности переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике [1].

Ближайшие десятилетия развитие энергетики нашей страны будет также связано с использованием природного топлива: газа и угля. На территории Сибирского природного региона будут разрабатываться угольные месторождения, и большая часть теплоэлектростанций будет работать на твёрдом топливе [2], поэтому для достижения экологичности и ресурсосбережения необходимо использовать более энергоёмкие сорта углей, содержащие в себе меньше золы и веществ, образующих вредные выбросы.

При переходе на другие виды углей, важно знать, что на этапе проектирования ТЭС выбирается уголь определённых месторождений (чаще близлежащих), его называют проектным. Всё оборудование и установки станции выбраны согласно показателям этого топлива, поэтому использование углей других сортов и месторождений может создать сложности при работе станции из-за различия состава.

Использование смесей из близких по характеристикам углей широко используется в мировой практике, в основном, для поддержания качества товарного топлива. В европейских странах сжигают смеси из различающихся по параметрам и свойствам углей, добытых на разных континентах. Смесей готовят на угольных складах портов и на самих станциях. Качество определяется целью применения и степенью отличия друг от друга характеристик используемых углей.

Традиционно на большинство отечественных ТЭС уголь поставляется от нескольких поставщиков и отправляется на сжигание попеременно или в виде

неконтролируемой смеси. Подготовка однородной смеси практикуется редко из-за отсутствия современного оборудования для усреднения на угольных складах или оперативного контроля качества поступающего угля. Но качественное усреднение возможно с использованием имеющегося оборудования при наличии системы оперативного входного контроля и закладки штабеля, или отдельного складирования углей разных поставщиков [3].

Применение смесей позволяет промышленности повысить унификацию оборудования и стабильность обеспечения топливом, а на ТЭЦ добиться преимуществ как в техническом, так и экологическом и экономическом планах:

- увеличение количества применимых углей и уменьшение зависимости от конкретного поставщика;

- решения проблем выбросов вредных веществ за счёт использования угля с низким содержанием серы, меньшей зольностью без значительных вложений;

- добавление дешёвого угля или имеющего большую теплоту сгорания при сравнимой стоимости для снижения затрат;

- улучшения работы оборудования за счёт использования более качественного топлива, если на низкосортном топливе она была не оптимальна.

Реализованные на практике преимущества сжигания смесей весьма значительны, и ожидается расширение их применения.

При этом применение не сжигаемых ранее смесей на ТЭС может ухудшить условия шлакования, хранения, размола и выгорания. Как известно, состав углей различается между месторождениями, внутри одного бассейна в разных местах добычи, так и в одном месте добычи в течении его выработки. Изменяется элементный состав, содержание влаги, зольности, теплота сгорания, а также содержание минеральной части. При повышении влаги, требуется больший расход сушильного агента, при повышении зольности – повышается расход и мощность дымососов, нагрузка на золоуловитель, возможен занос конвективной части, а в случае различия теплоты сгорания изменяется показатели котельного агрегата. А минеральная часть влияет на абразивные и шлакующие свойства топлив.

Существенное изменение свойств угля или характеристик требуемого дополнительного оборудования приводит к реконструкции котельного цеха, а, следовательно, к повышению капитальных вложений для перехода на сжигание непроектного угля, поэтому целесообразнее выбирать для перехода топлива, наиболее схожие с проектным или добавлять их в определённой пропорции для схожести параметров.

Более существенного сокращения выбросов парниковых газов, оксидов азота и оксидов серы можно добиться при сжигании на ТЭЦ биомассы, это может быть сама древесина так и кородревесные отходы.

Кроме угля Красноярский край богат древесиной, которая поступает для получения различной продукции на более 300 деревообрабатывающих предприятий, например, ООО «Енисейский ЦБК», АО «Красноярский ДОК», ОАО «Лесосибирский ЛДК № 1», ООО «Енисейский фанерный комбинат», после которых остаётся большое количество древесных отходов, которые являются биотопливом и для утилизации могут быть включены в топливно-энергетический комплекс.

Но переход на полное сжигание биотоплива на ТЭС затрудняется: большими капиталовложениями, связанными с тем, что большинство теплоэнергетического оборудования предназначено для работы на твёрдом ископаемом топливе, сложностью стабильного обеспечения биотопливом ТЭС, близким расположением огромных угольных запасов.

Наиболее удобным решением этих трудностей является совместное сжигание угля с биомассой. В настоящее время используются следующие технологии сжигания биомассы с углём:

- совместное сжигание угля и биомассы в топке котла;
- совместное сжигание угля и генераторного газа, полученного при газификации биомассы;
- сжигание угля и отдельно биомассы в котлах, стоящих в непосредственной близости.

При совместном сжигании смесеобразование осуществляется на топливном складе, дальше топливная смесь транспортируется конвейером в дробилки, а затем в топливные бункера и мельничные устройства. Для получения генераторного газа биомасса загружается в газогенератор. В третьем случае для сжигания угля и биотоплива используются разные топливные конвейеры и котлы.

В первом случае основные трудности связаны в топливоподготовке древесного биотоплива и в процессе его горения совместно с углём. Из-за высокой влажности и сложности тонкого измельчения древесина может не успеть сгореть в топочной камере. Это подтвердили в своём исследовании авторы из Иркутского национального исследовательского института на котле БКЗ-320-140 ПТ-5 Иркутской ТЭЦ-6, проектным топливом которого является бородинский уголь. Во время испытаний они сжигали смесь из кородревесных отходов (КДО) в виде плоской щепы 30-120 мм, шириной 5-20 мм и толщиной 2-10 мм и ирбейского угля. КДО имело следующие рабочие характеристики: $W^r = 25-40\%$, $A^d = 0,25-1,3\%$, $V^{daf} = 87\%$, $Q_i^r = 2600-3300$ ккал/кг, $S^d = 0,047\%$. Ирбейский уголь имел следующие рабочие характеристики: $W^r = 27-29\%$, $A^d = 7,5\%$, $V^{daf} = 46,5\%$, $Q_i^r \approx 4000-4150$ ккал/кг, $S^d = 0,25\%$.

Котёл оснащён четырьмя молотковыми мельницами с отдельным бункером пыли. Подача КДО осуществлялась через сбросную горелку, или муфельную горелку, или одновременно через сбросную и муфельную. Было выявлено более позднее воспламенение топлива из-за крупности размеров КДО (4).

Поэтому необходимо проводить топливоподготовку биомассы с целью снижения влажности и количества летучих элементов. Воздействовать можно как механически, так и за счёт высоких температур. Возможно производить пеллеты, топливные брикеты и подобные продукты за счёт механического воздействия. Под высокотемпературным воздействием понимается торрефикация (200-300 °C), пиролиз (400-600 °C) и газификация (свыше 600 °C)

Отходы от деревообрабатывающей промышленности - обычное сырьё для производства пеллет. Такое биотопливо имеет высокую плотность с содержанием влаги менее 10% и теплотой сгорания 3800-4700 ккал/кг. Гранулы имеют почти одинаковый размер, что дает преимущество в компактном хранении и автоматизации подачи к топке котла. За 2016 год на мировом рынке продано 16,5 млн. тонн пеллет. В основном потребляемыми пеллеты являются Европейские страны такие как Великобритания, Нидерланды, Дания, Бельгия и Германия. Для производства биоэнергии используют древесные гранулы в таких странах как Китай, Япония, Германия, Великобритания и Нидерланды. В Индии существуют успешные разработки по получению электроэнергии из биомассы. В качестве биомассы применяются опилки, солома, лузга и т.п. [5]. В Китае 80% производства тепловой и электроэнергии производится путем сжигания угля. Для снижения вредных выбросов таких как CO_2 , NO_x , SO_x и других применяют способ частичного добавления углеродно-нейтрального топлива такого как кукурузная солома [6].

В России опыт применения лузги в качестве добавочного топлива был исследован при сжигании в котле ТП-14А Кумертауской ТЭЦ АО «СЭГК» г. Кумертау Республики Башкортостан. Котел ТП-14А оборудован системой «НТВ-технология» для сжигания топлива в низкотемпературном вихре, проектное топливо является бурый уголь Тюльганского месторождения с калорийностью 1500-1700 ккал/кг, выход летучих 65,2%. Низкие топливные характеристики этого угля подтолкнули к проведению испытаний по сжиганию непроектного топлива в виде лузги подсолнечника. Лузга подсолнечника имеет низшую теплоту сгорания, равную 4000-4200 ккал/кг, выход летучих составил 69,5%. Испытания проводили на двух котлах с добавлением 15%, 23%, 32% и 39% лузги к углю. По результатам испытаний было отмечено, что применение лузги с подсветкой природным газом является перспективным направлением для повышения эффективности работы ТЭС. Необходимо проводить модернизацию системы топливоподачи для сжигания биотоплива [7].

В настоящее время не разработаны технологии, позволяющие обеспечить рациональное хранение биомассы на топливном складе и её доставку непосредственно со склада до котельного цеха. Нет описанных способов равномерного измельчения древесины до размеров, обеспечивающих стабильный режим горения и способов однородного смешения с углём.

Обобщив вышесказанное, можно отметить, что для перехода к ресурсосберегающей и экологически безопасной энергетике возможно использовать топливные смеси на основе углей так как возле крупных городов Красноярского края расположены большие угольные месторождения. Для осуществления перехода теплоэлектростанций на непроектные топлива необходимо провести расчётно-аналитические оценки показателей и свойств топлив:

- теплотехнических показателей;
- характеристик топлива и золы, влияющих на выбросы вредных веществ, золоулавливание и золошлакоудаление;
- шлакующих и загрязняющих свойства;
- абразивных свойств;
- склонности к самовозгоранию;
- сыпучести;
- смерзаемости.

1 Материалы и методы

1.1 Характеристики топлив

В ближайшие десятилетия производство тепло и электроэнергии в восточной части страны будет осуществляться за счёт твёрдого топлива, значительный объём которого будет также добываться с Канско-Ачинского угольного бассейна. Для исследования перехода ТЭЦ на непроектные виды топлива возьмём угли, распространённые в Красноярском крае. В его пределах основная часть ТЭС проектировалась на использование добываемого в больших объёмах бородинского угля марки Б2, для доставки которого используются линии железных дорог, проложенные в разных районах края и позволяющие осуществлять доставку топлива в больших объёмах.

Бородинский уголь добывается в г. Бородино Красноярского края в угольном разрезе АО «СУЭК-Красноярск» «Разрез Бородинский имени М.И. Щадова». Его характеристики согласно сертификата качества представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики бородинского угля

| Уголь | Технический и элементный состав | | | | | | | | |
|-------|---------------------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| | W^r , % | A^d , % | C^{daf} , % | H^{daf} , % | S^d , % | N^{daf} , % | O^{daf} , % | V^{daf} , % | Q_i^r , ккал /кг |
| Б2 | 32,6 | 7,3 | 73,2 | 5,1 | 0,3 | 1,0 | 20,7 | 48,0 | 3900 |

Для замещения выберем другой бурый уголь с большей теплотой сгорания этого же бассейна, чтобы снизить разницу свойств, и тем самым, упростить переход. Таким является Балахтинский уголь Б3. Он имеет уникальные характеристики:

- низкая влажность;
- низкая зольность;
- высокая теплота сгорания для бурого угля.

Его используют в основном на промышленно-отопительных котельных, так как доставка осуществляется только автотранспортом. Его характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики балахтинского угля

| Уголь | Технический и элементный состав | | | | | | | | |
|--------------|---------------------------------|--------------|------------------|------------------|--------------|------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| | W^r , % | A^d , % | C^{daf} , % | H^{daf} , % | S^d , % | N^{daf} , % | O^{daf} , % | V^{daf} , % | Q_i^r , ккал /кг |
| Балахтинский | 20,8 | 6,2 | 74,1 | 5,0 | 0,34 | 0,86 | 19,69 | 44,6 | 4890 |

1.2 Методика определения склонности топлив к шлакованию

Для определения склонности топлив к шлакованию воспользуемся широко применяемой методикой УралВТИ, поскольку им накоплен большой объём информации по шлакующим свойствам отечественных и зарубежных топлив (3,8-10).

Расчёт отношения количества кислых оксидов к основным для угля:

$$kO = \frac{SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2}{CaO + MgO + K_2O + Na_2O} \quad (1)$$

Содержание пиритной серы, %:

$$S_p^{daf} = 0,581 \cdot S_t^{daf} - 0,03 \quad (2)$$

Склонность углей к образованию железистых отложений:

$$P_{Fe} = 0,856 - \frac{0,567}{0,9 \cdot S_p^{daf} \cdot \frac{100 - A^d}{A^d} + 0,0813 \cdot Fe_2O_3} - 0,3 \quad (3)$$

Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей:

$$P_{Na} = 0,416 \cdot (0,949 \cdot Na_2O - 0,013 \cdot K_2O - 0,05)^{0,313} \quad (4)$$

Содержание активного кальция:

$$CaO^a = CaO \cdot (1 - 0,0025 \cdot A^d) - 0,05 \quad (5)$$

Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений:

$$P_{Ca} = 0,5 \cdot (CaO^a)^{0,22} - P_{Na} \quad (6)$$

Показатель, характеризующий состав минеральной части:

$$P_{xc} = 1 - 0,025 \cdot ko \quad (7)$$

Комплексный показатель склонности углей к шлакованию топочных экранов:

$$R_{st} = 0,707 \cdot ((P_{Fe})^2 + (P_{xc})^2)^{0,5} \quad (8)$$

Температура начала шлакования:

$$t_{шл} = 945 + 8,22 \cdot ko \quad (9)$$

Определение характеристики бинарной угольной смеси:

$$X_{cp} = \frac{C_1}{100} \cdot X_1 + \frac{C_2}{100} \cdot X_2 \quad (10)$$

где C_1 – процент содержания первого угля в смеси по массе;

C_2 – процент содержания второго угля в смеси по массе;

X_1 – значение характеристики первого угля;

X_2 – значение характеристики второго угля.

В таблице 3 отражено ранжирование показателей шлакующих и загрязняющих свойств углей по методике УралВТИ.

Таблица 3 - Показатели шлакующих и загрязняющих свойств углей и их ранжирование по УралВТИ

| Показатель | Низкая | Средняя | Высокая | Очень высокая |
|---|--------|-----------|-----------|---------------|
| Склонность углей к образованию железистых отложений, P_{Fe} | <0,25 | 0,25-0,50 | 0,50-0,72 | >0,72 |
| Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей, P_{Na}^a | <0,40 | 0,40-0,45 | 0,50-0,70 | >0,70 |
| Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений, P_{Ca} | <0,42 | 0,42-0,60 | >0,60 | - |
| Склонность к шлакованию топки, R_{st} | <0,42 | 0,42-0,62 | 0,62-0,75 | >0,75 |
| Температура начала шлакования, $t_{шл}$ | >1100 | 1020-1100 | 980-1020 | <980 |

1.3 Метод термогравиметрического анализа

Горение представляет собою сложный физико-химический процесс, состоящий в основном из четырех этапов. В первом этапе происходит нагрев и удаление влаги, второй этап представляет собою воспламенение и горение летучих на поверхности частицы, которое в свою очередь нагревает углеродный остаток за счет теплообмена. В третьем этапе происходит воспламенение и горение коксового остатка. В четвертом этапе происходит догорание наиболее плотного углеродистого остатка либо разложение минеральных веществ, содержащихся в буром угле, таких как доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ (Рис.1b).

Термогравиметрический анализ (ТГ) — метод термического анализа, в ходе которого определяется изменение массы образца в зависимости от температуры. [11]

Этот метод состоит в регистрации массы исследуемой навески вещества при изменении её температуры. Результатом являются ТГ-кривые — кривые зависимости массы образца от температуры или времени. Для понимания результатов ТГ-анализа необходимо обработать ТГ-кривые. Производная от ТГ-

сигнала (скорость изменения массы), называется кривой ДТГ и позволяет установить момент времени или температуру, при которой изменение веса происходит с максимальной скоростью.

В ходе дифференциального термического анализ (ДТА) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) одновременно записывается изменение массы образца и теплового потока, как функции от температуры (времени), возможно при разных атмосферах. Данный синхронный анализ не только ускоряет измерения, но и упрощает расшифровку результатов, за счёт определения эндо- и экзотермические процессы, не сопровождающихся изменением массы (например, фазовых переходов) от процессов, где происходит изменение массы.

Сам термоанализатор состоит из высокоточных весов с тиглями, расположенных внутри электропечи, а недалеко от тигля находится контрольная термопара, точно определяющая температуру. Печь может быть наполнена инертным газом для исключения окисления или других реакций. Снятие показаний и управление аппаратурой осуществляется компьютером. Для управления измеряющей аппаратурой и снятия показаний используется компьютер.

В ходе анализа температура повышается с постоянной скоростью, и записывается потеря массы от значения температуры. При ТГ-анализе высокая точность достигается из-за обратной связи температуры и веса образца. В ходе изменения массы замедляется нагрев, таким образом, повышается точность определения температуры.

Кроме этого современные термоанализаторы дают возможность установить к выходу газов из печи инфракрасный спектрофотометр для химического анализа состава выходящих газов.

По кривым ТГ и ДТГ определяются основные параметры горения такие как: максимальная температура (T_{max}) основного пика ДТГ при которой достигается максимальная скорость убыли массы ($ДТГ_{max}$), температура воспламенения ($T_{вспл}$) и выгорания ($T_{вг}$) коксового остатка. $T_{вспл}$ и $T_{вг}$

определяются известным методом [8, 16] основанным на пересечения кривых, визуализация которого представлена на рисунке 1.

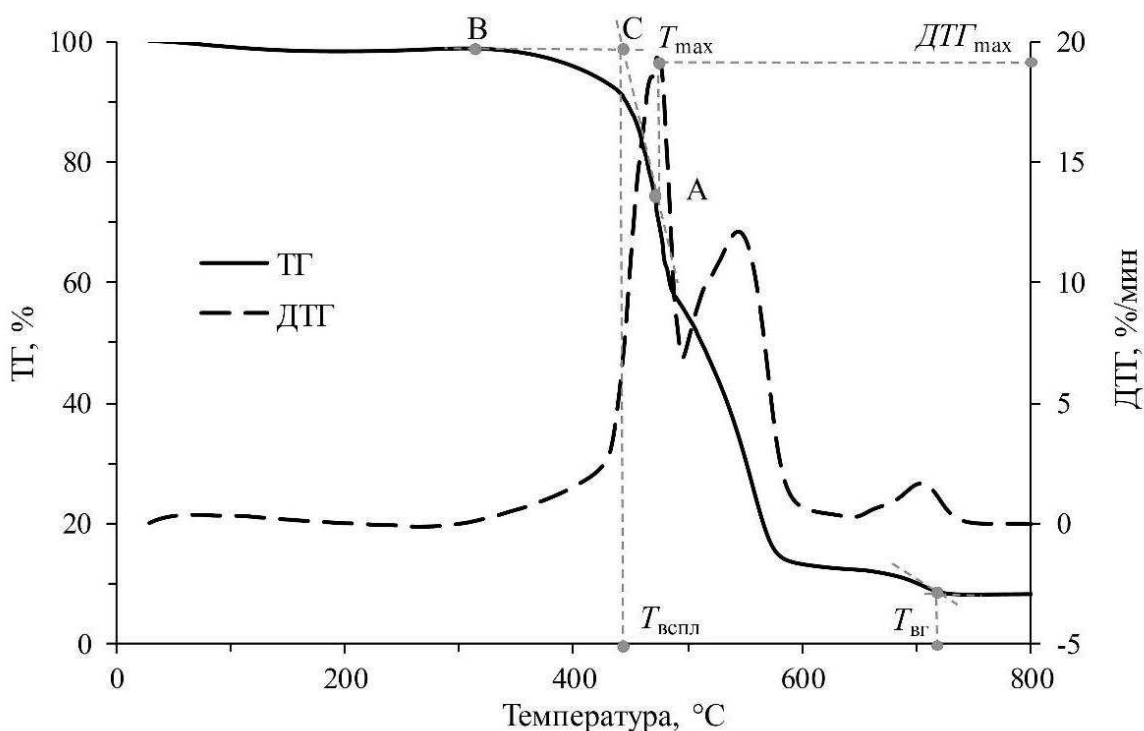


Рисунок 1 - Схема определения температуры воспламенения и выгорания коксового остатка

Данный метод заключается в следующем, из T_{max} опускается перпендикуляр до кривой ТГ до пересечения в точке А, из точки А проводится прямая по наклонной кривой ТГ вверх, до пересечения с прямой проходящей через точку В в верхней части кривой ТГ до пересечения этих прямых в точке С. Затем из точки С опускается перпендикуляр до температурной шкалы, определяя тем самым температуру, соответствующую $T_{вспл}$ (рис. 2). Температура выгорания коксового остатка определяется по такому же методу, только T_{max} принимается за значение последнего пика ДТГ. Принято, что T_{max} обратно пропорциональна реакционной способности топлива.

По полученным данным с помощью термогравиметрического анализа определялся индекс горения (S) [12–15]. Индекс горения (S) применяется для сравнения горючести разных образцов топлив и включает в себя воспламенение, горение и выгорание углеродного остатка. Высокое значение индекса горения характерно топливам с высокими параметрами горения углеродного остатка. Его расчет производился по формуле:

$$S = (R_{max} \cdot R_{mean}) / (T_i^2 \cdot T_b^2) \quad (11)$$

где R_{max} – максимальная скорость потери массы;

R_{mean} – средняя скорость потери массы (от зажигания до выгорания углеродного остатка);

T_i – температура зажигания;

T_b – температура выгорания, определялись методом экстраполяции кривых [16–19].

1.4 Описание котельных агрегатов

За основу сравнительного анализа и расчётно-аналитической оценки, анализа работы оборудования ТЭЦ при сжигании альтернативного топлива возьмём котельный агрегат БКЗ-160-1,4-5.

Основное топливо – бородинский бурый уголь марки 2Б, резервное – березовский бурый уголь марки 2Б. Котел БКЗ-160-1,4-5 оборудован четырьмя пылесистемами прямого вдувания с мельницами-вентиляторами типа МВ 1600/400/980 с газовой сушкой топлива. Восемь пылеугольных горелок установлены в углах топки в два яруса по тангенциальной схеме.

На скатах холодной воронки расположены семь сопел нижнего дутья по встречно-смещенной схеме, предназначенных для снижения концентрации оксидов азота в продуктах сгорания, предотвращения шлакования и уменьшения потери тепла от механической неполноты сгорания. Комплекс очистки

поверхностей нагрева от золошлаковых отложений включает аппараты водяной обдувки топки, паровую обдувку пароперегревателя и дробевую очистку конвективной шахты. Общий вид котла представлен на рисунке 2.

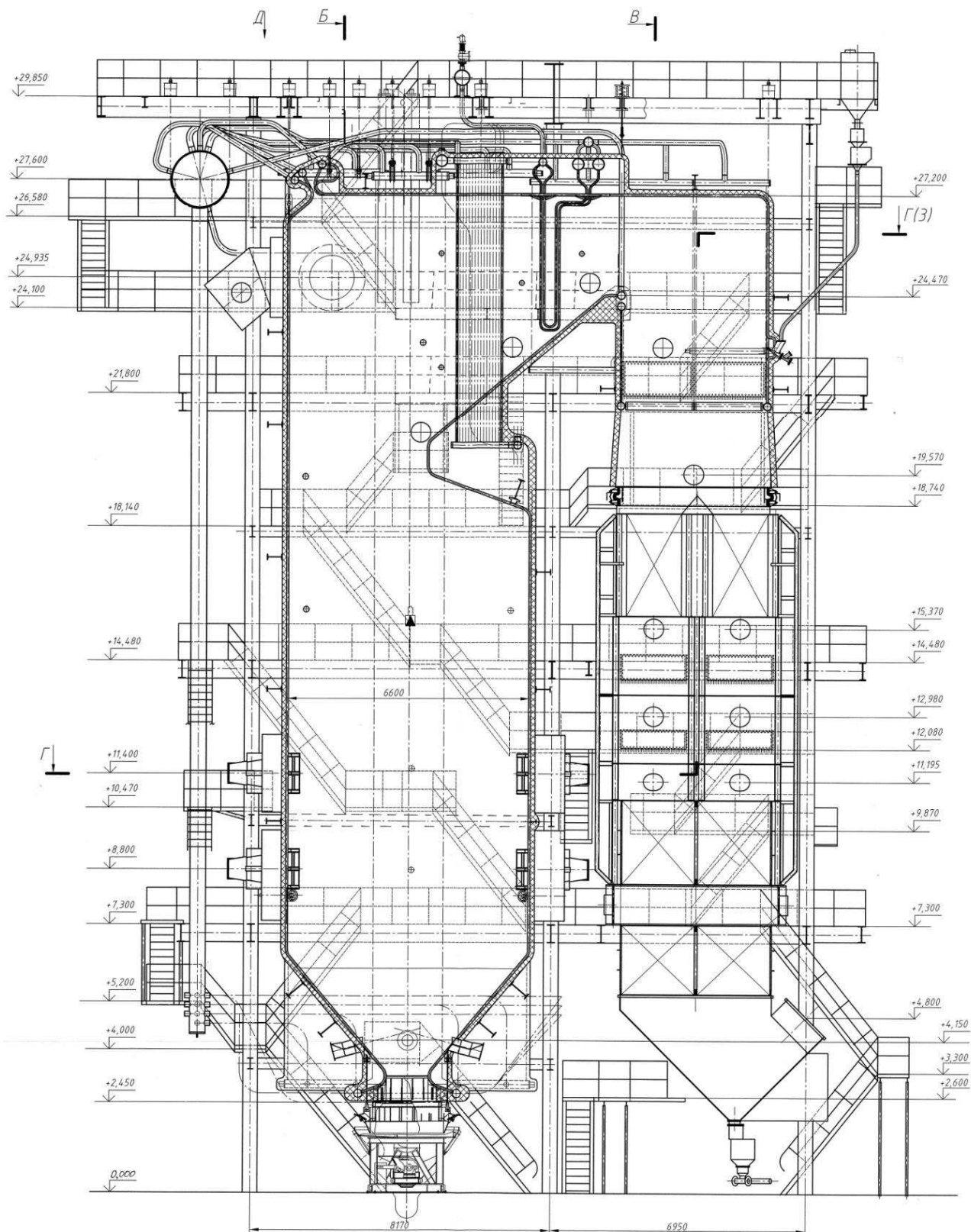


Рисунок 2 – Общий вид котла БКЗ-160-1,4-5

Для санитарной очистки дымовых газов от золы используется электрофильтр типа ЭГВ2-30-9-6-3.

Конструктивное исполнение котельной установки и организация топочного процесса котла БКЗ-160-1,4-5 предназначены для сжигания шлакующих бурых углей.

Технические характеристики котла приведены в таблице 4

Таблица 4 – Технические характеристики котла БКЗ-160-1,4-5

| № | Техническая характеристика | Размерность | Величина |
|---|--|---------------------------|---------------|
| | Котёл | | БКЗ-160-1,4-5 |
| 1 | Паропроизводительность (теплопроизводительность номинальная) | т/ч (Гкал/ч) | 160 (95,2) |
| 2 | Температура перегретого пара | °С | 250 |
| 3 | Давление перегретого пара | кгс/см ² (МПа) | 14 (1,372) |
| 4 | Температура питательной воды | °С | 104 |
| 5 | Давление питательной воды | кгс/см ² (МПа) | 23,5 (2,303) |
| 6 | Температура уходящих газов | °С | 155 |
| 7 | КПД брутто | % | 91,9 |

Топка котла открытого типа, призматической формы имеет в плане по осям труб размеры 7040х6600 мм.

Фронтальной и задней экраны в нижней части образуют скаты холодной воронки с углом наклона к горизонтали 50°. В верхней части топки трубы заднего экрана образуют аэродинамический выступ, который предназначен для улучшения аэродинамики газового потока на выходе из топки и частичного затенения поверхности испарительных ширм. Боковые экраны имеют плоскую конструкцию.

Все экраны топки состоят каждый из трех испарительных панелей и выполнены из труб 60х4, сталь 20, с вваркой полосы 5х40, сталь 20, между ними, шаг труб в панелях топочных экранов – 100 мм. Потолок топки, горизонтального и опускающего газоходов экранирован цельносварными панелями потолочного радиационного пароперегревателя, выполненными из труб 60х4, сталь 20, с вваркой полосы 5х40, сталь 20 между ними, шаг труб в панелях – 100 мм.

Для организации топочного процесса топка оборудована 8 прямооточными пылеугольными горелками, 4 растопочными горелками и 7 соплами нижнего дутья

Пылеугольные горелки установлены в углах топки и расположены по высоте в два яруса на отметках +8800 мм и +11400 мм. Оси горелочных устройств расположены тангенциально к воображаемой окружности диаметром 900 мм в центре топки.

Направление крутки - против часовой стрелки. Такое размещение горелок в топке обеспечивает равномерное заполнение сечения топки факелом.

Каждая пылеугольная горелка представляет собой блок с четырьмя прямоугольными каналами пылегазовоздушной смеси, расположенными в канале вторичного воздуха.

Для проведения растопки котла на мазуте предусмотрена установка 4 растопочных вихревых мазутных горелок с индивидуальным подводом воздуха. Растопочные горелки установлены под пылеугольными горелками первого яруса на отметке +8080 мм.

Суммарная производительность всех мазутных форсунок обеспечивает приблизительно 30 % нагрузки котла. Давление мазута и распыливающего агента при растопке котла: мазут – 2,5МПа (25 кгс/см²), пар – 1,0 МПа (10 кгс/см²). Удельный расход пара на распыливание мазута составляет 0,08 кг на 1 кг мазута, температура пара 230–250 °С.

Для обеспечения нормативных выбросов оксидов азота (NO_x) предусмотрена подача горячего воздуха в холодную воронку через 7 сопел нижнего дутья, расположенных по встречно-смещенной схеме на скатах холодной воронки под углом 15° к горизонтали. Кроме того, применение системы нижнего дутья способствует предотвращению шлакования и уменьшению мехнедожога в шлаке. На каждом из двух общих подводов горячего воздуха к соплам нижнего дутья установлено по регулирующему электрифицированному клапану.

Для очистки от отложений экранных поверхностей нагрева топки применяются аппараты водяной обдувки типа ОВД в количестве 2 штук, устанавливаемые на боковых стенах топки. Для очистки от отложений испарительных ширм и конвективного пароперегревателя применяются глубоководные паровые обдувочные аппараты типа ОГ серии 221ЭОБ051-081 в количестве 8 штук. Для очистки от отложений поверхностей нагрева, расположенных в опускном газоходе, применяется установка дробевой очистки. Транспорт дроби осуществляется воздухом при помощи воздуходувных машин. Подача дроби в опускной газоход котла осуществляется с помощью трех пневморазбрасывателей, расположенных на задней стене опускного газохода.

Котел оборудован четырьмя индивидуальными системами пылеприготовления с прямым вдуванием. Топливо из бункера сырого угля скребковым питателем сырого угля типа ПС-700/9000 (или ПС-700/21000) производительностью 16 т/ч, частотой вращения 300–1500 об/мин подается в мельницу. Регулирование подачи топлива осуществляется с помощью регулятора толщины слоя топлива (по месту), а также изменением частоты вращения электродвигателя (дистанционно или автоматически регулятором загрузки мельницы).

Размол и сушка угля осуществляется в четырех мельницах-вентиляторах типа МВ 1600/400/980 расчетной производительностью по ирша-бординскому углю 7,04 т/ч, по березовскому бурому углю – 7,14 т/ч. Мельницы оборудованы инерционными сепараторами для взрывоопасных топлив, где из потока аэросмеси отделяются крупные фракции пыли и возвращаются на домол в мельницу. Требуемая тонина помола (расчетная тонина помола $R_{90} = 57\%$) достигается установкой в определенное положение лопаток сепаратора, которое уточняется при наладке пылесистемы.

После сепаратора аэросмесь поступает в пыледелитель, из которого по пылепроводам подается в горелки. Для сушки угля используется смесь топочных газов, отбираемых в верхней части топки, и холодных дымовых газов, отбираемых за дымососом.

1.5 Методика расчёта расхода топлива котельного агрегата.

Номинальное количество израсходованного топлива в натуральном исчислении, тонн натурального топлива/час:

$$B_{\text{нат}} = \frac{Q_{\text{ка}}^{\text{н}}}{\eta_{\text{ка}}^{\text{н}} \cdot Q_i^{\text{р}} \cdot 10^3} \quad (12)$$

где $Q_{\text{ка}}^{\text{бр}}$ – номинальная теплопроизводительность котельного агрегата, Гкал/час;

$\eta_{\text{ка}}^{\text{н}}$ – номинальный коэффициент полезного действия котельного агрегата;

$Q_i^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания топлива, Ккал/кг.

Номинальное количество израсходованного топлива в условном исчислении, тонн условного топлива/час:

$$B_{\text{усл}} = \frac{Q_{\text{ка}}^{\text{бр}}}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} \cdot 7000 \cdot 10^3} \quad (13)$$

где $Q_{\text{ка}}^{\text{бр}}$ – то же, что и в формуле выше;

$\eta_{\text{ка}}^{\text{н}}$ – то же, что и в формуле выше.

Расчёт массы золы, вносимой с топливом для сжигания в котельный агрегат за час, тонн/час:

$$G_A = B_{\text{нат}} \cdot A^{\text{д}} \quad (14)$$

где $A^{\text{д}}$ – зольность топлива в сухом состоянии.

2 Экспериментальная и расчетная часть

2.1 Определение оптимальных соотношений углей для сжигания в котельных агрегатах

В настоящее время на ТЭЦ применяется смешение углей для образования смесей в пропорции по массе 30% на 70% или 50% на 50%. Так как уголь Б3 имеет большую теплоту сгорания, выгоднее иметь повышенный его процент в смеси, но из-за доставки автомобильным видом транспорта невозможно обеспечить достаточного объёма поставок при сжигании примерно 50% от требуемого расхода топлива, выберем оптимальную для сжигания смесь, состоящую из 50% бородинского и 50% балахтинского углей.

Для определения пригодности смеси в качестве альтернативы проектного топлива без серьёзной реконструкции или замены оборудования ТЭЦ на котле БКЗ-160-1,4-5 проведём предварительную оценку склонности к шлакованию и рассчитаем расход топлива котельного агрегата при сжигании твердотопливной смеси. При этом выберем шаг изменения количественной составляющей углей, равный 10%. У углей Б2 и Б3 не было выявлено различия по данным показателям:

- взрывоопасных свойств;
- абразивных свойства топлива и золы;
- показателей склонности к окислению и самовозгоранию;
- сыпучих свойств;
- смерзаемости.

2.2 Предварительная оценка склонности к шлакованию топлив

2.2.1 Оценка склонности к шлакованию бородинского угля

В таблице 5 и 6 представлен технический анализ бородинского угля и химический состав его золы.

Таблица 5 - Технический анализ угля Б2

| Показатели | | Рабочее состояние г | Аналитическое состояние а | Сухое состояние d | Сухое беззольное состояние daf |
|----------------------------------|-------|------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Общая влага угля, % | W_t | 32,6 | 7,0 | | |
| предельная | W_t | 33,0 | | | |
| Зольность угля, % | A | 4,9 | 6,8 | 7,3 | |
| предельная | A | 5,5 | 7,6 | 8,2 | |
| Выход летучих веществ, % | V | 28,8 | 41,4 | 44,5 | 48,0 |
| Низшая теплота сгорания, ккал/кг | Q_i | 3900 | 5644 | 6068 | 6544 |
| Общая сера угля, % | S_t | 0,20 | 0,28 | 0,3 | 0,32 |

Таблица 6 - Химический состав золы угля Б2

| Химический состав золы, на сухую массу, % | | |
|---|-----------|-------|
| Оксид кремния | SiO_2 | 45,5 |
| Оксид алюминия | Al_2O_3 | 9,95 |
| Оксид железа | Fe_2O_3 | 9,65 |
| Оксид кальция | CaO | 23,01 |
| Оксид магния | MgO | 4,78 |
| Оксид титана | TiO_2 | 0,1 |
| Оксид фосфора | P_2O_5 | 0,04 |
| Оксид серы | SO_3 | 6,01 |
| Оксид натрия | Na_2O | 0,2 |
| Оксид калия | K_2O | 0,3 |

Произведём расчёт отношения количества кислых оксидов к основным для угля Б2:

$$k_o = \frac{45,5+9,95+0,1}{23,01+4,78+0,3+0,2} = 1,964 \quad (15)$$

Содержание пиритной серы:

$$S_p^{daf} = 0,581 \cdot 0,32 - 0,03 = 0,156 \% \quad (16)$$

Склонность углей к образованию железистых отложений:

$$P_{Fe} = 0,856 - \frac{0,567}{0,9 \cdot 0,156 \cdot \frac{100-7,3}{7,3} + 0,0813 \cdot 9,65} = 0,635 \quad (17)$$

Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей:

$$P_{Na} = 0,416 \cdot (0,949 \cdot 0,2 - 0,013 \cdot 0,3 - 0,05)^{0,313} = 0,233 \quad (18)$$

Содержание активного кальция:

$$CaO^a = 23,01 \cdot (1 - 0,0025 \cdot 7,3) = 22,54 \% \quad (19)$$

Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений:

$$P_{Ca} = 0,5 \cdot (CaO^a)^{0,22} - P_{Na} = 0,5 \cdot (22,54)^{0,22} - 0,233 = 0,77 \quad (20)$$

Показатель, характеризующий состав минеральной части:

$$P_{xc} = 1 - 0,025 \cdot 1,964 = 0,951 \quad (21)$$

Комплексный показатель склонности углей к шлакованию топочных экранов:

$$R_{st} = 0,707 \cdot ((0,635)^2 + (0,951)^2)^{0,5} = 0,808 \quad (22)$$

Температура начала шлакования:

$$t_{шл} = 945 + 8,22 \cdot 1,964 = 961,14 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (23)$$

2.2.2 Оценка склонности к шлакованию балахтинского угля

В таблице 7 и 8 представлен технический анализ балахтинского угля и химический состав его золы.

Таблица 7 - Технический анализ угля БЗ

| Показатели | | Значение |
|--|-----------|----------|
| Общая влага угля, рабочее состояние, % | W_t^r | 20,8 |
| Зольность угля, сухое состояние, % | A^d | 6,2 |
| Выход летучих веществ, сухое беззольное состояние, % | V^{daf} | 44,6 |
| Низшая теплота сгорания, рабочее состояние, ккал/кг | Q_i | 4890 |
| Общая сера угля, сухое состояние, % | S_t^d | 0,34 |

Таблица 8 - Химический состав золы угля БЗ

| Химический состав золы, на сухую массу, % | | |
|---|-----------|------|
| Оксид кремния | SiO_2 | 37,7 |
| Оксид алюминия | Al_2O_3 | 12,8 |
| Оксид железа | Fe_2O_3 | 9,8 |
| Оксид кальция | CaO | 22,7 |
| Оксид магния | MgO | 3,1 |
| Оксид титана | TiO_2 | 0,7 |
| Оксид серы | SO_3 | 10,2 |
| Оксид натрия | Na_2O | 0,7 |
| Оксид калия | K_2O | 0,7 |

Содержание серы на сухое беззольное состояние:

$$S_t^{daf} = S_t^d \cdot \frac{100}{100 - A^d} \quad (24)$$

$$S_t^{daf} = 0,34 \cdot \frac{100}{100 - 6,2} = 0,362 \quad (25)$$

Произведём расчёт отношения количества кислых оксидов к основным:

$$k_o = \frac{37,7 + 12,8 + 0,7}{22,7 + 3,1 + 0,7 + 0,7} = 1,882 \quad (26)$$

Содержание пиритной серы:

$$S_p^{daf} = 0,581 \cdot 0,362 - 0,03 = 0,181 \% \quad (27)$$

Склонность углей к образованию железистых отложений:

$$P_{Fe} = 0,856 - \frac{0,567}{0,9 \cdot 0,181 \cdot \frac{100-6,2}{6,2} + 0,0813 \cdot 9,8} = 0,682 \quad (28)$$

Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей:

$$P_{Na} = 0,416 \cdot (0,949 \cdot 0,7 - 0,013 \cdot 0,7 - 0,05)^{0,313} = 0,355 \quad (29)$$

Содержание активного кальция:

$$CaO^a = 22,7 \cdot (1 - 0,0025 \cdot 6,2) = 22,298 \% \quad (30)$$

Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений:

$$P_{Ca} = 0,5 \cdot (22,298)^{0,22} - 0,355 = 0,634 \quad (31)$$

Показатель, характеризующий состав минеральной части:

$$P_{xc} = 1 - 0,025 \cdot 1,882 = 0,953 \quad (32)$$

Комплексный показатель склонности углей к шлакованию топочных экранов:

$$R_{st} = 0,707 \cdot ((0,682)^2 + (0,953)^2)^{0,5} = 0,828 \quad (33)$$

Температура начала шлакования:

$$t_{\text{шл}} = 945 + 8,22 \cdot 1,882 = 960,47 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (34)$$

2.2.3 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 50% бородинского и 50% балахтинского угля

Определим склонность к шлакованию угольных смесей, состоящих из бородинского и балахтинского угля. Для смесеобразования выберем шаг изменения количественной составляющей углей, равный 10%.

Для оценки склонности к шлакованию смеси, состоящей из 50% угля Б2 и 50% угля Б3 рассчитаем её технические характеристики и состав:

$$W_t^r = 0,5 \cdot 32,6 + 0,5 \cdot 20,8 = 26,8 \text{ \%} \quad (35)$$

$$A^d = 0,5 \cdot 7,3 + 0,5 \cdot 6,2 = 6,75 \text{ \%} \quad (36)$$

$$Q_i = 0,5 \cdot 3900 + 0,5 \cdot 4980 = 4440 \text{ ккал/кг} \quad (37)$$

$$S_t^{daf} = 0,5 \cdot 0,32 + 0,5 \cdot 0,362 = 0,341 \text{ \%} \quad (38)$$

Технические характеристики угольной смеси, состоящей из 50% бородинского и 50% балахтинского угля отражены в таблице 9.

Таблица 9 - Технические характеристики угольной смеси

| Показатели | | Значение |
|---|-------------|----------|
| Общая влага угля, рабочее состояние, % | W_t^r | 26,8 |
| Зольность угля, сухое состояние, % | A^d | 6,75 |
| Низшая теплота сгорания, рабочее состояние, ккал/кг | Q_i | 4440 |
| Общая сера угля, сухое состояние, % | S_t^{daf} | 0,341 |

Вычислим химический состав золы:

$$SiO_2 = 0,5 \cdot 45,5 + 0,5 \cdot 37,7 = 41,6 \% \quad (39)$$

$$Al_2O_3 = 0,5 \cdot 9,95 + 0,5 \cdot 12,8 = 11,35 \% \quad (40)$$

$$Fe_2O_3 = 0,5 \cdot 9,65 + 0,5 \cdot 9,8 = 9,72 \% \quad (41)$$

$$CaO = 0,5 \cdot 23,01 + 0,5 \cdot 22,7 = 22,85 \% \quad (42)$$

$$MgO = 0,5 \cdot 4,78 + 0,5 \cdot 3,1 = 3,94 \% \quad (43)$$

$$TiO_2 = 0,5 \cdot 0,1 + 0,5 \cdot 0,7 = 0,4 \% \quad (44)$$

$$SO_3 = 0,5 \cdot 6,01 + 0,5 \cdot 10,2 = 8,1 \% \quad (45)$$

$$Na_2O = 0,5 \cdot 0,2 + 0,5 \cdot 0,7 = 0,45 \% \quad (46)$$

$$K_2O = 0,5 \cdot 0,3 + 0,5 \cdot 0,7 = 0,5 \% \quad (47)$$

Химический состав золы смеси 50% Б2 + 50% Б3 показан в таблице 10.

Таблица 10 – Химический состав золы

| Химический состав золы, на сухую массу, % | | |
|---|-----------|-------|
| Оксид кремния | SiO_2 | 41,6 |
| Оксид алюминия | Al_2O_3 | 11,37 |
| Оксид железа | Fe_2O_3 | 9,72 |
| Оксид кальция | CaO | 22,85 |
| Оксид магния | MgO | 3,94 |
| Оксид титана | TiO_2 | 0,4 |
| Оксид серы | SO_3 | 8,1 |
| Оксид натрия | Na_2O | 0,45 |
| Оксид калия | K_2O | 0,5 |

Определим показатели склонности к образованию отложений и температуру начала шлакования для смеси, состоящей из 50% по массе бородинского и 50% балахтинского угля:

Произведём расчёт отношения количества кислых оксидов к основным:

$$k_o = 0,5 \cdot 1,964 + 0,5 \cdot 1,882 = 1,923 \quad (48)$$

Содержание пиритной серы:

$$S_p^{daf} = 0,581 \cdot 0,341 - 0,03 = 0,168 \% \quad (49)$$

Склонность углей к образованию железистых отложений:

$$P_{Fe} = 0,856 - \frac{0,567}{0,9 \cdot 0,168 \cdot \frac{100-6,75}{6,75} + 0,0813 \cdot 9,72} = 0,659 \quad (50)$$

Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей:

$$P_{Na} = 0,416 \cdot (0,949 \cdot 0,45 - 0,013 \cdot 0,5 - 0,05)^{0,313} = 0,305 \quad (51)$$

Содержание активного кальция:

$$CaO^a = 0,5 \cdot 22,54 + 0,5 \cdot 22,298 = 22,42 \% \quad (52)$$

Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений:

$$P_{Ca} = 0,5 \cdot (22,42)^{0,22} - 0,305 = 0,686 \quad (53)$$

Показатель, характеризующий состав минеральной части:

$$P_{xc} = 1 - 0,025 \cdot 1,923 = 0,952 \quad (54)$$

Комплексный показатель склонности углей к шлакованию топочных экранов:

$$R_{st} = 0,707 \cdot ((0,659)^2 + (0,952)^2)^{0,5} = 0,819 \quad (55)$$

Температура начала шлакования:

$$t_{шл} = 945 + 8,22 \cdot 1,923 = 960,81 \text{ }^\circ\text{C} \quad (56)$$

2.2.4 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 60% бородинского и 40% балахтинского угля

Для оценки склонности к шлакованию смеси рассчитаем её технические характеристики и состав.

$$W_t^r = 0,6 \cdot 32,6 + 0,4 \cdot 20,8 = 27,9 \% \quad (57)$$

$$A^d = 0,6 \cdot 7,3 + 0,4 \cdot 6,2 = 6,86 \% \quad (58)$$

$$Q_i = 0,6 \cdot 3900 + 0,4 \cdot 4980 = 4332 \text{ ккал/кг} \quad (59)$$

$$S_t^{daf} = 0,6 \cdot 0,32 + 0,4 \cdot 0,362 = 0,337 \% \quad (60)$$

Технические характеристики угольной смеси, состоящей из 60% бородинского и 40% балахтинского угля отражены в таблице 11.

Таблица 11 - Технические характеристики угольной смеси

| Показатели | | Значение |
|---|-------------|----------|
| Общая влага угля, рабочее состояние, % | W_t^r | 27,88 |
| Зольность угля, сухое состояние, % | A^d | 6,86 |
| Низшая теплота сгорания, рабочее состояние, ккал/кг | Q_i | 4333 |
| Общая сера угля, сухое состояние, % | S_t^{daf} | 0,377 |

Вычислим химический состав золы:

$$SiO_2 = 0,6 \cdot 45,5 + 0,4 \cdot 37,7 = 42,38 \% \quad (61)$$

$$Al_2O_3 = 0,6 \cdot 9,95 + 0,4 \cdot 12,8 = 11,09 \% \quad (62)$$

$$Fe_2O_3 = 0,6 \cdot 9,65 + 0,4 \cdot 9,8 = 9,71 \% \quad (63)$$

$$CaO = 0,6 \cdot 23,01 + 0,4 \cdot 22,7 = 22,89 \% \quad (64)$$

$$MgO = 0,6 \cdot 4,78 + 0,4 \cdot 3,1 = 4,11 \% \quad (65)$$

$$TiO_2 = 0,6 \cdot 0,1 + 0,4 \cdot 0,7 = 0,34 \% \quad (66)$$

$$SO_3 = 0,6 \cdot 6,01 + 0,4 \cdot 10,2 = 7,69 \% \quad (67)$$

$$Na_2O = 0,6 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 0,7 = 0,4 \% \quad (68)$$

$$K_2O = 0,6 \cdot 0,3 + 0,4 \cdot 0,7 = 0,46 \% \quad (69)$$

Химический состав золы смеси 60% Б2 + 40% Б3 показан в таблице 12.

Таблица 12 - Химический состав золы

| Химический состав золы, на сухую массу, % | | |
|---|-----------|-------|
| Оксид кремния | SiO_2 | 42,38 |
| Оксид алюминия | Al_2O_3 | 11,09 |
| Оксид железа | Fe_2O_3 | 9,71 |
| Оксид кальция | CaO | 22,89 |
| Оксид магния | MgO | 4,11 |
| Оксид титана | TiO_2 | 0,34 |
| Оксид серы | SO_3 | 7,69 |
| Оксид натрия | Na_2O | 0,4 |
| Оксид калия | K_2O | 0,46 |

Определим показатели склонности к образованию отложений и температуру начала шлакования для смеси:

Произведём расчёт отношения количества кислых оксидов к основным:

$$ko = 0,6 \cdot 1,964 + 0,4 \cdot 1,882 = 1,93 \quad (70)$$

Содержание пиритной серы:

$$S_p^{daf} = 0,581 \cdot 0,337 - 0,03 = 0,166 \% \quad (71)$$

Склонность углей к образованию железистых отложений:

$$P_{Fe} = 0,856 - \frac{0,567}{0,9 \cdot 0,166 - \frac{100 - 6,86}{6,86} + 0,0813 \cdot 9,71} = 0,655 \quad (72)$$

Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей:

$$P_{Na} = 0,416 \cdot (0,949 \cdot 0,4 - 0,013 \cdot 0,46 - 0,05)^{0,313} = 0,292 \quad (73)$$

Содержание активного кальция:

$$CaO^a = 0,6 \cdot 22,54 + 0,4 \cdot 22,298 = 22,44 \% \quad (74)$$

Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений:

$$P_{Ca} = 0,5 \cdot (22,44)^{0,22} - 0,292 = 0,699 \quad (75)$$

Показатель, характеризующий состав минеральной части:

$$P_{xc} = 1 - 0,025 \cdot 1,93 = 0,952 \quad (76)$$

Комплексный показатель склонности углей к шлакованию топочных экранов

$$R_{st} = 0,707 \cdot ((0,655)^2 + (0,952)^2)^{0,5} = 0,817 \quad (77)$$

Температура начала шлакования:

$$t_{\text{шл}} = 945 + 8,22 \cdot 1,93 = 960,87 \text{ }^\circ\text{C} \quad (78)$$

2.2.5 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 70% бородинского и 30% балахтинского угля

Для оценки склонности к шлакованию смеси рассчитаем её технические характеристики и состав:

$$W_t^r = 0,7 \cdot 32,6 + 0,3 \cdot 20,8 = 29,1 \text{ \%} \quad (79)$$

$$A^d = 0,7 \cdot 7,3 + 0,3 \cdot 6,2 = 6,97 \text{ \%} \quad (80)$$

$$Q_i = 0,7 \cdot 3900 + 0,3 \cdot 4980 = 4224 \text{ ккал/кг} \quad (81)$$

$$S_t^{daf} = 0,7 \cdot 0,32 + 0,3 \cdot 0,362 = 0,333 \text{ \%} \quad (82)$$

Технические характеристики угольной смеси, состоящей из 70% бородинского и 30% балахтинского угля отражены в таблице 13.

Таблица 13 - Технические характеристики угольной смеси

| Показатели | | Значение |
|---|-------------|----------|
| Общая влага угля, рабочее состояние, % | W_t^r | 29,1 |
| Зольность угля, сухое состояние, % | A^d | 6,97 |
| Низшая теплота сгорания, рабочее состояние, ккал/кг | Q_i | 4224 |
| Общая сера угля, сухое состояние, % | S_t^{daf} | 0,333 |

Вычислим химический состав золы:

$$SiO_2 = 0,7 \cdot 45,5 + 0,3 \cdot 37,7 = 43,16 \text{ \%} \quad (83)$$

$$Al_2O_3 = 0,7 \cdot 9,95 + 0,3 \cdot 12,8 = 10,81 \text{ \%} \quad (84)$$

$$Fe_2O_3 = 0,7 \cdot 9,65 + 0,3 \cdot 9,8 = 9,69 \% \quad (85)$$

$$CaO = 0,7 \cdot 23,01 + 0,3 \cdot 22,7 = 22,92\% \quad (86)$$

$$MgO = 0,7 \cdot 4,78 + 0,3 \cdot 3,1 = 4,28 \% \quad (87)$$

$$TiO_2 = 0,7 \cdot 0,1 + 0,3 \cdot 0,7 = 0,28 \% \quad (88)$$

$$SO_3 = 0,7 \cdot 6,01 + 0,3 \cdot 10,2 = 7,27 \% \quad (89)$$

$$Na_2O = 0,7 \cdot 0,2 + 0,3 \cdot 0,7 = 0,35 \% \quad (90)$$

$$K_2O = 0,7 \cdot 0,3 + 0,3 \cdot 0,7 = 0,42 \% \quad (91)$$

Химический состав золы смеси 70% Б2 + 30% Б3 показан в таблице 14.

Таблица 14 - Химический состав золы

| Химический состав золы, на сухую массу, % | | |
|---|-----------|-------|
| Оксид кремния | SiO_2 | 43,16 |
| Оксид алюминия | Al_2O_3 | 10,8 |
| Оксид железа | Fe_2O_3 | 9,69 |
| Оксид кальция | CaO | 22,92 |
| Оксид магния | MgO | 4,28 |
| Оксид титана | TiO_2 | 0,28 |
| Оксид серы | SO_3 | 7,27 |
| Оксид натрия | Na_2O | 0,35 |
| Оксид калия | K_2O | 0,42 |

Определим показатели склонности к образованию отложений и температуру начала шлакования для смеси:

Произведём расчёт отношения количества кислых оксидов к основным:

$$ko = 0,7 \cdot 1,964 + 0,3 \cdot 1,882 = 1,939 \quad (92)$$

Содержание пиритной серы:

$$S_p^{daf} = 0,581 \cdot 0,333 - 0,03 = 0,163 \% \quad (93)$$

Склонность углей к образованию железистых отложений:

$$P_{Fe} = 0,856 - \frac{0,567}{0,9 \cdot 0,163 \cdot \frac{100-6,97}{6,97} + 0,0813 \cdot 9,71} = 0,65 \quad (94)$$

Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей:

$$P_{Na} = 0,416 \cdot (0,949 \cdot 0,35 - 0,013 \cdot 0,42 - 0,05)^{0,313} = 0,278 \quad (95)$$

Содержание активного кальция:

$$CaO^a = 0,7 \cdot 22,54, + 0,3 \cdot 22,298 = 22,47 \% \quad (96)$$

Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений:

$$P_{Ca} = 0,5 \cdot (22,47)^{0,22} - 0,278 = 0,713 \quad (97)$$

Показатель, характеризующий состав минеральной части:

$$P_{xc} = 1 - 0,025 \cdot 1,939 = 0,952 \quad (98)$$

Комплексный показатель склонности углей к шлакованию топочных экранов:

$$R_{st} = 0,707 \cdot ((0,65)^2 + (0,952)^2)^{0,5} = 0,815 \quad (99)$$

Температура начала шлакования:

$$t_{\text{шл}} = 945 + 8,22 \cdot 1,939 = 960,94 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (100)$$

2.2.6 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 80% бородинского и 20% балахтинского угля

Для оценки склонности к шлакованию смеси рассчитаем её технические характеристики и состав:

$$W_t^r = 0,8 \cdot 32,6 + 0,2 \cdot 20,8 = 30,2 \text{ \%} \quad (101)$$

$$A^d = 0,8 \cdot 7,3 + 0,2 \cdot 6,2 = 7,08 \text{ \%} \quad (102)$$

$$Q_i = 0,8 \cdot 3900 + 0,2 \cdot 4980 = 4116 \text{ ккал/кг} \quad (103)$$

$$S_t^{daf} = 0,8 \cdot 0,32 + 0,2 \cdot 0,362 = 0,328 \text{ \%} \quad (104)$$

Технические характеристики угольной смеси, состоящей из 80% бородинского и 20% балахтинского угля отражены в 15 таблице.

Таблица 15 - Технические характеристики угольной смеси

| Показатели | | Значение |
|---|-------------|----------|
| Общая влага угля, рабочее состояние, % | W_t^r | 30,2 |
| Зольность угля, сухое состояние, % | A^d | 7,08 |
| Низшая теплота сгорания, рабочее состояние, ккал/кг | Q_i | 4116 |
| Общая сера угля, сухое состояние, % | S_t^{daf} | 0,328 |

Вычислим химический состав золы:

$$SiO_2 = 0,8 \cdot 45,5 + 0,2 \cdot 37,7 = 43,94 \text{ \%} \quad (105)$$

$$Al_2O_3 = 0,8 \cdot 9,95 + 0,2 \cdot 12,8 = 10,52 \text{ \%} \quad (106)$$

$$Fe_2O_3 = 0,8 \cdot 9,65 + 0,2 \cdot 9,8 = 9,68 \% \quad (107)$$

$$CaO = 0,8 \cdot 23,01 + 0,2 \cdot 22,7 = 22,95 \% \quad (108)$$

$$MgO = 0,8 \cdot 4,78 + 0,2 \cdot 3,1 = 4,44 \% \quad (109)$$

$$TiO_2 = 0,8 \cdot 0,1 + 0,2 \cdot 0,7 = 0,22 \% \quad (110)$$

$$SO_3 = 0,8 \cdot 6,01 + 0,2 \cdot 10,2 = 6,85 \% \quad (111)$$

$$Na_2O = 0,8 \cdot 0,2 + 0,2 \cdot 0,7 = 0,3 \% \quad (112)$$

$$K_2O = 0,8 \cdot 0,3 + 0,2 \cdot 0,7 = 0,38 \% \quad (113)$$

Химический состав золы смеси 80% Б2 + 20% Б3 показан в таблице 16.

Таблица 16 - Химический состав золы

| Химический состав золы, на сухую массу, % | | |
|---|-----------|-------|
| Оксид кремния | SiO_2 | 43,94 |
| Оксид алюминия | Al_2O_3 | 10,52 |
| Оксид железа | Fe_2O_3 | 9,68 |
| Оксид кальция | CaO | 22,95 |
| Оксид магния | MgO | 4,44 |
| Оксид титана | TiO_2 | 0,22 |
| Оксид серы | SO_3 | 6,85 |
| Оксид натрия | Na_2O | 0,3 |
| Оксид калия | K_2O | 0,38 |

Определим показатели склонности к образованию отложений и температуру начала шлакования для смеси:

Произведём расчёт отношения количества кислых оксидов к основным:

$$ko = 0,8 \cdot 1,964 + 0,2 \cdot 1,882 = 1,948 \quad (114)$$

Содержание пиритной серы:

$$S_p^{daf} = 0,581 \cdot 0,328 - 0,03 = 0,161 \% \quad (115)$$

Склонность углей к образованию железистых отложений:

$$P_{Fe} = 0,856 - \frac{0,567}{0,9 \cdot 0,161 \cdot \frac{100-7,08}{7,08} + 0,0813 \cdot 9,68} = 0,645 \quad (116)$$

Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей:

$$P_{Na} = 0,416 \cdot (0,949 \cdot 0,3 - 0,013 \cdot 0,38 - 0,05)^{0,313} = 0,263 \quad (117)$$

Содержание активного кальция:

$$CaO^a = 0,8 \cdot 22,54 + 0,2 \cdot 22,298 = 22,49 \% \quad (118)$$

Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений:

$$P_{Ca} = 0,5 \cdot (22,49)^{0,22} - 0,263 = 0,729 \quad (119)$$

Показатель, характеризующий состав минеральной части:

$$P_{xc} = 1 - 0,025 \cdot 1,948 = 0,951 \quad (120)$$

Комплексный показатель склонности углей к шлакованию топочных экранов

$$R_{st} = 0,707 \cdot ((P_{Fe})^2 + (P_{xc})^2)^{0,5} = 0,813 \quad (121)$$

Температура начала шлакования:

$$t_{\text{шл}} = 945 + 8,22 \cdot 1,948 = 961,00 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (122)$$

2.2.7 Оценка склонности к шлакованию угольной смеси из 90% бородинского и 10% балахтинского угля

Для оценки склонности к шлакованию смеси рассчитаем её технические характеристики и состав:

$$W_t^r = 0,9 \cdot 32,6 + 0,1 \cdot 20,8 = 31,42 \text{ \%} \quad (123)$$

$$A^d = 0,9 \cdot 7,3 + 0,1 \cdot 6,2 = 7,19 \text{ \%} \quad (124)$$

$$Q_i = 0,9 \cdot 3900 + 0,1 \cdot 4980 = 4008 \text{ ккал/кг} \quad (125)$$

$$S_t^{daf} = 0,9 \cdot 0,32 + 0,1 \cdot 0,362 = 0,324 \text{ \%} \quad (126)$$

Технические характеристики угольной смеси, состоящей из 90% бородинского и 10% балахтинского угля отражены в таблице 17.

Таблица 17 - Технические характеристики угольной смеси

| Показатели | | Значение |
|---|-------------|----------|
| Общая влага угля, рабочее состояние, % | W_t^r | 31,42 |
| Зольность угля, сухое состояние, % | A^d | 7,19 |
| Низшая теплота сгорания, рабочее состояние, ккал/кг | Q_i | 4008 |
| Общая сера угля, сухое состояние, % | S_t^{daf} | 0,324 |

Вычислим химический состав золы:

$$SiO_2 = 0,9 \cdot 45,5 + 0,1 \cdot 37,7 = 44,72 \text{ \%} \quad (127)$$

$$Al_2O_3 = 0,9 \cdot 9,95 + 0,1 \cdot 12,8 = 10,23 \text{ \%} \quad (128)$$

$$Fe_2O_3 = 0,9 \cdot 9,65 + 0,1 \cdot 9,8 = 9,66 \% \quad (129)$$

$$CaO = 0,9 \cdot 23,01 + 0,1 \cdot 22,7 = 22,98 \% \quad (130)$$

$$MgO = 0,9 \cdot 4,78 + 0,1 \cdot 3,1 = 4,61 \% \quad (131)$$

$$TiO_2 = 0,9 \cdot 0,1 + 0,1 \cdot 0,7 = 0,16 \% \quad (132)$$

$$SO_3 = 0,9 \cdot 6,01 + 0,1 \cdot 10,2 = 6,43 \% \quad (133)$$

$$Na_2O = 0,9 \cdot 0,2 + 0,1 \cdot 0,7 = 0,25 \% \quad (134)$$

$$K_2O = 0,9 \cdot 0,3 + 0,1 \cdot 0,7 = 0,34 \% \quad (135)$$

Химический состав золы смеси 90% Б2 + 10% Б3 показан в таблице 18.

Таблица 18 - Химический состав золы

| Химический состав золы, на сухую массу, % | | |
|---|-----------|-------|
| Оксид кремния | SiO_2 | 44,72 |
| Оксид алюминия | Al_2O_3 | 10,23 |
| Оксид железа | Fe_2O_3 | 9,66 |
| Оксид кальция | CaO | 22,98 |
| Оксид магния | MgO | 4,61 |
| Оксид титана | TiO_2 | 0,16 |
| Оксид серы | SO_3 | 6,43 |
| Оксид натрия | Na_2O | 0,25 |
| Оксид калия | K_2O | 0,34 |

Определим показатели склонности к образованию отложений и температуру начала шлакования для смеси:

Произведём расчёт отношения количества кислых оксидов к основным:

$$k_o = 0,9 \cdot 1,964 + 0,1 \cdot 1,882 = 1,956 \quad (134)$$

Содержание пиритной серы:

$$S_p^{daf} = 0,581 \cdot 0,324 - 0,03 = 0,158 \% \quad (135)$$

Склонность углей к образованию железистых отложений:

$$P_{Fe} = 0,856 - \frac{0,567}{0,9 \cdot 0,158 \cdot \frac{100-7,19}{7,19} + 0,0813 \cdot 9,66} = 0,64 \quad (136)$$

Склонность углей к образованию загрязнений на базе активных щелочей:

$$P_{Na} = 0,416 \cdot (0,949 \cdot 0,25 - 0,013 \cdot 0,34 - 0,05)^{0,313} = 0,244 \quad (137)$$

Содержание активного кальция:

$$CaO^a = 0,9 \cdot 22,54 + 0,1 \cdot 22,298 = 22,52 \% \quad (138)$$

Склонность углей к образованию сульфатно-кальциевых отложений:

$$P_{Ca} = 0,5 \cdot (22,52)^{0,22} - 0,244 = 0,748 \quad (139)$$

Показатель, характеризующий состав минеральной части:

$$P_{xc} = 1 - 0,025 \cdot 1,956 = 0,951 \quad (140)$$

Комплексный показатель склонности углей к шлакованию топочных экранов

$$R_{st} = 0,707 \cdot ((0,64)^2 + (0,951)^2)^{0,5} = 0,811 \quad (141)$$

Температура начала шлакования:

$$t_{\text{шл}} = 945 + 8,22 \cdot 1,956 = 961,07 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (142)$$

Результаты расчёта склонности к образованию железистых отложений отражены на рисунке 3.

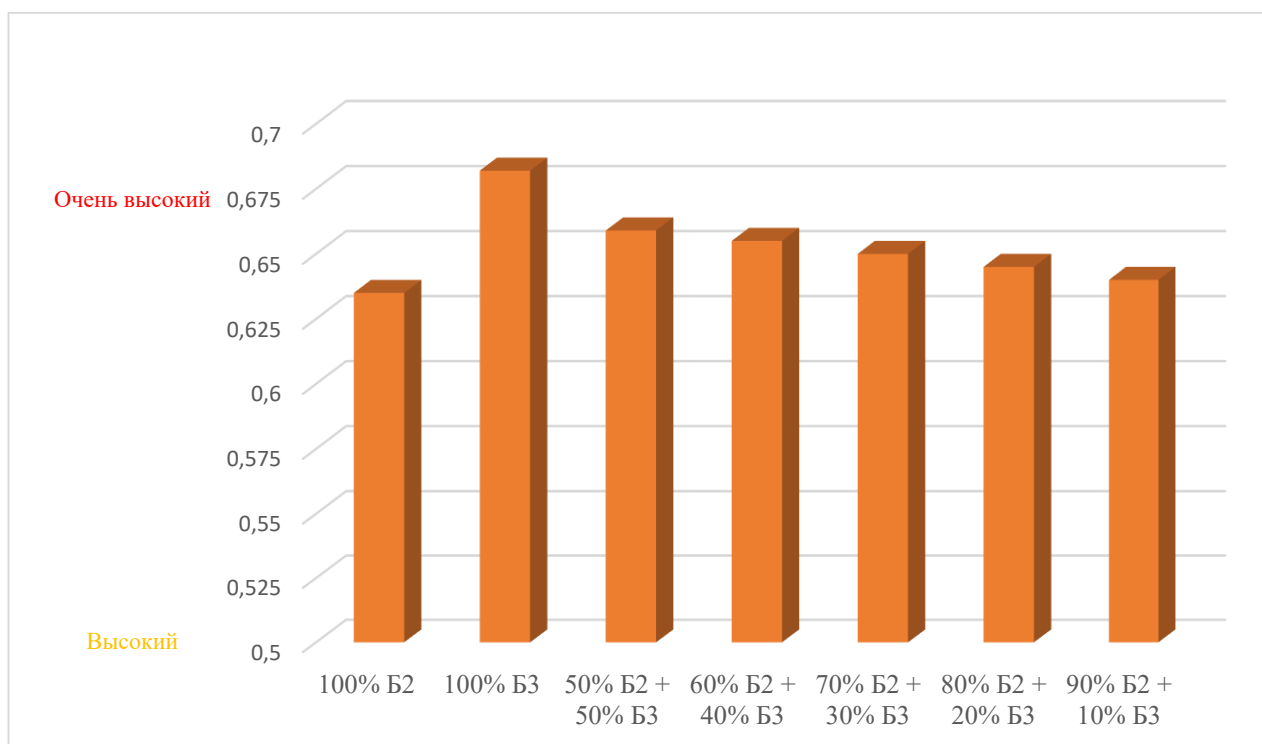


Рисунок 3 - Результаты расчёта склонности к образованию железистых отложений

Результаты расчёта склонности к образованию загрязнений на базе активных щелочей показаны на рисунке 4.

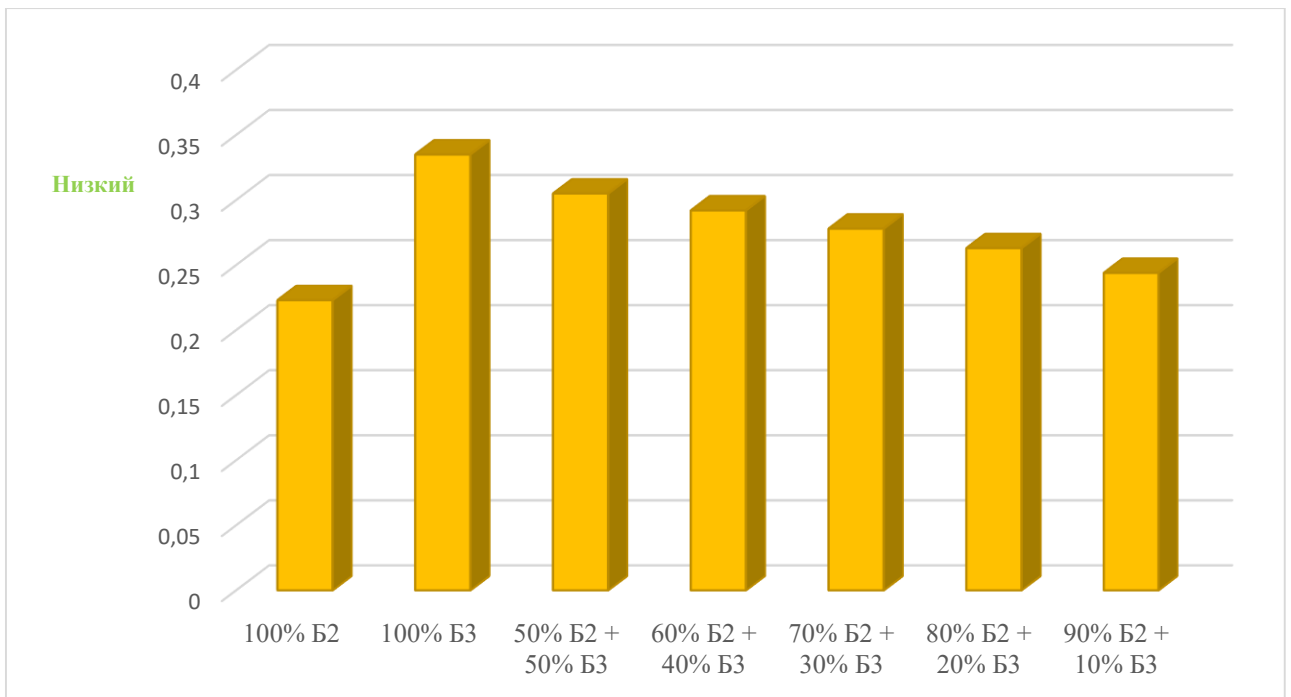


Рисунок 4 - Результаты расчёта склонности к образованию загрязнений на базе активных щелочей

Результаты расчёта склонности к образованию сульфатно-кальциевых отложений изображены на рисунке 5.

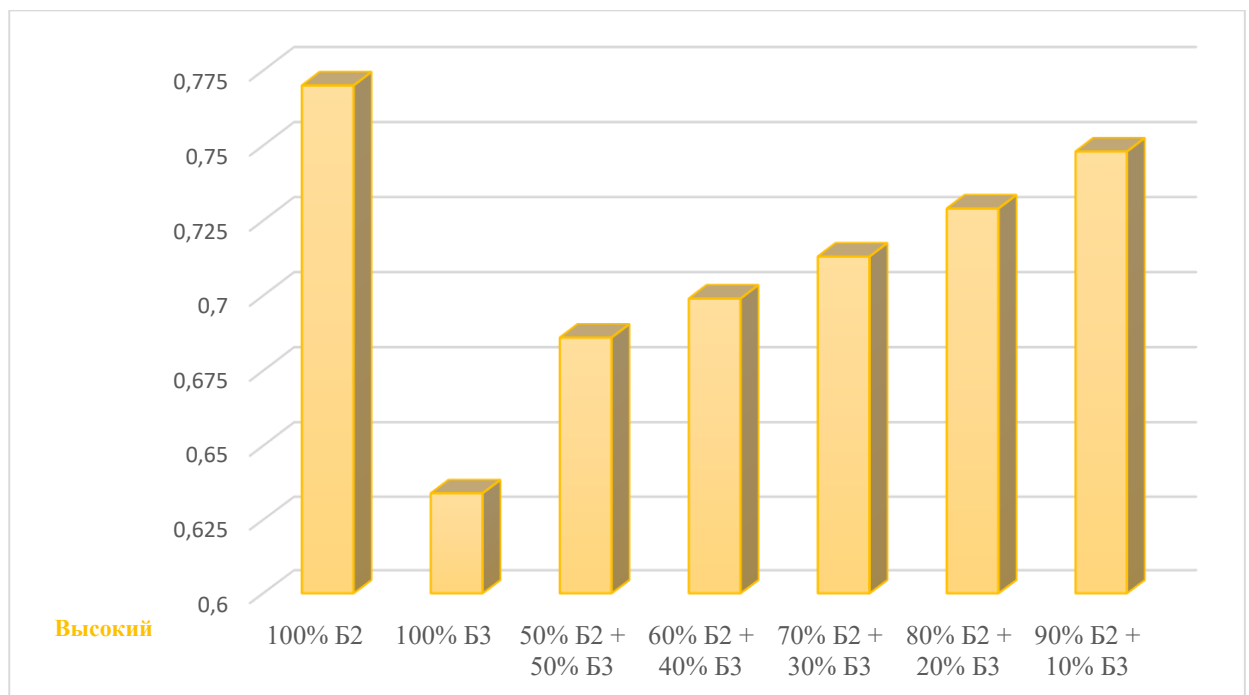


Рисунок 5 - Результаты расчёта склонности к образованию сульфатно-кальциевых отложений

Результаты расчёта комплексного показателя склонности к шлакованию топочных экранов можно увидеть на рисунке 6.

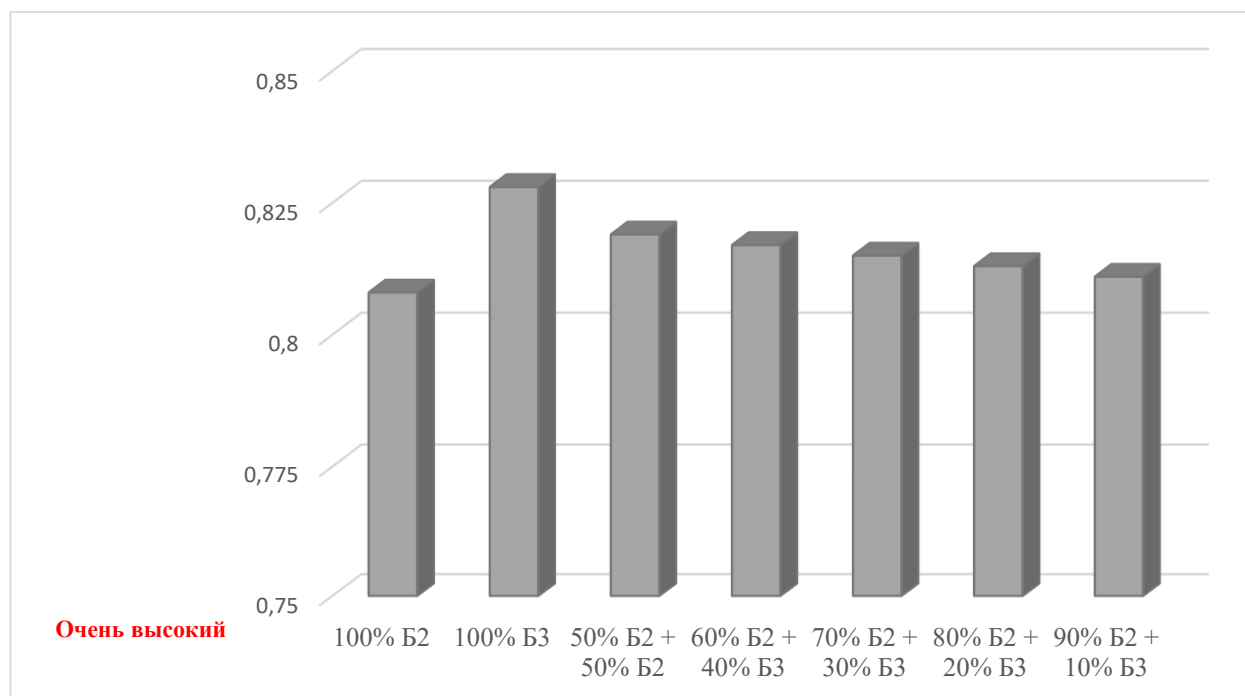


Рисунок 6 - Результаты расчёта комплексного показателя склонности к шлакованию топочных экранов

Результаты расчёта температур начала шлакования изображены на рисунке 7.

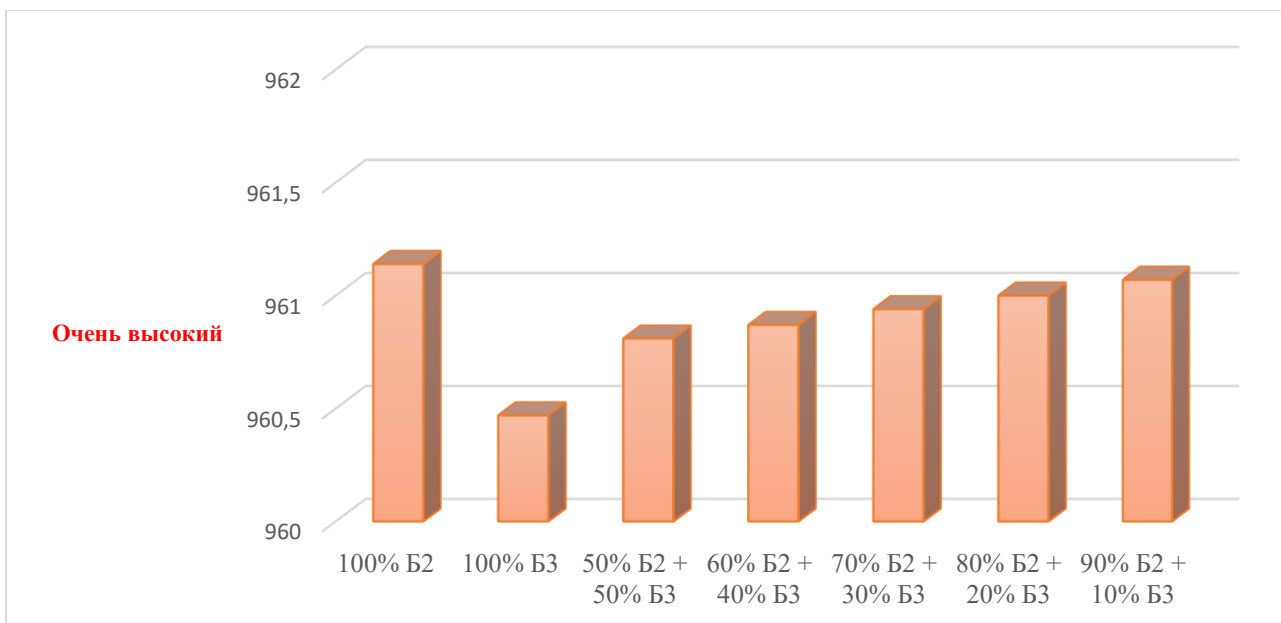


Рисунок 7 - Результаты расчёта температур начала шлакования

2.3 Характеристики горения топливных смесей в неизотермических условиях

В ходе анализа были использованы:

1. Бородинский бурый уголь (2В), Канско-Ачинский бассейн, Россия;
2. Балахтинский бурый уголь (3В) Канско-Ачинский бассейн, Россия.

Образцы бурых углей с начальным размером менее 20 мм по отдельности измельчали в дисковой мельнице Retsch DM 200 (Retsch GmbH, Germany), которая представлена на рисунке 8. Ее основные характеристики: максимальный начальный размер частиц менее 20 мм; максимальное число оборотов 528 об/мин., гарантированная тонина помола менее 100 μm .

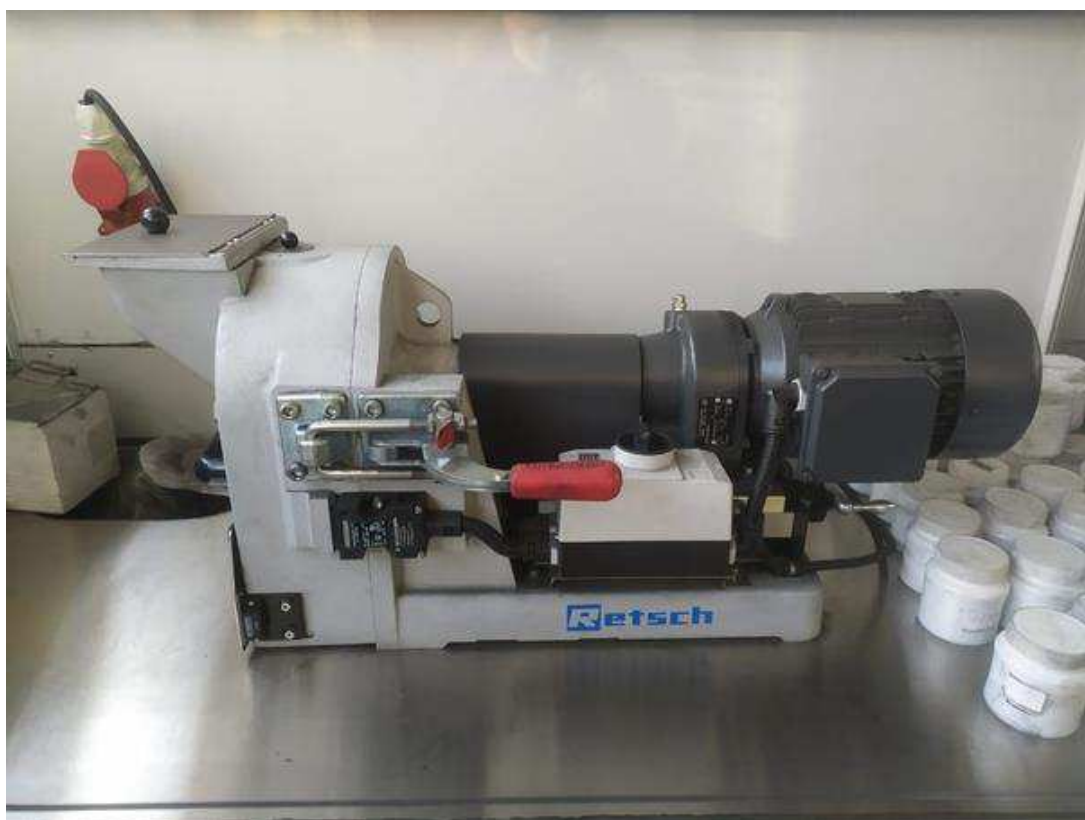


Рисунок 8 - Дисконая мельница Retsch DM 200

Для подготовки экспериментальных образцов использовалась аналитическая просеивающая машина RETSCH AS 200 BASIC (Retsch GmbH, Germany) с двумя ситами, размер ячеек которых составлял 100 μm и 200 μm . Она показана на рисунке 9.



Рисунок 9 - Просеивающая машина RETSCH AS 200 BASIC

Таким образом, получались образцы пыли угля с размерами частиц 100–200 μm , что соответствует тонине помола пылеугольного топлива, используемого при факельном сжигании в энергетических котлах. Смеси создавались с помощью аналитических весов.

Термический анализ образцов проводился с применением синхронного термоанализатора SDT Q600 (TA Instruments-Waters LLC, New Castle, DE, USA), изображённого на рисунке 10.

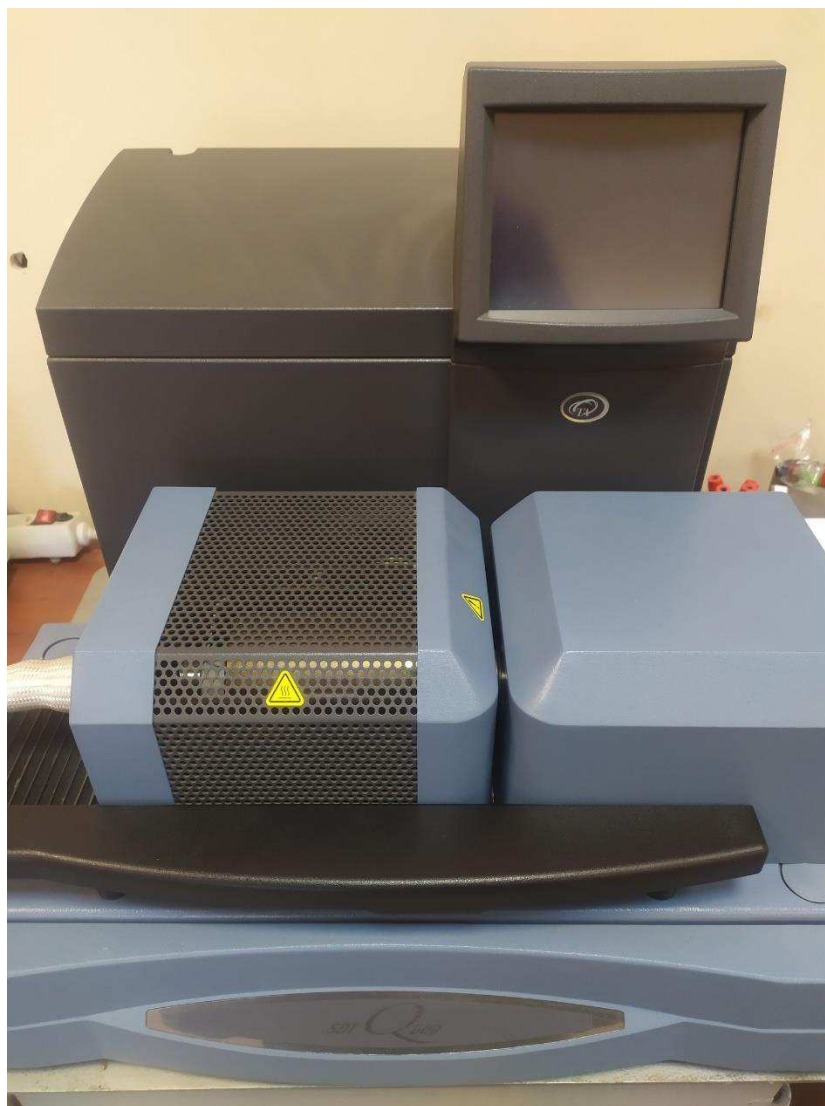


Рисунок 10 - Синхронный термоанализатор SDT Q600

Кривые TG, DTG, снимали для навесок топлив массой 6.0 ± 0.25 мг в потоке воздуха с расходом 50 мл/мин. при скорости нагрева 20 °C/мин. Основные характеристики горения определяли путем анализа кривых TG и DTG, полученных из Universal Analysis 2000 (программное обеспечение V5.5.24 от TA Instruments-Waters LLC, New Castle, DE, USA).

Горение исследуемых образцов представлено кривыми TG и DTG на рисунке 11 и 12.

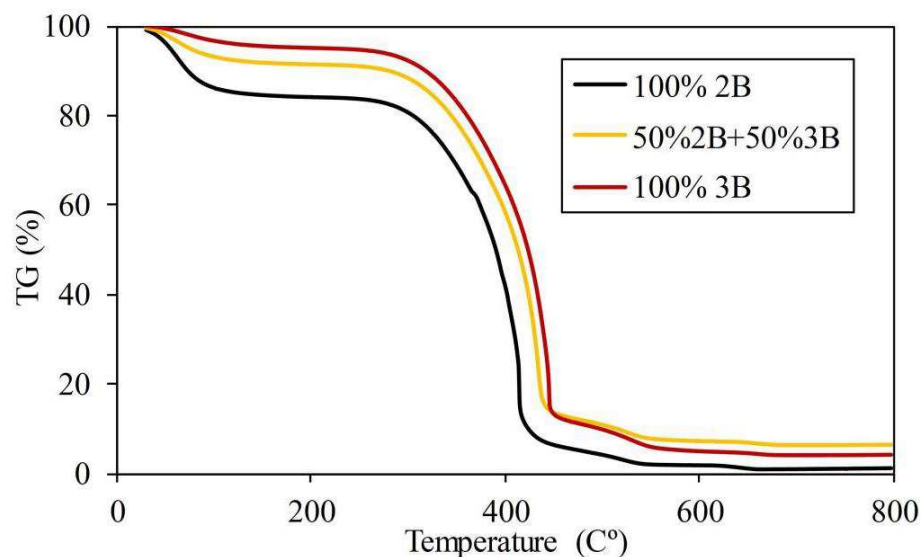


Рисунок 11 - Кривые потери массы бурых углей и их смесей;

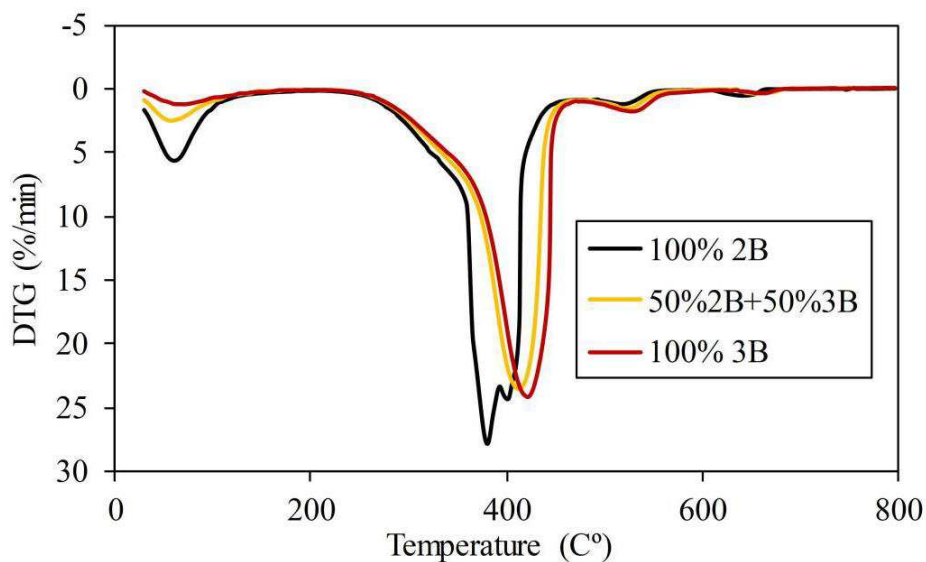


Рисунок 12 – Кривые дифференциальной потери массы бурых углей и их смесей

Характеристики горения топлив представлены в таблице 19.

Таблица 19 - Характеристики горения топлив

| | T_i , °C | T_{max} , °C | T_e , °C | R_{max} , %/МИН | R_{mean} , %/МИН | $S \times 10^{-7}$ |
|-------------|------------|----------------|------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| 2B | 332 | 381 | 656 | 27,86 | 2,96 | 11,4 |
| 50%2B+50%3B | 354 | 414 | 671 | 23,46 | 3,5 | 9,7 |
| 3B | 358 | 422 | 672 | 24,20 | 3,29 | 9,2 |

Самая низкая температура зажигания у 2В равная 332 °С, у 3В равная 358 °С. Высокое значение максимальной скорости потери массы 27,86 %/мин и низкая температура, соответствующая этой скорости, обеспечивает углю 2В высокий индекс горения равный $11,4 \times 10^{-7}$, так как значение температуры соответствующей максимальной скорости потери массы обычно считается обратно пропорциональным реакционной способности и горючести образца.

Профиль кривой горения твердотопливной смеси (50%2В+50%3В) смещается в область более высоких температур, ближе к профилю кривой 3В. Теплота сгорания смеси равна 18,41 МДж/кг (4393 Ккал/кг).

2.4 Расчёт расхода топлива котельного агрегата при горении топливных смесей

Номинальное количество израсходованного топлива в условном исчислении, тонн/час:

$$B_{\text{нат}} = \frac{Q_{\text{ка}}^{\text{бр}}}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} \cdot 7000 \cdot 10^3} = \frac{95,2 \cdot 10^9}{0,919 \cdot 7000 \cdot 10^6} = 14,80 \quad (143)$$

Номинальное количество израсходованного угля Б2 для сжигания в котле, тонн/час:

$$B_{\text{Б2}} = \frac{Q_{\text{ка}}^{\text{бр}}}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} \cdot Q_i^r \cdot 10^3} = \frac{95,2 \cdot 10^9}{0,919 \cdot 3900 \cdot 10^6} = 26,56 \quad (144)$$

Номинальное количество израсходованной смеси углей 50% Б2 и 50% Б3 для сжигания в котле, тонн/час:

$$B_{\text{смеси}} = \frac{Q_{\text{ка}}^{\text{бр}}}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} \cdot Q_i^r \cdot 10^3} = \frac{95,2 \cdot 10^9}{0,919 \cdot 4393 \cdot 10^6} = 23,58 \quad (145)$$

Расчёт массы золы, вносимой с углём Б2 в котельный агрегат за час, тонн/час:

$$G_A^{B2} = B_{\text{нат}} \cdot A^d = 26,56 \cdot 0,073 = 1,94 \quad (146)$$

Расчёт массы золы, вносимой смесью углей 50% Б2 и 50% Б3 в котельный агрегат за час, тонн/час:

$$G_A^{\text{см}} = B_{\text{нат}} \cdot A^d = 26,56 \cdot 0,0675 = 1,79 \quad (147)$$

3 Технические решения при переходе на сжигание непроектных топлив

3.1 Разработка решений по уменьшению шлакования

Канско-ачинские угли обладают особенно высокой склонностью к шлакованию. Это приводит к снижению КПД брутто котлов, ограничению их тепловой нагрузки и даже аварийным остановам из-за золошлаковых отложений на радиационных, полурadiационных и конвективных поверхностях нагрева.

Начало образования отложений связано с появлением первичного, прочного слоя, по мере его утолщения повышается температура слоя и повышается осаждение частиц на границу отложений. Таким образом происходит шлакование поверхностей нагрева.

Как уже было сказано, для очистки от отложений экранных поверхностей нагрева топки на котле БКЗ-160-1,4-5. применяются аппараты водяной обдувки типа ОВД в количестве 2 штук, устанавливаемые на боковых стенах топки, а для очистки от отложений испарительных ширм и конвективного пароперегревателя применяются глубоководные паровые обдувочные аппараты типа ОГ в количестве 8 штук. Для очистки от отложений поверхностей нагрева, расположенных в опускном газоходе, применяется установка дробевой очистки. Транспорт дроби осуществляется воздухом при помощи воздуходувных машин. Подача дроби в опускной газоход котла осуществляется с помощью трех пневморазбрасывателей, расположенных на задней стене опускного газохода.

При переходе с угля Б2 на непроектное топливо - перспективную смесь, состоящую из 50% бородинского и 50% балахтинского согласно предварительной оценки склонности к шлакованию видно, что:

- ранг склонности к образованию железистых отложений также будет очень высоким, но склонность повысится на 10%;
- ранг склонности к образованию загрязнений на базе активных щелочей также будет меньше значения низкого уровня, но повысится на 50%;

- уровень склонности к образованию сульфатно-кальциевых отложений будет высоким, но значение склонности понизится на 10%;
- результаты расчёта комплексного показателя склонности к шлакованию топочных экранов показали очень высокую склонность к шлакованию, увеличение составило 2,5%;
- значение температур начала шлакования изменилось на 0,25 градуса Цельсия.

Для сохранения тепловой нагрузки котла и исключения остановов при повышении склонности к шлакованию предлагается установить ещё 2 аппарата водяной обдувки типа ОВД, на фронтальную и заднюю стену топки, кроме установленных на боковые части аппаратов. На испарительные ширмы и ширмы конвективного пароперегревателя предлагаем добавить глубоководные паровые обдувочные аппараты типа ОГ в количестве 2 штук.

3.2 Хранение топлив

Доставка твердого топлива на ТЭЦ осуществляется железнодорожным транспортом, вагоны взвешиваются и направляются в разгрузочное устройство, оно может быть с целевым бункером для нижней разгрузки или в виде стационарного вагопрокидывателя при расходе угля более 100 т/ч. После приёмного устройства уголь поступает в дробилку для грубого измельчения, металлические примеси улавливаются магнитными сепараторами. Далее с помощью ленточных конвейеров, установленных по одному на каждый вагопрокидыватель, топливо попадает в узел пересыпки, а с него на угольный склад, хранение топлива на котором осуществляется в виде штабелей.

Угольный склад обеспечивают резерв топлива и устраняют разницу между расходом и объёмом поставки топлива, его вместимость выбирается в зависимости от удалённости станции от угольных разрезов и шахт:

- при расположении в районе добычи, т.е. на расстоянии до 40 км, вместимость склада принимается равной 7-суточному расходу топлива всех котлов при работе их в течении 24 часов;
- при нахождении далее 40 км от мест добычи, но менее 100 км, объём склада выбирается равным 15-суточному расходу топлива;
- в общем случае объём склада принимается равным 30-суточному расходу топлива на станции.

Для складов с запасом более 100 тыс. т время хранения топлива устанавливается: 0,4-0,5 года для бурых углей; 2-6 лет для каменных углей, в зависимости от устойчивости к самовозгоранию.

К топливным складам выдвигаются следующие требования:

- максимальная механизация погрузочно-разгрузочных работ;
- высокая надёжность и готовность работы механизмов в любое время суток;
- основные механизмы должны обеспечить часовую производительность по выдаче топлива со склада, равную 100%-ной часовой потребности котельной в топливе;
- хранение на складах должно осуществляться согласно требованиям пожарной охраны, техники безопасности и санитарных норм;
- потери топлива на складе должны быть минимальны.

Поэтому при хранении топлива на складе нужно организовать постоянное наблюдение и обслуживание. Проводится контроль температуры внутри штабеля, при её росте выше 60 °С топливо со склада сразу отправляют в тракт топливоподачи к котлам. Для устранения самовозгорания угля на складе штабели и их откосы утрамбовывают бульдозерами и катками. Хранение топлив разных сортов должно осуществляться отдельно для предупреждения самовозгорания и контроля смешения топлив, засорение посторонними примесями при этом недопустимо.

3.3 Способы организации смешения

На большинстве отечественных ТЭС уголь, поставляемый от нескольких поставщиков отправляется на сжигание попеременно или в виде неконтролируемой смеси. Подготовка однородной смеси практикуется редко из-за отсутствия современного оборудования для усреднения на угольных складах или оперативного контроля качества поступающего угля.

Добиться качественного смешения возможно с использованием имеющегося оборудования при наличии системы оперативного входного контроля и закладки штабеля, и отдельного складирования углей разных поставщиков.

Усреднение углей на складе может быть достигнуто при наличии бульдозера и системы контроля, но они применимы для использования угольных смесей в равной пропорции и/или в случае допустимости отклонения пропорции от равной. Более точное образование смеси без серьёзных технических изменений оборудования или его замены возможно на линии подачи углей со склада. После склада угли отдельно поступают в грохоты и тонко размалываются в дробилках. Из дробилок транспортёры переносят их на автоматические весы, согласно показания которых можно добиться образования смесей разных пропорций с большей точностью, чем непосредственно на угольном складе.

4 Технико-экономическое обоснование перехода на непроектные топлива

4.1 Краткая характеристика методики обоснования перехода непроектного топлива

Технико-экономическая оценка перехода на непроектные угли заключается в определении разницы затрат на количество израсходованного топлива в натуральном исчислении, а также разницы внесённого количества золы в котлы и позволяет оценить выгоду в денежном эквиваленте с применения различных видов топлив и их смесей.

Стоимость сжигаемого на котле угля за сутки можно найти как:

$$S = P \cdot B \cdot 24 \quad (148)$$

где P – цена угля, рублей за тонну;

B – расход угля на котле, тонн/час.

Стоимость сжигаемой на котле угольной смеси за сутки можно найти как:

$$S = \left(P_1 \cdot \frac{C_1}{100} + P_2 \cdot \frac{C_2}{100} \right) \cdot B_{\text{см}} \cdot 24 \quad (149)$$

где P_1 – цена первого угля, рублей за тонну;

P_2 – цена второго угля, рублей за тонну;

C_1 – процент содержания первого угля в смеси;

C_2 – процент содержания второго угля в смеси;

$B_{\text{см}}$ – расход угольной смеси на котле, тонн/час.

Разница в стоимости сжигаемых на котле углей за сутки:

$$\Delta S = S_2 - S_1 \quad (150)$$

где S_2 – стоимость сжигаемого на котле нового угля или смеси за сутки, рублей;

S_1 – стоимость сжигаемого на котле нового угля, рублей.

Разность массы внесённой в котёл золы за сутки

$$\Delta G_A = (G1_A - G2_A) \cdot 24 \quad (151)$$

где $G1_A$ – масса золы, вносимой с первым топливом в котельный агрегат за час;

$G2_A$ – масса золы, вносимой со вторым топливом в котельный агрегат за час.

4.2 Результаты методики обоснования по переводу ТЭЦ на сжигание другого угля

Стоимость сжигаемого на котле бородинского угля, при стоимости 1900 рублей за тонну.

$$S = P_{Б2} \cdot B_{Б2} \cdot 24 = 1900 \cdot 26,56 \cdot 24 = 1211136 \text{ руб/сут} \quad (152)$$

Стоимость сжигаемой на котле смеси углей, если балахтинский уголь имеет цену 2300 рублей за тонну.

$$S = \left(1900 \cdot \frac{50}{100} + 2300 \cdot \frac{50}{100}\right) \cdot 23,58 \cdot 24 = 1188432 \text{ руб/сут} \quad (153)$$

Экономия между проектным топливом и угольной смесью на котле за сутки:

$$\Delta S = 1211136 - 1188432 = 22704 \text{ руб/сутки} \quad (154)$$

Уменьшение массы внесённой в котёл золы при переходе на непроектное топливо за сутки:

$$\Delta G_A = (G_A^{B2} - G_{2,A}) \cdot 24 = (1,94 - 1,79) \cdot 24 = 3,6 \quad (155)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При переходе на непроектное топливо, необходимо учитывать месторасположение угольных месторождений, технический и химический состав углей, склонность углей к шлакованию топочных экранов котлов, основные характеристики горения угольной смеси и технико-экономические показатели. Проведенная оценка возможности перехода к сжиганию непроектного топлива на угольной ТЭЦ показала следующее:

1. В ближайшие десятилетия производство тепла и электроэнергии в Красноярском крае будет осуществляться путем сжигания углей Канско-Ачинского угольного бассейна. В г. Красноярске все теплоэлектростанции работают на бородинском угле марки Б2, для его замещения можно использовать балахтинский уголь марки Б3, который имеет низкую влажность, низкую зольность, высокую теплоту сгорания по сравнению с бородинским углем.
2. Полный переход на сжигание балахтинского угля затруднен отсутствием возможности доставлять уголь железнодорожным транспортом в связи с чем была определена экономически целесообразная угольная смесь, состоящая из 50% бородинского и 50% балахтинского углей.
3. По результатам термогравиметрического анализа температура зажигания твердотопливной смеси увеличилась на 22 °С по сравнению с бородинским бурым углем, температура выгорания увеличилась на 15 °С, индекс горения снизился на 18%. Теплота сгорания твердотопливной смеси увеличилась на 13%, по сравнению с бородинским углем. Увеличение теплоты сгорания смеси позволит снизить общий расход топлива при ее сжигании в котле.
4. При переходе с угля Б2 на непроектное топливо согласно предварительной оценки общая склонность к образованию отложений осталась очень высокой:
 - склонности к образованию железистых отложений повысится на 10%;

- склонность к образованию загрязнений на базе активных щелочей повысится на 50%;
- значение склонности к образованию сульфатно-кальциевых отложений склонности понизится на 10%;
- результаты расчёта комплексного показателя склонности к шлакованию топочных экранов показали его увеличение на 2,5%;
- значение температур начала шлакования понизилось на 0,25 градуса Цельсия.

Поэтому для сохранения тепловой нагрузки котла и исключения остановов при повышении склонности к шлакованию предлагается установить ещё 2 аппарата водяной обдувки типа ОВД, на фронтальную и заднюю стену топки, на испарительные ширмы и ширмы конвективного пароперегревателя предлагается добавить глубоководные паровые обдувочные аппараты типа ОГ в количестве 2 штук.

5. Хранение топлив разных сортов должно осуществляться отдельно для предупреждения самовозгорания и контроля смешения топлив, засорение посторонними примесями при этом недопустимо. Грубое усреднение углей может быть достигнуто на складе при наличии бульдозера и системы контроля, а более точное образование смесей без серьёзных технических изменений оборудования возможно на линии подачи углей со склада после взвешивания углей на автоматических весах.
6. В ходе технико-экономического анализа была определена экономия при переходе на непроектные топлива равная 22704 рублей в сутки с одного котла и уменьшение массы вносимой в котёл золы на 3,6 тонн, что сократит валовые выбросы золы на 8% при тех же условиях золоулавливания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Российская Федерация. Указы. О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации № 642 : [принят канцелярией Президента Российской Федерации 1 декабря 2016 года, в редакции президента от 15.03.2021 №143]. – Москва : Кремль.
2. Скуратов, А. П. Топочные процессы при сжигании шлакующих канско-ачинских углей : монография / А. П. Скуратов, С. Г. Козлов. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2021. – 172 с. ISBN 978-5-7638-4549-5
3. Алехнович, А. Н. Характеристики и свойства энергетических углей / А. Н. Алехнович. – Челябинск : Цицеро, 2012. – 549 с.: ил. – ISBN 978-5-91283-284-0.
4. Кудряшова А. Н., Мехряков А. Д., Кочеткова О. Н. Особенности совместного сжигания угля и древесных отходов // Системы. Методы. Технологии. 2017. №1. С. 78-84. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-1-78-84
5. Pradhan, P., Mahajani, S. M., Arora A. Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review. Fuel Processing Technology. 181 (2018) 215-232. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.09.021>
6. Chansa, O., Luo, Z., Yu, C. Study of the kinetic behaviour of biomass and coal during oxyfuel co-combustion. Chinese Journal of Chemical Engineering. 28 (2020) 1796–1804. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.02.023>
7. Сосин Д. В., Литун Д. С., Рыжий И. А., Штегман А. В., Шапошников Н.А. Опыт сжигания лузги подсолнечника в пылеугольных котлах Кумертауской ТЭЦ // Теплоэнергетика. 2020. №1. С. 15-22. DOI: 10.1134/S0040363619120099
8. Алехнович А. Н. Прогнозирование и контроль шлакования котлов: диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук: 04.04.95. Челябинск: УралВТИ, 1995. 70 с.
9. Энергетические угли восточной части России и Казахстана (справочник). Челябинск: УралВТИ, 2004. 304 с.

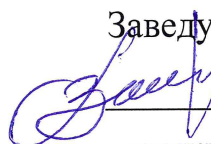
10. Алехнович А. Н. Шлакование энергетических котлов: учеб. пособие. Челябинск: ЧФПЭИПК, 2006. 129 с.
11. Уэндландт, У. У. Термические методы анализа [Текст] / Пер. с англ. под ред. В.А. Степанова, В. А. Берштейна. - Москва : Мир, 1978. - 526 с.
12. J. M. Oladejo, S. Adegbite, C. H. Pang, H. Liu, A. M. Parvez and T. Wu. *Appl. Energy*. 188, 215–225 (2017).
13. C. Moon, Y. Sung, S. Ahn, T. Kim, G. Choi and D. Kim. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 47, 232–240 (2013).
14. M. Seggiani, S. Vitolo, M. Pastorelli and P. Ghetti. *Fuel*. 86, 1885–1891 (2007).
15. H. Liu, S. Gong, C. Jia and Q. Wang. *J Therm Anal Calorim.* 127, 2531–2544 (2017).
16. C. Wang, F. Wang, Q. Yang and R. Liang. *Biomass Bioenergy*. 33, 50–56 (2009).
17. X. G. Li, B. G. Ma, L. Xu, Z-W. Hu and X-G. Wang. *Thermochim. Acta*. 441, 79–83 (2006).
18. S. Zheng, Y. Hu, Z. Wang and X. Cheng. *J. Energy Inst.* 93, 1373–1381 (2020).
- A. Bala-Litwiniak and M. Zajemska. *Renew. Energy*. 162, 151–159 (2020).
19. The research of combustion of solid fuel mixture based on low degree coals of metamorphism of the Kansko-Achinsky coal basin. / A. V. Zhuikov, N. A. Zemlyanskiy, S. V. Chicherin, L. R. Junussova, A. A. Yelemanova, I. I. Grishina // *Phys.: Conf. Ser.* - 2021 - № 2211 012001 – С. 5
20. Проблемы перевода угольных ТЭЦ на непроектные топлива / А. И. Матюшенко, А. В. Жуйков, Н. А. Землянский, Д. А. Логинов // *Промышленная энергетика.* – 2022. - №4 – С. 36.
21. Предварительная оценка возможности перевода котлов тепловых электростанций на сжигание альтернативного угля / М. Н. Майданик, Э. Х. Вербовецкий, А. Н. Тугов // *Теплоэнергетика.* – 2021. - №9 – С. 33-42.

22. Абрютин А. А. Тепловой расчёт котлов : нормативный метод / А. А. Абрютин, Э. С. Карасина, Р. А. Петросян , В. Н. Фомина, А. Г. Блох, С. И. Мочан, В. С. Назаренко, Е. К. Чавчанидзе – 3-е изд., пер. и доп. – Санкт-Петербург, 1998. – 261 с.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра теплотехники и гидрогазодинамики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



В.А. Кулагин

подпись инициалы, фамилия

«22» июня 2022 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

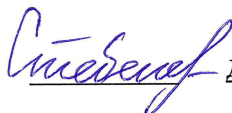
13.03.01. Теплоэнергетика и теплотехника

код – наименование направления

Применение непроектного топлива на угольных ТЭЦ

тема

Руководитель



доцент, канд. техн. наук

Стебелева О.П.

подпись, дата

должность, ученая степень

инициалы, фамилия

Выпускник



подпись, дата

Землянский Н.А.

инициалы, фамилия

Красноярск 2022