

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

В.А. Дубровский, М.В. Зубова

**Энергосберегающие системы
растопки и подсветки факела
топочных камер котлов**

Монография

Красноярск
СФУ
2012

УДК 621.181.02:621.31

ББК 31.361

Д79

Рецензенты:

В.А. Охорзин, д-р техн. наук, проф., чл.-кор. АН ВШ, проф. каф. прикладной математики Сибирской аэрокосмической академии;

В.Н. Чурашов, канд. экон. наук, доц., зав. сектором института экономики и промышленного производства СО РАН

Дубровский, В.А.

Д79 Энергосберегающие системы растопки и подсветки факела топочных камер котлов: монография / В.А. Дубровский, М.В. Зубова. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – 000 с.

ISBN 978-5-7638-2397-4

Приведены результаты анализа исследований, технических предложений и разработок по безмазутной растопке котлов на современных тепловых электростанциях, работающих на каменных и бурых углях. Рассмотрена системная оценка экономической эффективности наиболее перспективной технологии термической подготовки углей Канско-Ачинского бассейна для организации эколого-энергосберегающей технологии безмазутной растопки и подсветки факела топочных камер котельных агрегатов и перспектив её тиражирования.

Предназначено для научных работников, аспирантов, а также может быть использовано студентами энергетических специальностей Вузов.

УДК 621.181.02:621.31

ББК 31.361

ISBN 978-5-7638-2397-4

ISBN **вставить**

© Сибирский федеральный университет, 2011

© **(вставить)**

© В.А.Дубровский,
М.В.Зубова

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО БЕЗМАЗУТНОЙ РАСТОПКЕ И ПОДСВЕТКЕ ФАКЕЛА ТОПОЧНЫХ КАМЕР КОТЛОВ	6
1.1. Технические предложения по организации электрорастопки котельных агрегатов	6
1.2. Плазменная технология	14
1.3. Термоциклонные предтопки НГТУ	27
1.4. Система муфельной растопки УГТУ-УПИ	29
1.5. Технология термической подготовки углей для организации безмазутной растопки и подсветки факела топочных камер котлов, разработанная в ПИ СФУ	35
1.5.1. Принципиальные схемы термической подготовки углей для организации безмазутной растопки и подсветки факела топочных камер котлов	35
1.5.2. Опытно-промышленный образец муфельного предтопка на котле БКЗ-420 красноярской ТЭЦ-2	95
1.5.3. Система термоподготовки для котлов Томь-Усинской ГРЭС	97
1.5.4. Универсальное горелочное устройство для котлов ПК-40-1 Беловской ГРЭС	100
1.5.5. Универсальная всережимная горелка для котлов БКЗ-420 Красноярской ГРЭС-2	104
1.5.6. Схемы подачи угольной пыли от бункеров котла к муфельным горелкам	107
1.6. Разработки Германии по безмазутной растопке котлов	117
2. СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ УГЛЕЙ КАБАССа и ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ЕЕ ТИРАЖИРОВАНИЯ	120
2.1. Методологические и методические основы экономической оценки эффективности инвестиций в инновационные технологии	120
2.1.1. Особенности оценки эффективности инновационных проектов в энергетике	120
2.1.2. Методический инструментарий оценки эффективности инвестиций в инновационные энергетические технологии	127

2.2. Экологическая оценка технологии безмазутной растопки котельных агрегатов (БМРК)	148
2.3. Определение перспектив тиражирования технологии термической подготовки КАУ на пылеугольных ТЭС России.....	151
2.3.1. <i>Формирование исходных параметров для определения масштабов тиражирования технологий</i>	151
2.3.2. <i>Экономические последствия тиражирования технологии термической подготовки КАУ на пылеугольных ТЭС</i>	153
2.4. Экономическая оценка целесообразности внедрения системы безмазутной растопки котлов (БМРК)	157
2.4.1. <i>Финансово-экономическая оценка коммерческой эффективности инвестиционного проекта БМРК</i>	157
2.4.2 <i>Анализ проектных рисков</i>	165
2.5. Оценка бюджетной эффективности освоения технологии БМРК	177
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	181
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	183

ПРЕДИСЛОВИЕ

Энергоресурсосбережение – один из важнейших стратегических ориентиров долгосрочной государственной политики Российской Федерации. В энергетической стратегии России предусмотрено, что до 2020 г. реально реализовать снижение удельной энергоемкости за счет использования технологического энергосбережения до 35 %.

Для повышения эффективности воспламенения и стабилизации процесса горения углей на тепловых электростанциях обычно используют высококалорийное жидкое топливо – мазут (в объеме 10–20 % от расхода угля). Ежегодно на пылеугольных ТЭС России расходуется более 5 млн тонн мазута для растопки котлов, подсветки факела и стабилизации выхода жидкого шлака. В настоящее время цена мазута продолжает неуклонно расти. При этом ощущается острый дефицит мазута.

Поэтому, как никогда, актуальна замена мазута при растопке и подсветке факела котельных агрегатов углями, цена которых более чем на порядок ниже жидкого топлива – мазута.

Предложенная монография посвящена анализу технических предложений и разработок по безмазутной растопке котлов на современных тепловых электростанциях, работающих на каменных и бурых углях.

Результаты исследований, изложенные в данной монографии, могут быть использованы при проектировании оборудования тепловых электростанций, сжигающих бурые и каменные угли.

Материал книги с методической точки зрения представляет интерес для аспирантов и студентов экономикатеплоэнергетических факультетов вузов.

Авторы выражают огромную благодарность и глубокую признательность всем сотрудникам кафедры «Тепловые электрические станции» ПИ СФУ и лаборатории «Термическая подготовка углей», принимавшим активное участие в проведении работ, изложенных в книге.

1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ ПО БЕЗМАЗУТНОЙ РАСТОПКЕ И ПОДСВЕТКЕ ФАКЕЛА ТОПОЧНЫХ КАМЕР КОТЛОВ

1.1. Технические предложения по организации электрорастопки котельных агрегатов

До 1950-х гг. XX в. в нашей стране мазут был дефицитным и использовался только для растопки мощных котлов на ТЭС, сжигающих низкосортные угли или антрациты.

По этой причине для экономии мазута при растопке котлов широкое распространение получили растопочные муфельные горелки. Они представляли собой небольшую слоевую топку с колосниковой решеткой. При растопке в эту муфельную горелку загружались уголь или дрова. После того как внутренние стенки муфеля раскалились, в муфель подавался угольная пыль. Высокая температура в муфеле обеспечивала не только воспламенение, но и надежное горение пыли, поступающей далее в топку.

Наглядным примером могут выступать муфельные предтопки, которыми оборудованы все котлы Красноярской ТЭЦ-1, Южно-Кузбасской и Южно-Уральской ГРЭС. На этих ТЭС никогда не было мазутного хозяйства. Опыт использования этих муфельных предтопок доказал возможность растопки пылеугольных котлов без мазута, хотя культура их обслуживания оставляет желать лучшего. Поэтому на сегодняшний день подобные конструкции растопочных горелок практически не имеют распространения на тепловых электрических станциях России, в связи с чем потребовалась разработка новых технологий безмазутной растопки котлов.

На Красноярской ТЭЦ-1 в 1943–1959 гг. были установлены котлы Подольского котлостроительного завода для сжигания бурого угля

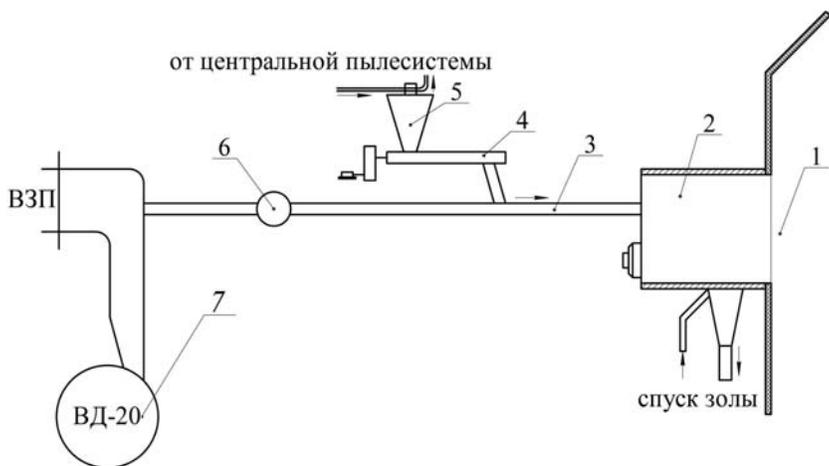


Рис. 1.1. Начальная схема системы электрорастопки котлов
Красноярской ТЭЦ – 1:

1 – топочная камера котла; 2 – муфельный предтопок; 3 – пылепровод; 4 – питатель угольной пыли; 5 – бункер пыли; 6 – дутьевой вентилятор; 7 – вентилятор высокого давления

Канско-Ачинского бассейна с муфельными растопочными горелками. Эти горелки представляли собой небольшой предтопок с колосниковой решеткой с подводом вторичного воздуха и лазом для загрузки кускового твердого топлива.

Перед растопкой котла производился розжиг дров или угля на колосниковой решетке в муфельном предтопке. Уголь хранился рядом с предтопком на лестничной площадке и время от времени подвозился на тачке от бункера сырого угля. После нагрева стенок муфельного предтопка теплом от горящего слоя топлива в него подавалась угольная пыль от растопочных бункеров, оборудованных шнековыми питателями, с помощью потока холодного воздуха от дутьевого вентилятора (рис. 1.1).

Пылевоздушная смесь воспламенялась в предтопке, частично выгорала в нем и газифицированный поток угольной пыли поступал в объем топочной камеры котла, образуя язык пламени, который располагался над потоком пылевоздушной смеси основной горелки и поджигал эту смесь.

Главным недостатком в эксплуатации этих растопочных горелок было ручное обслуживание муфельных предтопков. Канско-ачинский уголь, используемый для растопки хранился на площадке перед му-

фелем, при этом постоянно самовозгорался, создавая опасность для обслуживающего персонала и оборудования.

Чтобы избежать подобной ситуации под руководством М. П. Федченко (Красноярская ТЭЦ-1) и профессора Красноярского политехнического института Н. А. Сеулина была апробирована целая серия запальных устройств, исключающих сжигание твердого топлива для разогрева муфельных предтопок.

Электрозапальные устройства устанавливали внутри предтопка в различных вариантах: в виде спиральных нагревателей, угольных электродов или индукционных нагревателей, смонтированных на трубопроводе подвода угольной пыли перед предтопком.

Эффект воспламенения пылевоздушной смеси в предтопке получался, но срок службы нагревателей был очень мал, так как находились они в зоне достаточно высоких температур (более 1000 °С).

Сотрудники Красноярского политехнического института совместно с сотрудниками Красноярской ТЭЦ-1 был разработан и запатентован оригинальный способ воспламенения пылевоздушной смеси (соавторы – инженер Красноярской ТЭЦ-1 М. П. Федченко и профессор Красноярского политехнического института Н. А. Сеулин [1]).

Сущность этого способа заключалась в том, что электрозапальник небольшой мощности (1,5 кВт) устанавливался не внутри предтопка, а за его пределами. Он располагался внутри трубопровода диаметром 219 мм, подводящего пылевоздушную смесь к предтопку.

Для уменьшения охлаждающего эффекта запальника холодным пылевоздушным потоком конструкция запальника была выполнена из двух трубок из легированной стали диаметром 12 мм длиной 500 мм (рис. 1.2).

Таким образом, получилось многоступенчатое воспламенение пылеугольного топлива. Первая ступень – это искрообразование в трубочках электронагревателя, вторая ступень – частичное воспламенение топлива в конце защитной трубы запальника (образовывался язык пламени), третья ступень – воспламенение пылевоздушной смеси в предтопке и частичное сгорание и газификация топлива в нем и четвертая ступень – полное сгорание топлива в топочной камере котла.

Горелку такой конструкции неоднократно модернизировали [2–8] и испытывали на различных котлах Красноярских ТЭЦ-1. Результаты испытаний позволили сделать вывод о том, что многоступенчатое воспламенение можно получать не только с электрозапальником, но и с другим видом запала (газовая горелка, мазутная форсунка или совместное газово-мазутное запальное устройство).

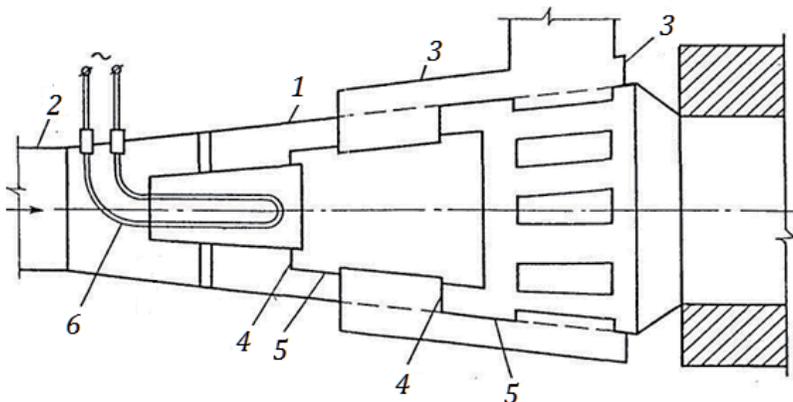


Рис.1.2. Принципиальная схема растопочной горелки
 Политехнического института Сибирского федерального университета:
 1 – корпус; 2 – осевой патрубок; 3 – боковые патрубки вторичного воздуха; 4 – радиальные зазоры; 5 – обечайка; 6 – электронагреватель

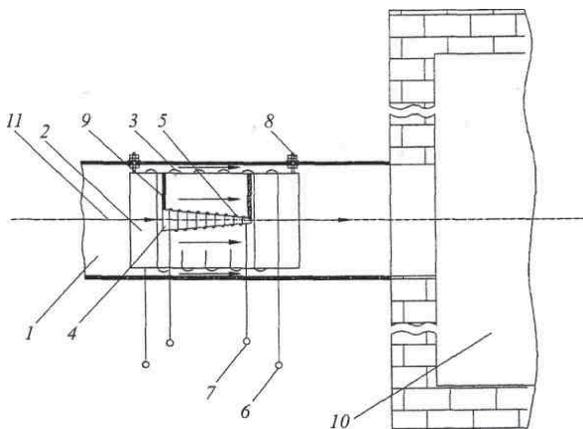


Рис. 1.3. Схема экспериментальной пылеугольной горелки
 с электрорастопочным устройством:
 1 – пылепровод; 2, 4 – делители потоков; 3, 5 – нагреватели из нихромового провода;
 6, 7 – источник тока для нагревателей; 8, 9 – крепления делителей потока; 10 – муфта;
 11 – направление потока пылевоздушной смеси

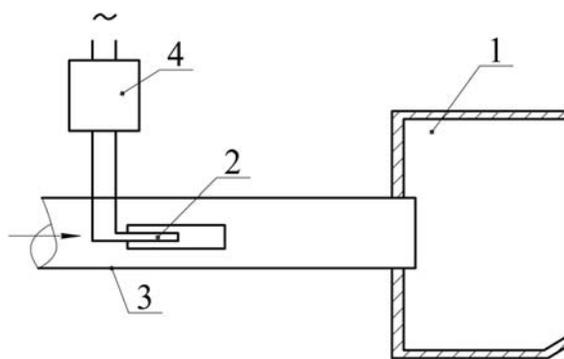


Рис. 1.4. Схема растопочной электромуфельной горелки для котлов БКЗ-420-140 Красноярской ТЭЦ-2:

1 – муфель, 2 – запально-сигнальное устройство, 3 – трубопровод, подводящий пылевоздушную смесь, 4 – трансформатор напряжения 220/15 В 500 А

В Красноярском политехническом институте под руководством профессора Ю.В. Видина была разработана, но к сожалению до сих пор не внедрена усовершенствованная конструкция горелки с применением электрорастопки для котлов Е-420-140 Красноярской ТЭЦ-2 (рис.1.3).

По мнению авторов разработки [9] модернизированное электрзапальное устройство позволит значительно сократить время нагрева никромового запальника, тем самым ускорить воспламенение пылеугольного потока и благодаря простоте конструкции горелки, значительно уменьшить затраты на её монтаж.

В Сибирском филиале Всесоюзного теплотехнического института (СибВТИ) на основе изобретения Красноярского политехнического института [1] были разработаны проекты системы безмазутной растопки для Красноярской ТЭЦ-2, Улан-Баторской ТЭЦ-3, Красноярской ТЭЦ-1.

На котле типа БКЗ-420-140 Красноярской ТЭЦ-2 по проекту СибВТИ была смонтирована система безмазутной растопки с электрзапальным устройством резисторного типа. Такие горелки состоят из корпуса, куда подается пылевоздушная смесь, и муфельной части, где происходит воспламенение воспламенение летучих веществ (рис. 1.4).

В корпусе устанавливается делитель потока (цилиндрическая трубка), в которую вставлен электрический нагреватель, выполненный из двух электродов, соединенных в конце перемычкой. На нагреватель от

сварочного трансформатора подается пониженное напряжение (12–24 В). Его эксплуатационная температура находится в пределах 650–800 °С. За время пребывания частиц угля в высокотемпературной зоне горелки, они прогреваются и частично газифицируются.

В 1988 г. была проведена опытная растопка котла на угольной пыли. Растопка показала принципиальную возможность обеспечения устойчивого воспламенения угольной пыли и стабильного горения растопочного пылеугольного факела в топке холодного котла. Но при этом наблюдалось превышение температуры металла первой ступени и потолочного пароперегревателя сверх предельно допустимой величины – 450 °С, а продолжительность растопки в два раза превышала нормативную. Это стало следствием того, что проектный объем муфельной части горелки был в несколько раз меньше необходимого, а концентрация растопочной азросмеси была необоснованно занижена. В проекте не были решены вопросы резервирования бункеров пыли от соседних работающих котлов, управление растопкой котла со щита. Дальнейшую работу по доведению системы безмазутной растопки до сдачи ее в промышленную эксплуатацию сотрудники СибВТИ не проводили, а начали новую работу под названием «Разработка и внедрение модуля автономной системы растопки котлов» на базе Красноярской ТЭЦ-1, где сохранены муфельные горелки, а мазутного хозяйства никогда не было.

Простота конструкции, и относительно низкая температура нагревателя позволяют увеличить надежность работы по сравнению с плазменной горелкой. Однако сравнительно низкая температура и малое время пребывания угольной пыли в зоне термообработки не могут обеспечить полный выход летучих и воспламенения коксовой основы. Последнее происходит уже в топочной камере, процесс горения затягивается, что уменьшает скорость растопки, а в некоторых случаях повышается температура газов в области пароперегревателя выше допустимой.

В 2005 г. в СибВТИ был разработан проект для водогрейных котлов КВТК-100 ФГУП «Красмаш» системы безмазутной растопки и подсветки факела с отбором пыли бородинского угля ($Q^r_i = 3800$ ккал/кг, $W^r = 33,0$ %, $V^{daf} = 46,6$ %) от собственных мельниц МВ-1600/400/980.

При замене мазута эквивалентным количеством угольной пыли на котельной ФГУП «Красмаш» решались следующие задачи:

- надёжный отбор, безопасное хранение и транспортировка высоко-реакционной угольной пыли в муфельные горелки;
- воспламенение готового пылевоздушного потока надёжным и экономичным электрозапальным устройством;

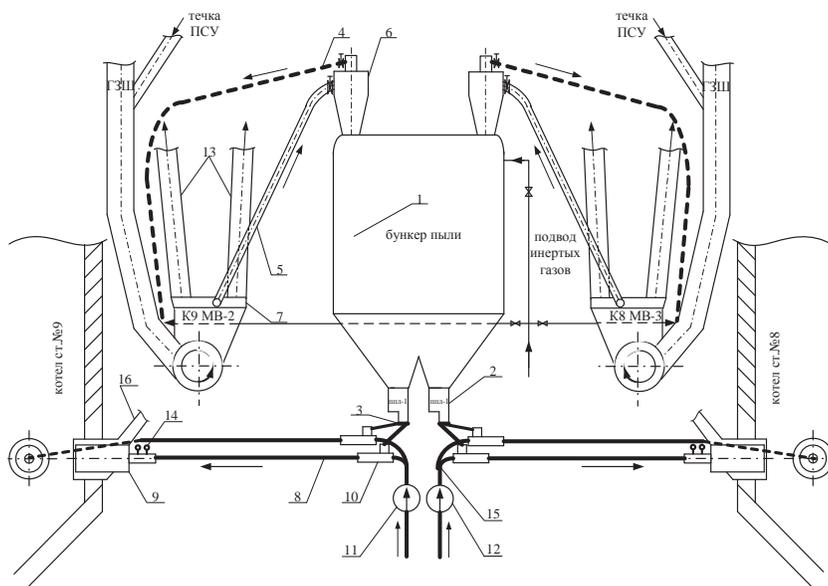


Рис. 1.5. Принципиальная схема системы безмазутной растопки водогрейных котлов КВТК-100 ст. №8, 9 с МВ 1600 котельной ФГУП «Красмаш»

– компоновка растопочных муфелей на котлах КВТК-100 с наименьшими конструктивными изменениями топки и более эффективным использованием растопочных муфелей для растопки и подсветки факела в топке;

– автоматизация системы контроля и регулирования системы безмазутной растопки и подсветки факела.

Система безмазутной растопки и подсветки факела (СБРП), спроектированная СибВТИ для котельной ФГУП «Красмаш» представлена на рис. 1.5.

Система безмазутной растопки и подсветки факела котлов ст. № 8–9 состоит из двух растопочных пылесистем. Каждая из растопочных пылесистем включает в себя следующие элементы: бункер пыли (1), два лопастных пылепитателя (2), две течки (3), два сбросных пылепровода в ГЗШ (4), пылепроводы отбора пыли из основных пылесистем (5), циклон (6), растопочные пылепроводы к муфельным горелкам (8), две муфельные пылеугольные горелки (9), два смесителя пыли (10), два запальных

устройства (14), трубопровод подвода транспортирующего воздуха от дутьевых вентиляторов (15). Основное оборудование системы (бункер пыли, циклоны, пылепитатели) расположено с фронта между котлами ст. № 8 и 9.

В отличие от других схем, предложенных учёными СибВТИ, здесь не используется дополнительный мельничный вентилятор для отбора угольной пыли из пылесистемы, а система работает за счет разряжения создаваемого одной из мельниц вентиляторов котла.

Наработка растопочной угольной пыли в бункер осуществляется путем отбора её из выходного патрубка сепаратора мельницы-вентилятора одной из работающих пылесистем. Далее аэросмесь под давлением, создаваемым мельницей, подается в циклон, где происходит отделение пыли от транспортирующего агента. Пыль из циклона попадает в бункер пыли. Отработавший транспортирующий агент по сбросному пылепроводу благодаря разрежению, создаваемому мельницей, сбрасывается в нижнюю часть газозаборной шахты перед входом в мельницу. За счет этого получается замкнутая по пыли система. Бункер пыли имеет цилиндрическую форму и рассчитан на внутреннее давление 0,35 МПа. В целях повышения меры пожаровзрывобезопасности в соответствии с «Правилами пожаровзрывобезопасности...» (РД 153-34.1-03.352-99) в верхнюю часть бункера предусмотрен подвод углекислоты. При подсветке и растопке котлов ст. №№ 8–9, пыль из пылевого бункера подается лопастными пылепитателями по течкам в смесители, где она смешивается с транспортирующим воздухом, подаваемым от штатных дутьевых вентиляторов после коллектора воздуха, и транспортируется по растопочному пылепроводу в муфельные горелки котлов ст. №№ 8–9. В муфельной горелке происходит ее воспламенение от предварительно разогретого до 800–900 °С электрзапальника резисторного типа. Воспламенившийся поток аэросмеси поступает через амбразуру муфельной горелки в топку и производит подсветку основной горелки. При этом происходит разогрев обмуровки муфеля и при достижении температуры 700–800 °С электрзапальник отключается. Муфельные горелки расположены под основными горелками, что позволяет устойчиво поддерживать горение основного факела. Принятое в проекте расположение муфельных горелок позволит кроме стабилизации факела дожигать сепарировавшуюся из основных горелок угрубленную пыль ($R_{1000} \geq 1,0\%$) и снизить механический недожог, который наблюдается на котлах КВТК-100. Схема рассчитана на длительную и непрерывную работу.

Экономический эффект от внедрения установки, обеспечивающей подачу специально подготовленной в муфельных горелках уголь-

ной пыли в топку двух котлов КВТК-100 для организации безмазутной растопки и подсветки факела взамен мазута по результатам экспресс-оценочного расчета с учетом экономии топлива для подсветки факела, составит более 10 млн руб. в год при сроке окупаемости около одного года.

Однако следует отметить, что эта разработка по целому ряду причин не получила промышленного использования.

1.2. Плазменная технология

Вытеснение мазута и природного газа из топливного баланса пылеугольных ТЭС путем их замещения низкосортными углями является наиболее актуальной проблемой теплоэнергетики.

В отраслевой программе Минэнерго СССР предусматривалась разработка плазменных растопочных горелок для поджигания низкосортных топлив и антрацита (исполнитель КазНИИэнергетики). Плазменные горелки состояли из продольной камеры, через которую в котел подается пылевоздушная смесь. Вдоль камеры размещены два стержневых электрода, между которыми с помощью подвижного плазмотрона-запальника возбуждается мощная электрическая дуга. Последняя нагревает пылевоздушную смесь. Выделяющиеся летучие воспламеняются. Температура газовой струи на выходе из плазмотрона составляет 3500–5400 °С. При такой температуре очень быстро происходит не только термическое разложение топлива и воспламенение летучих, но и воспламенение коксовой основы (рис.1.6).

После выхода такой струи в топочную камеру происходит устойчивое горение факела. Однако высокая температура вызывает быстрый износ стержневых электродов, требуется частая их замена. Для работы плазменной горелки необходима система водогазоснабжения, а также достаточно сложная система преобразования энергии. Это усложняет и значительно удорожает установку.

Сотрудниками института проблем горения (Алматы) и Отраслевого центра плазменно-энергетических технологий РАО «ЕЭС России» разработали новую плазменно-топливную систему (ПТС) для безмазутной растопки котлов, стабилизации пылеугольного факела с одновременным снижением механического недожога топлива и образования оксидов азота.

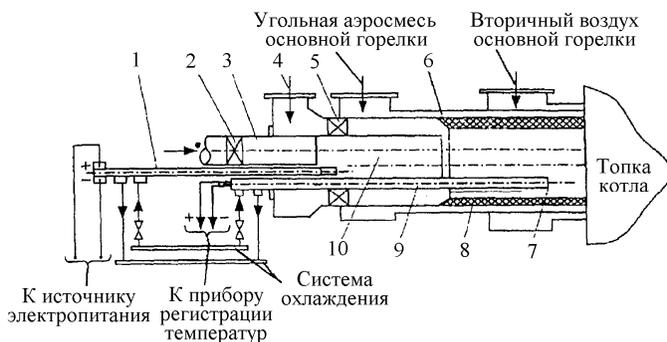


Рис. 1.6. Розжиговая горелка:

1 – плазмотрон 2; 3 – канал подачи угольной аэросмеси; 4 – канал подачи вторичного воздуха для розжига горелки; 5 – завихритель; 6 – основная горелка; 7 – термопара зонда; 8 – камера воспламенения; 9 – водоохлаждаемый канал термозонда; 10 – камера смешения

Технология ПТС основана на плазменной термохимической подготовке угля к сжиганию [10–15]. Она заключается в нагреве аэросмеси (угольной пыли и воздуха) электродуговой плазмой с температурой свыше 3000 °С. За счет газификации топлива образуется двухкомпонентная смесь горючих газов и кокса, которая легко воспламеняется при ее смешении с вторичным воздухом и устойчиво горит без дополнительной подсветки мазутом.

Для повышения эффективности топливоиспользования в 1995 г. был создан Отраслевой центр плазменно-энергетических технологий (ОЦ ПЭТ) РАО «ЕЭС России» при ОАО «Гусиноозерская ГРЭС», в состав которого вошли три научно-технические лаборатории, теплотехническая и электротехническая службы [16].

Преимущества плазменных технологий безмазутной растопки котлов и подсветки факела, в основе которых лежит термохимическая подготовка топлив к сжиганию, перед традиционными заключаются в:

- сокращении потребления мазута и газа на ТЭС;
- повышении энергетической эффективности ПЭТ в 3–4 раза, так как относительная электрическая мощность плазмотронов составляет (в зависимости от типа углей и горелки) всего 0,5–2,0 % тепловой мощности пылеугольной горелки;
- замещении углем подсветочного топлива (мазута или природного газа), что снижает выбросы оксидов азота на 40 – 50 % благодаря превра-

щению азота топлива в молекулярный азот в обедненных кислородом зонах воспламенения и горения, уменьшает выбросы оксидов серы на 30–40 % (в случае замещения высокосернистого мазута) и почти полностью устраняет выбросы пятиоксида ванадия;

- снижении общего количества выбросов двуоксида углерода вследствие увеличения эффективности процесса горения, уменьшения механического недожога топлива и содержания углерода в уносах (в 1,5–2,0 раза);

- обеспечении растопки энергоблоков пылеугольных ТЭС при потере собственных паровых нужд станции;

- появлении возможности комплексного решения вопросов техперевооружения пылеугольных энергоблоков с сохранением технических и эколого-экономических показателей ТЭС;

- сохранении технико-экономических и экологических показателей энергоблоков при использовании широкой гаммы непроектных энергетических углей.

Плазменно-энергетические технологии топливоиспользования занимают особое место в энергетике, поскольку традиционное сжигание топлив происходит на атомно-молекулярном уровне, а с использованием этих технологий – на ионно-электронном (физико-химическом) уровне, что обеспечивает более глубокое управление процессом и, как следствие, его максимальную энергетическую эффективность. Для практической реализации ПЭТ разработан принципиально новый способ организации плазмохимических процессов, при котором только часть реагентов проходит через область плазмы и они выступают инициаторами химических превращений, существенно улучшающими характеристики процесса. При этом собственно плазмохимическая часть потребляет малую долю общих энергозатрат.

Этот способ широко используется при плазменной электротермохимической подготовке топлив (ТХПТ) к сжиганию. В основе его лежит упомянутый ранее аллоавтотермический метод газификации и плазменного воспламенения топлив [12–15], позволяющий осуществлять крупнотоннажные плазмохимические процессы; безмазутную растопку котлов и подсветку пылеугольного факела в том случае, если расход реагентов (уголь + окислитель) достигает 5–10 т/ч [16, 17].

Основные принципы разработки плазменно-энергетических технологий и технические характеристики плазменно-энергетического оборудования

В основе плазменно-энергетических технологий лежат следующие основные принципы [19]:

– термохимическая подготовка топлив к сжиганию с учетом глублины конверсии угля (вплоть до полной газификации) в зависимости от решаемой задачи;

- аллоавтотермический характер превращения топлив (возможность реализации крупнотоннажного производства);
- плазменная активация пылеугольного потока;
- минимальная диссипация энергии плазмы.

При плазменной растопке котлов топочный мазут заменяют угольной пылью, воспламеняемой электродуговым плазмотроном, технические характеристики которого приведены ниже:

Мощность плазмотрона, кВт – 70 – 320

Напряжение, В – 250 – 400

Сила тока дуги, А – 200 – 800

Масса, кг:

– плазмотрона – 20 – 35

– источника электропитания – 450 – 500

Ресурс непрерывной работы электродов, ч. – 300 – 500

Температура факела, К – 3000–5 000

На рис. 1.7. показан наиболее эффективный – муфельный вариант системы плазменного воспламенения углей (СПВ), а на рис. 1.8 и 1.9 даны примеры компоновок плазмотронов постоянного тока, являющихся основными элементами СПВ с пылеугольной прямооточной горелкой и стационарным оборудованием.

Предвключенный муфель с плазмотроном обеспечивает самовоспламенение и интенсивное выгорание аэросмеси (угольная пыль + воздух) после смешения со вторичным воздухом в объеме топки. Плазменно-топливные системы испытаны на 26 котлах паропроизводительностью от 75 до 670 т/ч (табл.1.1 – 1.2), но не везде внедрены. Полные испытания технологии плазменной подсветки и стабилизации горения факела проводились на Гусиноозерской ГРЭС (котел БКЗ-640) и Улан-Баторской ТЭЦ-4 (котел БКЗ-420-140).

На рис. 1.10 представлена схема размещения четырех ПТС на котле БКЗ-640 Гусиноозерской ГРЭС, оснащенный прямооточными пылеугольными горелками.

При плазменной подсветке факела образуются восстановительные газы (СО, Н), что снижает образование оксидов азота в 1,2 – 1,3 раза.

При разработке и внедрении плазменных способов ТХПУ на Улан-Удэнской ТЭЦ-2 были проведены испытания на котле ТПЕ-185 паропроизводительностью 160 т пара в час, с шестью плоскофакельными горелками. Цели испытаний заключались в следующем:

Таблица 1.1

Промышленные испытания плазменно-топливных систем (ПТС) на ТЭС [12]

№ п/п	ТЭС (месторасположение)	Тип и количество котлов с ПТС	Паропроизводительность одного котла, т/ч	Количество ПТС на ТЭС, шт.
1	Гусинозерская ГРЭС (г. Гусиноозерск)	ТПЕ-215 – 2котла БКЗ-640 – 2 котла	670–640	8–7
2	Черепетская ГРЭС (г. Суворов)	ТП-240 – 1 котел	240	4
3	Нерюнгринская ГРЭС (г. Нерюнгри)	КВТК-100 – 1 котел	Тепловая мощность 116 МВт	2
4	Партизанская ГРЭС (г. Партизанск)	ТП-170- 1 котел	170	2
5	Улан-Удэнская ТЭЦ-2 (г. Улан-Удэ)	ТПЕ-185-1 котел	160	2
6	Хабаровская ТЭЦ-3 (г. Хабаровск)	ТПЕ-216 – 1 котел	670	4
7	Кураховская ТЭС (г. Курахово)	ТП-109 – 1 котел	670	4
8	Алматинская ГРЭС (г. Алма-Ата)	БКЗ-160 – 1 котел	160	2
9	Усть-Каменогорская ТЭЦ (г. Усть-Каменогорск)	ЦКТИ-75 – 2котла	75	4
10	Улан-Баторская ТЭЦ-4 (г. Улан-Батор)	БКЗ-420 – 6котлов	420	16
11	Восточно-Пхеньянская ТЭС (г. Пхеньян)	Е-210 – 1 котел	210	3
12	ТЭС «Вояны» (г. Велки-Капушаны)	ТАVICI – 1 котел	350	2

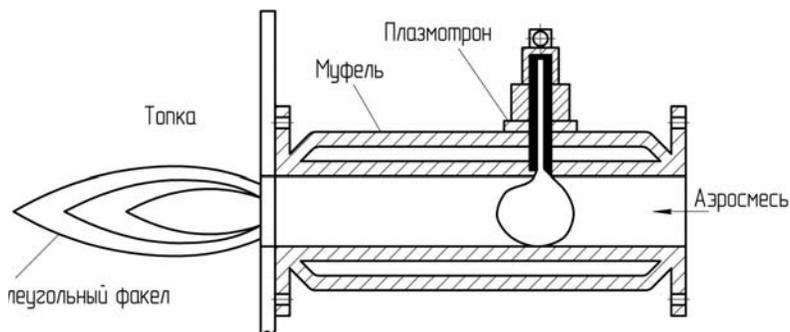


Рис. 1.9. Схема компоновки электро- и теплотехнического оборудования с муфелем и котлом на ТЭС

Таблица 1.2

Основные показатели плазменно-угольных горелок для воспламенения низкосортных углей [11]

	ТЭС			
	ОЦ ПЭТ, Россия	Черепетская, Россия	Шаогуан, Китай	Вояны, Словакия
Мощность плазмотрона, кВт	320	150	320	260
Тип горелки	Вихревая	Прямоточная	Вихревая с воздушным охлаждением	Вихревая муфельная
Расход первичного воздуха, м ³ /ч	1800	2500	2100	3500
Максимальный расход угля, т/ч	3	3	4	4,7
Теплота сгорания угля, МДж/кг	25	23	19,3	25,5
Выход летучих, %	4	15	8,2	7,5
Зольность, %	19	27	30,5	18,7
Тонина помола, % (R ₉₀)	48	15-20	10	8
Температура факела, °С	1200	1150	1170	1400
Длина факела, м	2.5	6	4	4

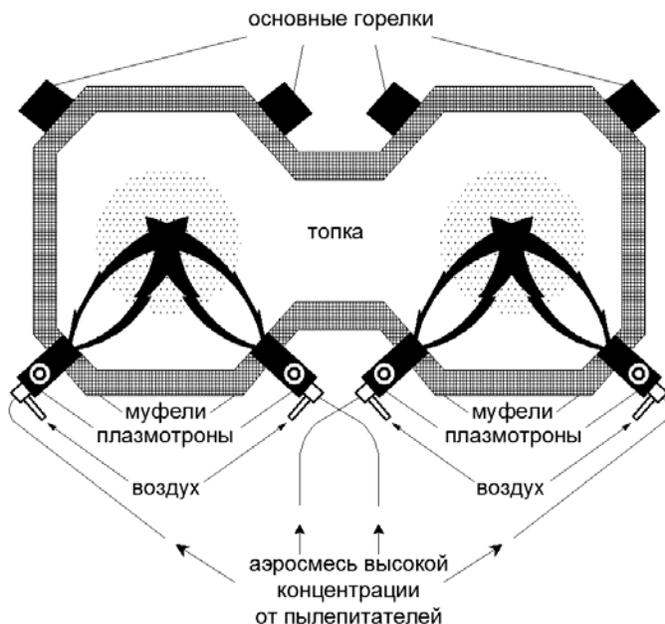


Рис. 1.10. Схема размещения ПТС на котле БКЗ-640 Гусиноозерской ГРЭС

– выявить влияние предвключенных модернизированных плазменных горелок на снижение содержания выбросов оксидов азота, оксида углерода в уходящих газах, увеличение КПД котла из-за уменьшения механического недожога;

– определить надежность работы двух новых вариантов плазменных горелок упрощенной конструкции без применения жаропрочных огнеупорных материалов;

– определить возможность поддержания автотермического режима на одном из вариантов новой плазменной горелки.

Конструктивно – модернизированная плазменная горелка представляет собой трубу в трубе, соединенную с патрубком для крепления плазмотрона, расположенным на боковой поверхности горелки (рис. 1.11 а). Материал внутренней трубы – жаростойкая сталь. Горелки установлены по диагонали котла вместо чехлов мазутных форсунок горелок № 3 и 6 (рис. 1.12). Принцип работы горелки заключается в следующем. Поток аэрозоли делится на две части. Часть аэрозоли, поступающая во вну-

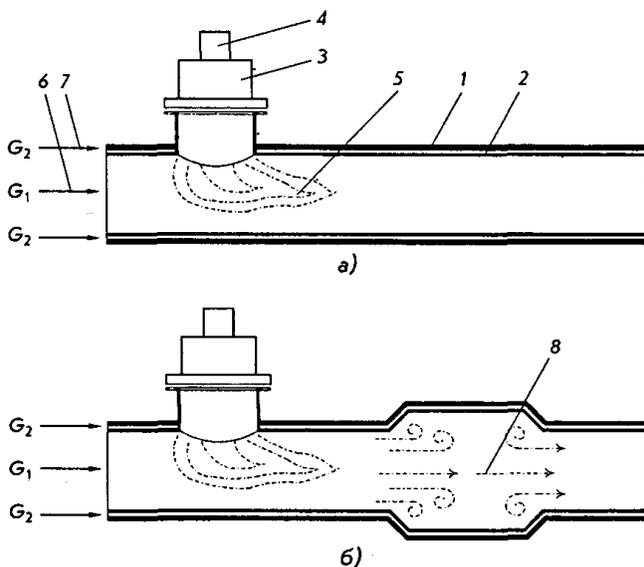


Рис. 1.11. Модернизированные плазменные горелки:

а) первый вариант; б) второй вариант: 1 – труба пылепровода; 2 – внутренняя жаростойкая труба для разделения потока аэросмеси; 3 – патрубок для установки плазматрона; 4 – плазматрон; 5 – плазменный факел; 6 – поток аэросмеси, проходящий термохимическую подготовку; 7 – поток аэросмеси, охлаждающий камеру термохимической подготовки топлива; 8 – камера автотермического режима

тренную трубу, подвергается воздействию плазменной струи, направленной перпендикулярно оси горелки.

При этом аэросмесь нагревается до температуры выделения летучих веществ и частичной газификации коксового остатка. Получившееся высокорекреационное двухкомпонентное топливо направляется в топочное пространство, где, смешиваясь с остальной аэросмесью и вторичным воздухом, стабилизирует процесс горения. Другая часть аэросмеси, поступающая в промежуток между трубами, охлаждает их, выступая своего рода тепловой изоляцией.

Первоначально испытывали горелки, в которых пространство между трубами было заполнено шамотбетоном. Назначение тепловой изоляции з трубы, а также в создании «муфельного» эффекта, состоящего в накоплении тепла и продолжении нагрева аэросмеси в течение некоторого времени после отключения плазматрона. Отказ от использования ша-

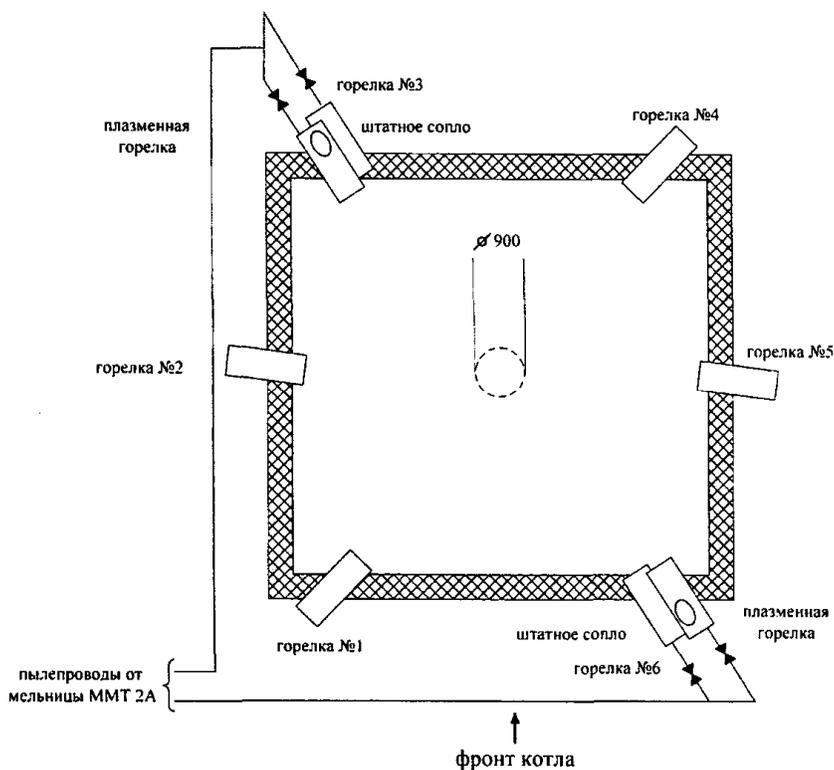


Рис. 1.12. Схема размещения горелок на котле

мотобетона позволил упростить процесс изготовления горелки, сделать ее более легкой, что немаловажно в процессе монтажа. Но главным является то, что проходное сечение этой горелки незначительно отличается от проходного сечения штатной прямооточной горелки по сравнению с горелкой с шамотобетоном. Кроме того, спроектирован второй вариант модернизированной плазменной горелки (рис. 1.11 б), в которой должен поддерживаться автотермический режим горения аэросмеси. Идея, лежащая в основе этой конструкции, следующая.

Первоначально происходит процесс термохимической подготовки аэросмеси под воздействием плазменной струи. Горящее двухкомпонентное топливо и еще не прореагировавшая аэросмесь поступают в

расширенный участок. Скорость течения потока при этом должна снизиться примерно вдвое, так как площадь сечения в этом месте вдвое больше площади сечения предшествующего участка. При этом поток, турбулентный по своему характеру, еще более турбулизируется, процесс теплопередачи между аэросмесью и двухкомпонентным топливом интенсифицируется. Создаются условия, при которых в месте расширения существует самоподдерживающаяся зона горения. Предполагалось, что после отключения плазмотрона зона горения будет продолжать существовать, тем самым поддерживая процесс ТХПУ.

При проведении испытаний нагрузка котла составляла 120 т пара в час. Пылевоздушная смесь поступала в 8 из 12 сопел. На горелках № 3, 6 подача угольной пыли в штатные сопла была перекрыта, пыль поступала в плазменные горелки. Состав уходящих газов определяли газоанализатором TESTO-33 в газоходе перед дымососом при выключенных плазмотронах, затем через такой же промежуток времени с включенными плазмотронами. Пробы золы и шлака отбирались из холодной воронки. Были проведены три серии измерений. Мощность плазмотронов в среднем составляла 90 кВт. Снижение содержания NO_x составило в среднем 10,2 %. Такой результат представляется весьма значительным, если принять во внимание то, что только 25 % пылеугольного потока проходило через предвключенные плазменные горелки (два сопла из восьми работающих). При этом содержание кислорода в уходящих газах увеличилось в среднем на 2,2 %, что связано с уменьшением образования топливных окислов азота. Температура уходящих газов оставалась на уровне 128–130 °С. Содержание горючих остатков при включении плазменных горелок снижалось в золе с 6,5 до 3,4 % и в шлаке – с 20,9 до 14,8 %:

Через 15 мин после отключения плазмотронов еще раз были взяты пробы на содержание горючих остатков в золе и шлаке, значения которых, по результатам лабораторного анализа, составили 4,8 и 7,8 % соответственно. Расчеты по типовой методике показывают, что подобное снижение механического недожога топлива увеличивает КПД котла на 1,7 %.

Таким образом, проведенные промышленные испытания подтверждают тот факт, что использование плазмы для активации пылеугольного факела более эффективно, чем применение термических огневых методов благодаря наличию в плазме химически активных атомов, радикалов, ионов и электронов, которые ускоряют термические реакции горения и способствуют более полному выгоранию топлива.

Известно, что даже малые примеси атомарного кислорода снижают температуру воспламенения угольных частиц. Применение электро-

дуговой плазмы существенно меняет кинетику горения пылеугольного факела: проходя электротермохимическую подготовку в малом объеме камеры предварительной подготовки перед устьем горелки при малой концентрации первичного воздуха в аэросмеси, подготовленная горячая смесь, состоящая из летучих газов (CH_4), продуктов частичной газификации угля ($\text{CO} + \text{H}_2$) и раскаленных частиц коксового остатка, при выходе в топку интенсивно возгорается в потоке вторичного воздуха, поступающего в избытке.

В ходе испытаний нарушений в работе модернизированных плазменных горелок не наблюдалось. Температура наружной поверхности трубы была равна температуре стенки пылепровода, что свидетельствует о правильности подобного конструктивного решения. Забивания зазора между наружной и внутренней трубой не происходило.

Вывод о наличии автотермического режима в горелке можно сделать на основании анализов дымовых газов. Так, после отключения плазмотронов происходило повышение концентрации NO_x и CO , но не до первоначальных значений, которые имели место до включения плазмотронов, а приблизительно в половину меньше. Это свидетельствует о продолжении горения пылевоздушной смеси в горелке (второй вариант горелки), и только спустя 30–40 мин после отключения плазмотронов значения NO_x и CO увеличились вдвое. Возможность осуществления автотермического режима горения пылеугольного факела на выходе из устья сопла имеет важное значение в растопочном режиме котла, когда сохраняется процесс самовоспламенения и горения пылеугольной смеси в горелке после отключения плазмотрона.

Применение плазменных горелок позволяет улучшить технико-экономические показатели как отдельных котлов, так и ТЭС в целом за счет отказа от жидкого топлива для розжига и подсветки пылеугольного факела в котлах, снижения вредных выбросов в атмосферу и соответствующего снижения платы за выбросы, сокращения механического и химического недожога пылеугольного топлива в топках котлов и, следовательно, наряду с другими технико-экономическими и организационными мероприятиями расширяет возможности снижения себестоимости выпускаемой продукции.

Низкий ресурс плазмотронов и недостаточная надежность электрооборудования технологии плазменного сжигания требуют структурного резервирования для сохранения уровня надежности работы котла. С этой целью предусматривены две независимые технологические нитки на одну

горелку. Структурное резервирование обуславливает увеличение капиталовложений в технологию в два раза. С учетом затрат на плазменную технологию капиталовложения в электрическую часть увеличиваются на 10 %.

Вторым этапом развития ПТС является их использование для газификации углей и получения из низкосортных топлив высококалорийного и экологически чистого синтез-газа (СО+Н) для сжигания на ТЭС.

С этой целью проведены экспериментальные исследования комбинированной плазменной газификации на опытных установках. В результате этих исследований был разработан комбинированный газификатор производительностью по углю 32 т/ч, предназначенный для плазменной газификации и термохимической подготовки к сжиганию энергетических углей с последующей подачей полученных высокорекреационных продуктов, горючего газа и коксового остатка, непосредственно в топочную камеру котельного агрегата.

Это позволяет обеспечить безмазутную растопку котла, подсветку пылеугольного факела, стабилизацию выхода жидкого шлака, снизить выбросы оксидов азота, а также расширить гамму сортов сжигаемых в одном и том же котле углей с увеличением его технико-экономических и экологических показателей.

В ООО НПП «ТЕХПЛАЗ» совместно с ИНПП «Колорит» (Украина) разработали аналогичную плазменную технологию стабилизации горения угля и безмазутной растопки котлов. По данным авторов этой разработки, стоимость плазменной установки, включая монтажные и пуско-наладочные работы для одного энергетического котла, составляет в среднем 2,3 млн долларов, что в 30 с лишним раз превышает затраты на внедрение системы муфельной растопки, разработанной в Политехническом институте Сибирского федерального университета.

Поэтому важной задачей является дальнейшая разработка простых и надежных плазмотронов, обеспечивающих их длительную эксплуатацию на ТЭС. Необходимо продолжить разработку и внедрение новых конструкций плазменно-дуговых устройств для розжига и стабилизации горения пылеугольной смеси.

По нашему мнению, применение плазменных технологий будет экономически оправдано при их использовании на тепловых электростанциях, сжигающих низкорекреационные угли с очень малым выходом летучих веществ.

1.3. Термоциклонные предтопки НГТУ

В России разработана и внедрена технология предварительной термической подготовки углей в термоциклонных предтопках (ТЦП). На рисунке 1.13. приведена конструктивно-компоновочная схема ТЦП. В работе [20] достаточно подробно рассмотрено применение технологии термической подготовки углей в ТЦП для некоторых ТЭЦ г. Новосибирска.

Термоподготовка топлива в термоциклонных предтопках позволяет путем предварительной частичной газификации угля получить высокореакционную газовзвесь, легко воспламеняющуюся и эффективно горящую в топке котлоагрегата. Эта технология термоподготовки позволяет обеспечить снижение выбросов оксидов азота на 30 – 50 %; повысить КПД топочной камеры котла на 1 – 3 % при сжигании низкорекреационных топлив.

Сущность технологии заключается в установке у топки котлоагрегата одного или нескольких цилиндрических предтопков, через которые пропускается поток низкорекреационного топлива в виде угольной пыли.

Этот поток пыли с воздухом при тангенциальном вводе в цилиндр образует устойчивый вихрь, обтекающий по спирали внутреннюю стенку цилиндра. В центральную часть цилиндра аксиально вводится поток иницирующего высокорекреационного топлива с воздухом, расход которого достаточен только для сжигания иницирующего топлива. Вы-

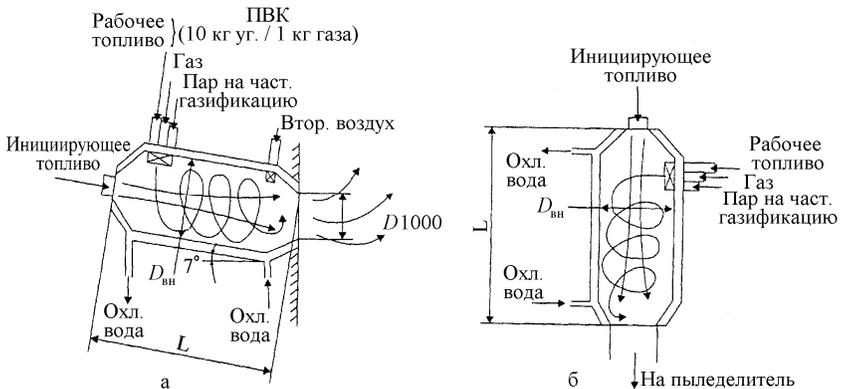


Рис. 1.13. Конструктивно-компоновочная схема термоциклонного предтопка (ТЦП) горизонтального (а) и вертикального (б) исполнения

делившееся при сгорании иницирующего топлива тепло прогревает угольно-пылевой вихрь до температуры 800–1000 °С, при которой производится частичная газификация топлива.

Продукты газификации и высокорреакционные активные частицы твердого топлива, прошедшие термopодготовку, и продукты сгорания иницирующего топлива выводятся из предтопка и поступают в топочную камеру котельного агрегата, где осуществляется их сжигание.

Эта технология может быть реализована в различных вариантах в зависимости от вида основного и иницирующего топлива. Обычно в качестве иницирующего топлива используют природный газ, мазут или высокорреакционные угли, например канско-ачинские. Технология термopодготовки в термоциклонных предтопках прошла апробирование на Мироновской ГРЭС на котле ТП-230-3, что показало высокую её эффективность – повышение полноты сгорания низкорреакционного угля на 20 %, что сокращает расход мазута наполовину.

На Рязанской ГРЭС (котел П-59) были проведены испытания термоциклонного предтопка с целью оптимизации конструктивных и режимных параметров установки термической подготовки. В качестве основного топлива в предтопке использовался подмосковный бурый уголь, в качестве иницирующего топлива – мазут М 100.

Данная технология испытана на некоторых Новосибирских ТЭЦ. Была изучена возможность применения этой технологии для котлов ПК-10, ТП-9, ТП-170 и ТП-81, в которых сжигается кузнецкий каменный уголь марок Т и СС и окисленный. Для котлов ПК-10 и ТП-9 из-за отсутствия природного газа в качестве иницирующего топлива предлагается использовать канско-ачинский уголь. Для всех перечисленных котельных агрегатов получены удовлетворительные результаты, свидетельствующие о снижении выбросов оксидов азота и повышении экономичности их эксплуатации.

Основными недостатками технологии с ТЦП являются следующие:

- усложнение системы подготовки топлива к сжиганию;
- необходимость создания двух потоков топлива (рабочего и иницирующего);
- организация дополнительного паровоздушного дутья;
- затраты на термopодготовку с ТЦП сопоставимы с затратами в системе серо и азотоочистки для традиционных энергоблоков, которые, как известно, являются очень дорогостоящими [21].

По нашему мнению, термopодготовка в ТЦП будет экономически оправдана при сжигании малореакционных твёрдых топлив, когда

действительно необходимо применение высокорекреационного инициирующего топлива, каковым могут прекрасно служить угли Канско-Ачинского бассейна.

1.4. Система муфельной растопки УГТУ-УПИ

Растопочная пылеугольная горелка [22,23], разработанная на кафедре «Тепловые электрические станции» Уральского государственного технического университета (УГТУ-УПИ) позволяет ускорить начало процесса газификации твердого топлива, а также в связи с этим ускорить процесс растопки, получить устойчивый растопочный факел. Конструкция растопочной горелки довольно проста, надежна и безопасна (рис. 1.14).

Растопочная пылеугольная горелка состоит из следующих элементов: корпуса 1 с огнеупорной излучающей обмуровкой 2 (туннель, муфель, предтопок); соосного обмуровке патрубка подачи пылевоздушной смеси 3 со щелевым устьем 4: двух одинаковых вспомогательных жидкотопливных или газовых горелок 5, размещенных симметрично относительно продольной оси щелевого устья патрубка; подвода части вторичного воздуха 6; подвода основной части вторичного воздуха обмуровки топки.

Растопка осуществляется следующим образом: зажигаются две вспомогательные жидкотопливные или газовые горелки 5. Затем через патрубок 3 подается пылевоздушная смесь (угольная пыль с первичным воздухом), которая, выходя через щелевое устье 4, приобретает форму плоской струи, вытянутой по вертикали. Струя имеет развитую боковую поверхность и в начальный момент (до прогрева обмуровки) воспринимает излучением теплоту вспомогательных мазутных или газовых горелок одновременно с обеих сторон, что позволяет достаточно быстро осуществить предварительный нагрев пылевидного топлива.

Прогретая угольная пыль начинает интенсивно газифицироваться, и газ, получающийся в результате пиролиза, горит, дополнительно нагревая угольную пыль, что способствует дальнейшей газификации. За счет интенсивного нагрева и газификации пылевидное топливо воспламеняется от факелов вспомогательных жидко-топливных или газовых горелок внутри корпуса.

После прогрева обмуровки вспомогательные жидко-топливные или газовые горелки отключаются. Дальнейшая газификация, нагрев и вос-

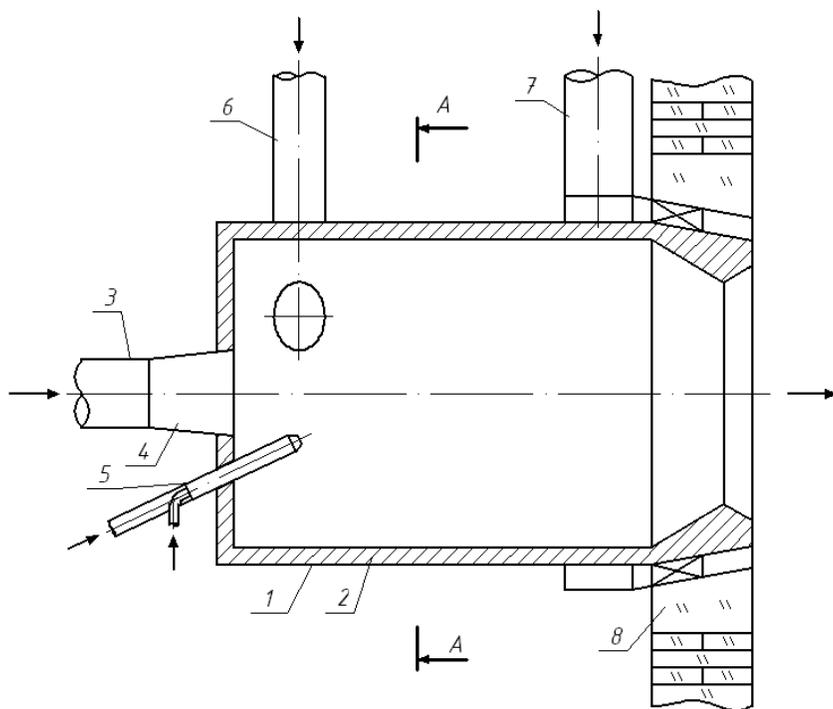


Рис. 1.14. Схема растопочной пылеугольной горелки ТЭС УГТУ–УПИ:
1 – корпус пылеугольной горелки; 2 – обмуровка муфеля; 3 – патрубки подачи пылевоздушной смеси; 4 – щелевое устье горелки; 5 – вспомогательная горелка; 6, 7 – подвод вторичного воздуха; 8 – обмуровка топки

пламенение пылевидного топлива будут происходить за счет излучения стенок обмуровки, нагрев которых, в свою очередь, будет поддерживаться частичным сжиганием угольной пыли внутри муфеля.

В случае кратковременного погасания основного факела по какой-либо причине, например, кратковременного прекращения подачи угольной пыли, следующее зажигание пылеугольной струи происходит вследствие излучения стенок нагретого муфеля, обладающего значительным запасом тепловой энергии. Такая горелка может быть использована при необходимости и для подсветки основного факела топочной камеры котла.

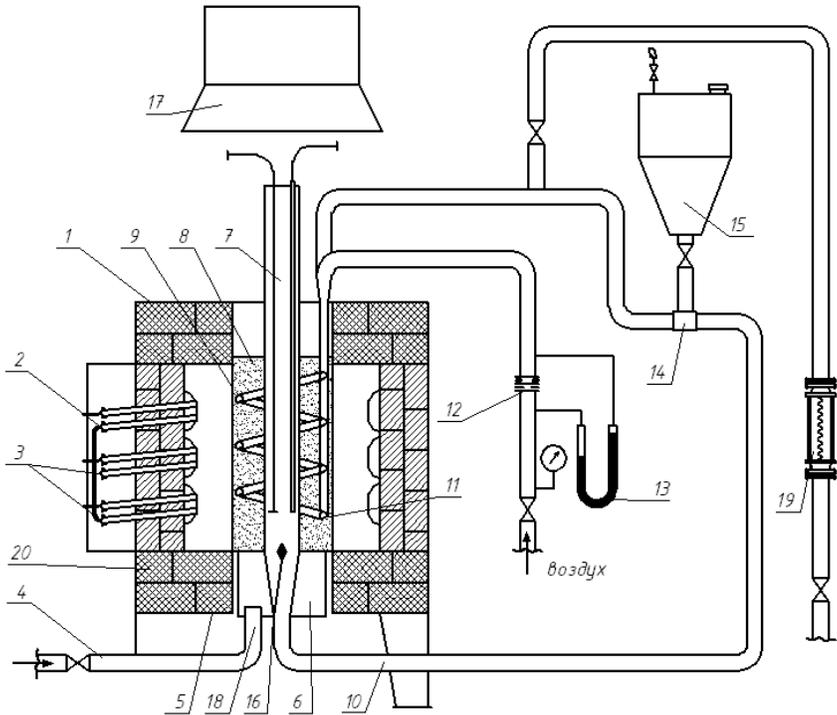


Рис.1.15. Принципиальная схема экспериментальной установки:

1 – кожух газогенератора; 2, 3 – электрические нагреватели; 4 – подача воздуха на псевдооживление; 5 – воздухораспределительные колпачки; 6 – газораспределительная решетка; 7 – центральная труба; 8 – слой псевдооживленных частиц; 9 – реторта; 10 – пылепровод; 11 – воздухонагреватель; 12 – диафрагма; 13 – дифманометр; 14 – инжектор-смеситель; 15 – бункер топлива; 16 – сопло; 17 – зонт вытяжной вентиляции; 18 – патрубок для подвода воздуха; 19 – ротаметр воздуха для подмешивания; 20 – футеровка

Изучение предварительного прогрева пылевоздушного потока и последующей газификации угольной пыли было проведено на экспериментальной установке, схема которой дана на рис.1.15. Работает экспериментальная установка следующим образом: реторта 9 внутренним диаметром 440 мм и высотой 1200 мм разогревается электрическими нагревателями до заданной температуры, которая поддерживается системой автоматики. Пространство между центральной трубой 7 и реторты заполнено частицами инертного материала.

Слой инертного материала ожигается воздухом и передает теплоту от реторты к центральной трубе.

Топливо-угольная смесь с размером частиц 0–500 мкм подается из бункера 15 через дозирующую шайбу в инжектор-смеситель 14. Расход топлива после тарировки составляет 7,14 кг/ч. К инжектору-смесителю воздух подается после воздухоподогревателя 11, погруженного в слой инертного материала. Температура воздуха (200–400 °С) регулируется после воздухоподогревателя подмесом холодного воздуха в поток горячего.

Центральная труба предварительно разогревалась электрическими нагревателями 3 до заданной температуры от 700 до 900 °С, и в ней происходит процесс горения и газификации угольной пыли. Время пребывания частиц в центральной трубе составляет 0,8–1,2 с. Поле температур по высоте центральной трубы и состав газов измерялись во время опытов с помощью термопары и хроматографа.

Для опытов в экспериментальной установке была использована угольная пыль Баганурского месторождения (Монголия) с содержанием летучих на рабочую массу 42 %.

Анализ экспериментальных данных по газификации угольной пыли в экспериментальной установке позволяет сделать авторам разработки следующие выводы:

1. Увеличение температуры стенки экспериментального канала и снижение коэффициента избытка воздуха способствуют увеличению выхода горючих газов СО и метана, следовательно, увеличению теплоты сгорания горючей смеси на выходе из установки. При $t_{ст}$ около 800 °С и $a \sim 0,9$ максимальный выход оксида углерода (СО) составил 6,1 %, метана – 0,3 %. При этом теплота сгорания газов не превышала 890 кДж/м³. При $t_{ст}$ около 900 °С и $a \sim 0,6$ максимальный выход оксида углерода составил – 12,1 %, а метана – 1,5 %. Теплота сгорания газов составила 2073 кДж/м³.

2. На высоте 1250 – 1450 мм от нижнего среза экспериментального канала наблюдается максимальное значение концентрации СО₂ и минимальное кислорода. Следовательно, на этой высоте при имевшей место скорости потока завершается процесс горения и далее начинается зона восстановления СО₂ (зона чистой газификации).

3. На выходе из экспериментального канала наблюдалось интенсивное горение газов и коксовых частиц. Это позволяет сделать вывод о том, что при работе пылеугольной горелки с предварительной газификацией угольной пыли можно ожидать теплопроизводительность, достаточную для замены мазутной форсунки на котлах ТЭС.

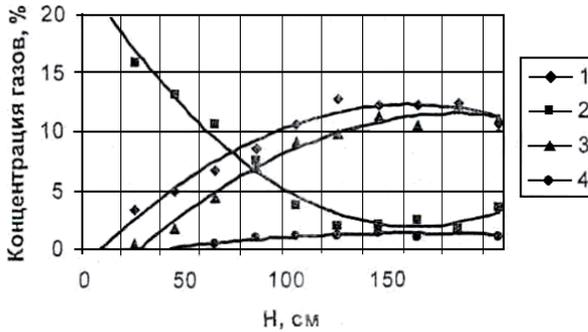


Рис. 1.16. Концентрация газов по высоте центрального канала экспериментальной установки: $t_{\text{см}}=777-795\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a=0,9$; 1 – CO_2 , 2 – O_2 ; 3 – CO ; 4 – CH_4

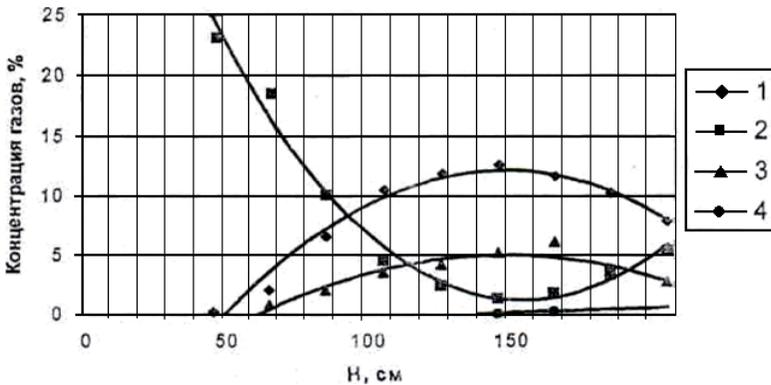


Рис. 1.17. Концентрация газов по высоте центрального канала экспериментальной установки: $t_{\text{см}}=870-885\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a=0,6$; 1 – CO_2 , 2 – O_2 ; 3 – CO ; 4 – CH_4

4. Во всех опытах максимальная температура горения пылевоздушной смеси в канале не превышала $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, что значительно ниже температуры плавления золы, составляющей $1100-1200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Из графиков (рис.1.16–1.18) следует, что для частичной газификации в удовлетворительном объеме достаточно пребывания частиц пыли в муфеле в течение $0,6\text{ с}$, что при скорости потока 3 м/с соответствует длине муфеля 1800 мм .

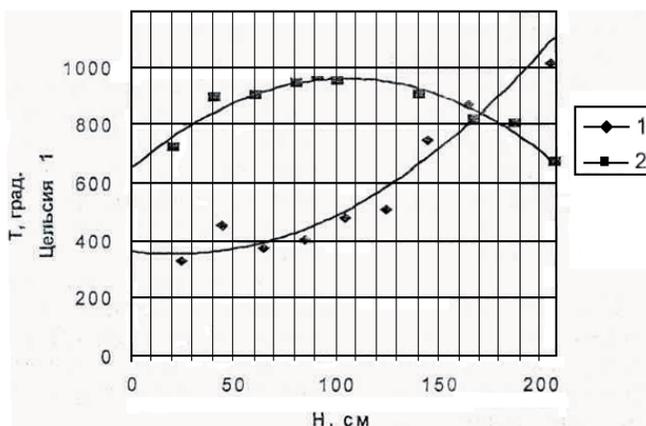


Рис. 1.18. Поле температур газов по высоте центрального канала экспериментальной установки: 1 – $t_{cm}=777-795\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a=0,9$; 2 – $t_{cm}=870-885\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a=0,6$

Однако, учитывая, что пыль имеет довольно тонкий помол, что должно резко ускорить процесс газификации. По мнению авторов разработки можно ожидать достаточную глубину газификации и при длине обогреваемой части горелки не более 2 м. Этот основной параметр – длина горелки не более 2 м и был взят за основу при конструировании.

Растопочная горелка (УГТУ–УПИ) прошла испытания и проверена в эксплуатации на ТЭЦ-3 г. Улан-Батора (Монголия). Горелка диаметром 0,8 м и длиной 1 м установлена на котле БКЗ-75. Две форсунки по 30 кг/ч мазута разогревают огнеупорную кладку стенок муфеля горелки до $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 25 мин. (рис.1.19), после чего идет устойчивое воспламенение пылевоздушной струи от футеровки муфеля без помощи форсунок. До реконструкции растопка велась тремя мазутными форсунками производительностью 0,8 – 2 т/ч в течение 4 ч. В результате реконструкции расход растопочного мазута уменьшился более чем в 100 раз.

Котел БКЗ-75 имеет боковые ремонтные лазы на уровне основной рабочей отметки, в один из которых и была встроена горелка со скользящей опорой на полу. Это позволило не создавать новую амбразуру с разводкой труб, а во время ремонта пользоваться этим же лазом после откатывания горелки в сторону. Угольную пыль для растопки брали от пылепитателя соседнего котла, что позволило обойтись малыми капитальными затратами. В результате срок окупаемости составил 6 месяцев.

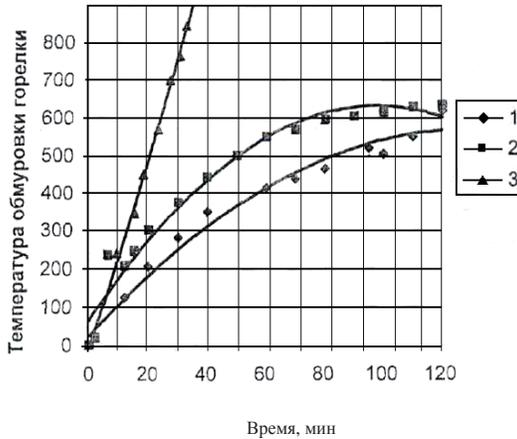


Рис. 1. 19. Динамика изменения температуры обмуровки горелки в начальный период растопки:

1, 2 – работает одна вспомогательная мазутная форсунка; 3 – работают две вспомогательные мазутные форсунки

Растопочную горелку, разработанную в (УГТУ–УПИ), по нашему мнению можно использовать также для подсветки пылеугольного факела при работе топочных камер котлов при пониженных нагрузках.

1.5. Технология термической подготовки углей для организации безмазутной растопки и подсветки факела топочных камер котлов, разработанная в ПИ СФУ

1.5.1. Принципиальные схемы термической подготовки углей для организации безмазутной растопки и подсветки факела топочных камер котлов

В данном разделе приведены принципиальные схемы по термической подготовке бурых углей и высокорреакционных каменных углей для организации безмазутной растопки и подсветки факела топочных камер котлов современных ТЭС, разработанные в лаборатории «Тер-

мическая подготовка углей» Политехнического института Сибирского федерального университета. Некоторые из них реализованы на котлах, сжигающих угли Канско-Ачинского бассейна и газовые каменные угли Кузбасса.

Пылесистема с последовательно установленными пылеконцентратором и горелкой с пылеконцентратором внутри горелки и эжектором изображена на рисунке 1.20. Пылесистема содержит мельничный вентилятор 1, размольное устройство 2, соединенное газообразной шахтой 3 с топкой 4 и дымососом рециркуляции 5, основной и дополнительный пылеконцентраторы 6 и 7, каждый из которых снабжен сбросной трубой 8 и 9 соответственно, тангенциальными входными патрубками 10 и 11, 12 и тангенциальными патрубками 13, 14 и 15 отвода концентрированной смеси, причем один из входных тангенциальных патрубков 12 дополнительного пылеконцентратора 7 соединен с газоходом 16 с патрубками 14 отвода концентрированной смеси основного пылеконцентратора 6, а другой патрубок 11 подключен к топке 4. Патрубок 15 отвода концентрированной смеси дополнительного пылеконцентратора 7 соединен с основными горелками 17 топки 4, сбросная труба 8 пылеконцентратора 7 подключена к сбросной горелке 18 топки 4 через мельничный вентилятор 1, а тангенциальный входной патрубок 10 основного пылеконцентратора 6 снабжен эжектором 19, подключенным пассивным соплом 20 к сбросной трубе 9 дополнительного пылеконцентратора 7. Активное сопло 21 эжектора 19 подключено к размольному устройству 2.

Пылесистема содержит также течку 22 сырого угля, воздушный эжектор 23 для подачи готовой пыли к основным горелкам 17 топки 4, патрубок 24 ввода газов рециркуляции в сбросную трубу 8 пылеконцентратора 6 для охлаждения крыльчатки мельничного вентилятора 1 и перегородку 25 в напорной улитке последнего для возврата пристеночного пылевого слоя в газозаборную шихта 3. По диаметру корпуса пылеконцентратора 6 с внутренней стороны установлены бронеплиты 26 для торможения топлива. К аксиальному входному патрубку 27 дополнительного пылеконцентратора 7 тангенциально подсоединен патрубок 13 отвода концентрированной мелкодисперсной пыли основного пылеконцентратора 6, а по оси патрубка 27 установлена дополнительная горелка 28 с газозлектрозапальником 29, установленным тангенциально в патрубке 27 спутно потоку из патрубка 13. Перед основной горелкой 17 топки 4 установлен запальник 30, смещенный вверх относительно пылепровода с муфелем 31.

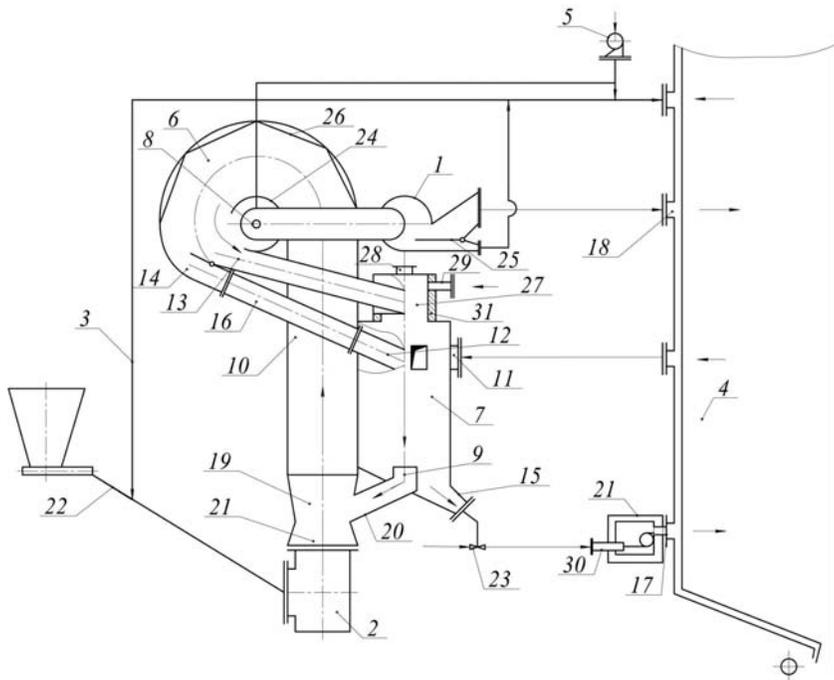


Рис. 1.20. Система пылеприготовления

с последовательно установленными пылеконцентратором и горелкой:

1 – мельничный вентилятор; 2 – размольное устройство; 3 – газозаборная шахта; 4 – топка; 5 – дымосос рециркуляции; 6 – основной пылеконцентратор; 7 – дополнительный пылеконцентратор; 8, 9 – сбросные трубы; 10 – 12 – тангенциальные входные патрубки; 13 – 15 – тангенциальные патрубки для отвода концентрированной смеси; 16 – газоход; 17 – основная горелка; 18 – сбросная горелка; 19 – эжектор; 20 – пассивное сопло; 21, 31 – муфели; 22 – течка; 23 – воздушный эжектор для подачи готовой пыли к основным горелкам; 24 – патрубок для ввода газов рециркуляции; 25 – перегородка; 26 – бронеплиты; 27 – аксиальный входной патрубок дополнительного пылеконцентратора; 28 – горелка; 29, 30 – газо-электрозапальники

Корпус пылеконцентратора 7 выполнен из термостойкой стали и может быть футерован изнутри, а внутри входного патрубка 27 пылеконцентратора 7 установлен растопочный муфель.

Пылесистема работает следующим образом: включаются газозлектрозапальники 29 и 30 и прогреваются муфели 31 и 32 до температуры, при которой возможно возгорание пыли при касании их стенок, сырое

топливо по течке 22 подается в размольное устройство 2, работающее на небольшой пусковой мощности, по газозаборной шахте 3 подаются газы, требующиеся для выноса пыли из размольного устройства. Топливо измельчается и в виде аэросмеси подается через эжектор 19 в основной пылеконцентратор 6. Благодаря тангенциальной подаче аэросмесь закручивается и крупная пыль, отжатая к стенкам, из патрубков 13 и 14 поступает в патрубки 27 и 12 дополнительного пылеконцентратора 7, при этом пыль, поступившая в патрубок 27, воспламеняется при контакте с раскаленным муфелем 32 и выгорает с помощью горелки 28, а газы, образующиеся при сгорании, смешиваются с топливом, поступающим из патрубка 12, и осуществляют глубокую термopодготовку, в результате которой происходит облагораживание топлива с переходом его в полукокк и выходом в него летучих. Облагороженное топливо через патрубок 15 и эжектор 23 поступает в раскаленный муфель 31, воспламеняется и через горелку 17 вдувается в топку 4. Горячие топочные газы через сбросную трубу 9 поступают с помощью эжектора 19 через пассивное сопло 20 в основной пылеконцентратор 6 по входному патрубку 10, где осуществляется сушка пыли, поступающей из размольного устройства 2. Отработанный сушильный агент через сбросную трубу 8 и мельничный вентилятор 1 удаляется в сбросные горелки 18 топки 4, при этом пристеночный пылевой слой перегородкой 25 отделяется в мельничном вентиляторе 1 и поступает в газозаборную шахту 3, где пыль выгорает за счет остаточного кислорода, содержащегося в дымовых газах, повышая температуру сушильного агента, поступающего на всос размольного устройства вместе с сырым топливом.

По мере увеличения количества горячих топочных газов от работающей дополнительной горелки 27 и основной горелки 17 увеличивается количество сырого топлива, подаваемого в размольное устройство 2. После выхода на рабочий режим температура сушильного агента, поступающего в размольное устройство 2, регулируется путем присадки газов рециркуляции от дымососа рециркуляции 5, часть газов из которого также присаживается в сбросную трубу 8 пылеконцентратора 6 через патрубок 24 для охлаждения крыльчатки мельничного вентилятора 1. За счет работы эжектора 19 через сбросную трубу 9, подключенную к нему, могут из топки 4 засасываться горячие топочные газы в пылеконцентратор 7 через патрубок 11, обеспечивающий тангенциальную крутку потока в пылеконцентраторе 7 совместно с тангенциальным патрубком 12, что исключает установку завихрителей. За счет терморазмола на бронеплитах 26 пылеконцентратора 6 в пылеконцентратор 7 поступает пыль

ровного гранулометрического состава, причем пристеночный слой пыли выходит из патрубка 14 более крупного состава, чем выходящий из патрубка 13 пылеконцентратора 6, что обуславливает более мелкую пыль из патрубка 13 подавать на сжигание в дополнительную горелку 27.

Принципиальная схема безмазутной растопки с электрозапальным устройством резисторного типа представлена на рисунке 1.21.

Топка содержит призматическую камеру 1 сгорания, внутренний и внешний газоплотные трубные экраны 2 и 3, при этом внутренний экран 2 снабжен верхним и нижним фестонами 4 и 5, холодную воронку 6, центральную и периферийные камеры 7 и 8 сгорания с перепускными окнами 9 и 10, выполненными в фестонах 4 и 5, многоярусные горелочные устройства 11, выходные участки которых окружены циркуляционными трубами 12, перед входным торцом которых размещены сопла 13 для подачи инжектирующего агента, растопочные горелки 14, размещенные на входных участках горелочных устройств 1, и горелочные насадки 15, примыкающие к выходным торцам циркуляционных труб 12.

Внутренний газоплотный трубный экран 2 выполнен в виде четырехгранной призмы, совмещенной своими углами с внешним газоплотным экраном 3 посередине граней его восьмигранной призмы, выполненной в горелочном поясе камеры 1 сгорания, при этом в местах стыка внутреннего и внешнего экранов 2 и 3 в углах центральной камеры 7 сгорания установлены тангенциально сопла 16 третичного дутья.

Центральная камера 7 сгорания является продолжением камеры 1 сгорания и расположена на ее уровне. Входные участки горелочных устройств 11 размещены на гранях внешних экранов 3, а выходные участки горелочных устройств 11 – на гранях внутренних экранов 2. Циркуляционная труба 12 и горелочный насадок 15 выполнены конусообразными и размещены внутри последнего путем разводки внутренних экранов 2 в сторону входных участков горелочных устройств 11, при этом между входными торцами горелочного насадка 15 и циркуляционной трубы 12 и внешним экраном 3 установлен зазор. Растопочные горелки 14 установлены на байпасных пылепроводах 17, установленных по оси горелочных устройств 11. На входе в горелки 14 размещены завихрители 18, а на выходе охлаждаемые хомуты 19, установленные в плотном контакте с пылепроводами 17, подключенные к источнику низкого напряжения, например вторичной обмотке сварочного трансформатора, при этом участок пылепровода 17 между хомутами 19 выполнены из термостойкого токопроводящего материала, например нихрома.

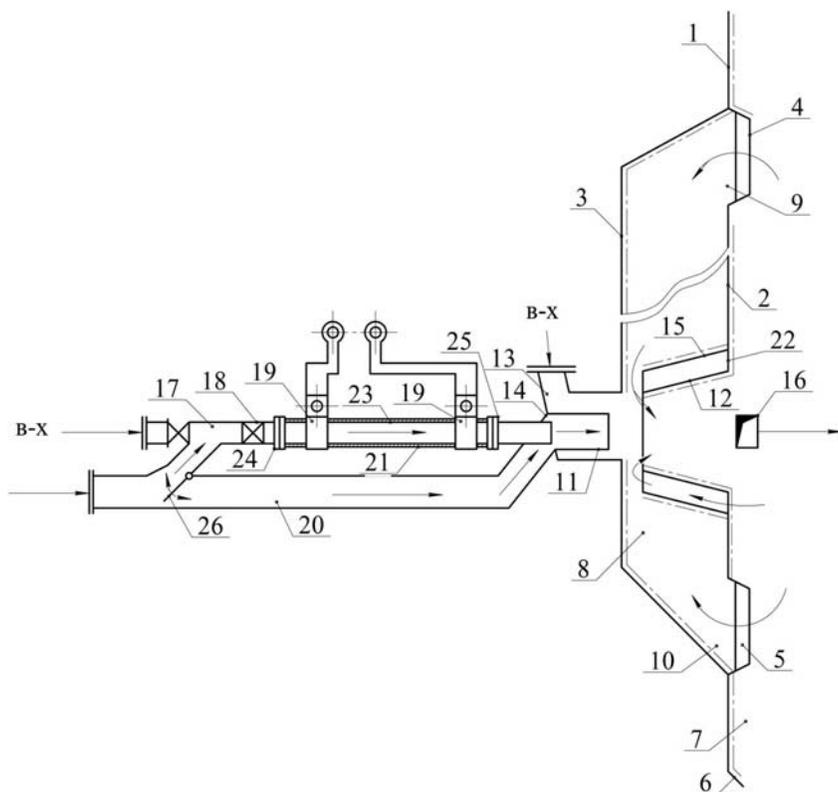


Рис. 1.21. Принципиальная схема безмазутной растопки с электрозапальным устройством резисторного типа:

1 – топочная камера; 2, 3 – экраны; 4, 5 – верхний и нижний фестоны; 6 – холодная воронка; 7, 8 – камеры сгорания; 9, 10, 22 – перепускные окна; 11 – горелочное устройство; 12 – циркуляционные трубы; 13 – вторичный воздух; 14 – растопочные горелки; 15 – насадок; 16 – сопла третичного дутья; 17, 20 – пылепроводы; 18 – завихритель; 19 – хомут; 21 – шибер; 22 – перепускные окна; 23 – запальное устройство; 24 – фланцы; 25 – прокладки; 26 – шибер

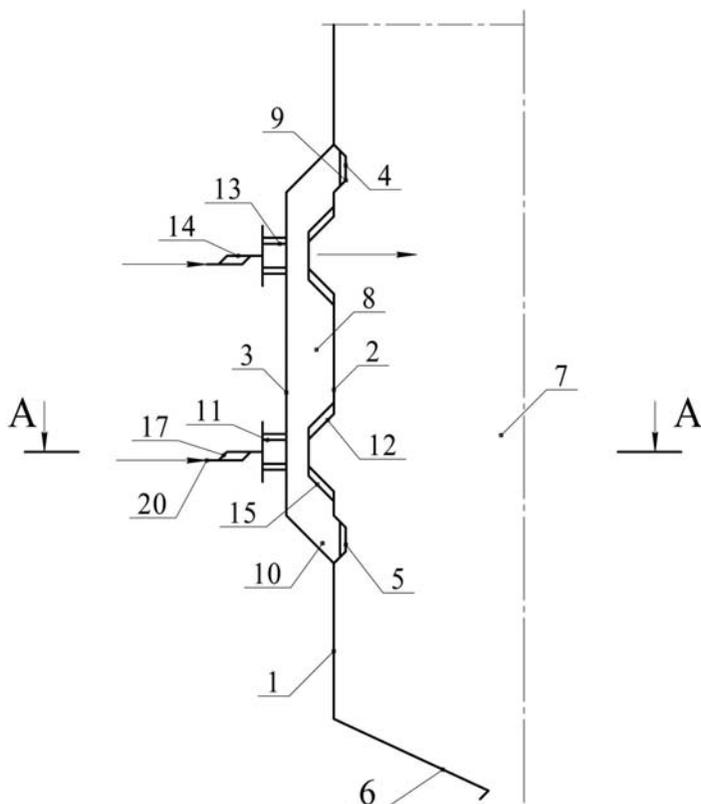


Рис. 1.21, а. Принципиальная схема безмазутной растопки с электрозапальным устройством резисторного типа. Продольный разрез топки

Сопла 13 для подачи инжeksiрующего света подключены к воздушному коробу, диаметр их меньше диаметра циркуляционных труб 12. Основной пылепровод 20 подсоединен к каждому горелочному устройству на входе, при этом байпасный пылепровод 17 заведен на выходе внутрь основного пылепровода 20 с образованием зазора.

Горелочные устройства 11 установлены пропорционально к условной окружности, размещенной в центральной камере 7 сгорания, и между ними установлены вертикальные экраны 21, перпендикулярные внутренним и внешним экранам 2 и 3. Охлаждение хомутов 19

стояние между экранами 2 и 3 должно обеспечить возможность для ремонта и обдувки экранов.

Топка работает следующим образом: включается резисторное запальное устройство и прогревается байпасный пылепровод 17 между хомутами 19 до 700 °С. Затем подается аэросмесь. Шибером 26 регулируется преимущественная ее подача в пылепровод 17. Проходя через завихритель 18, аэросмесь закручивается и пылевой поток, отжимается к стенкам пылепровода и воспламеняется. В месте соединения с основным пылепроводом 20 происходит воспламенение всей аэросмеси, поступающей в горелочное устройство 11. Горящая аэросмесь, проходя внутри конусов 12 и 15 циркуляционной трубы и горелочного насадка, засасывает горячие топочные газы через окна 9, 10 и 22 к корню факела, что исключает отрыв факела и обеспечивает смешение горячей угольной пыли с высокотемпературными газами. Догорание пыли происходит в струях третичного дутья, подаваемого из сопел 16. В результате постоянной циркуляции угольной пыли между камерами сгорания 7 и 8 через перепускные окна 9, 10 и 22 происходит полное её выгорание в топке. При этом, чем больше горелок установлено на гранях экрана 3, тем интенсивнее рециркуляция, так как просасывание горячих газов с пылью происходит за счет эжекции при работе горелочных устройств 11. После растопки котла запальное устройство 23 отключается и воспламенение пыли происходит от тепла раскаленных стенок пылепровода 17. При необходимости через байпасный пылепровод 17 может подаваться центральный воздух, при этом шибером 26 вход пыли в него перекрывается.

Таким образом, в предлагаемой топке организуется постоянная рециркуляция горячей пыли между камерами сгорания 7 и 8 через окна 9, 10 и 22 и амбразуры горелочных устройств 11, что обеспечивает полное выгорание пыли в горелочном поясе топки. Этому способствует наличие сопел 16 третичного дутья. Дополнительный наружный экран 3, установленный по периметру топки, отнимает тепло от газов, что исключает подачу газов рециркуляции внутрь топки. Это экономит работу дымососов. Рециркуляция газов в горелочном поясе усредняет температуры по сечению топки и увеличивает теплосъем с экранов, так как к экранам подходят все новые горячие газы, затягиваемые в перепускные окна. Улучшается воспламенение топлива и стабилизируется его горение. Предлагаемое резисторное запальное устройство является наиболее простым из существующих конструкций и безопасным. В отличие от высоковольтных запальников, требующих тщательной изоляции от корпуса, предлагаемое устройство работает даже без всякой изоляции.

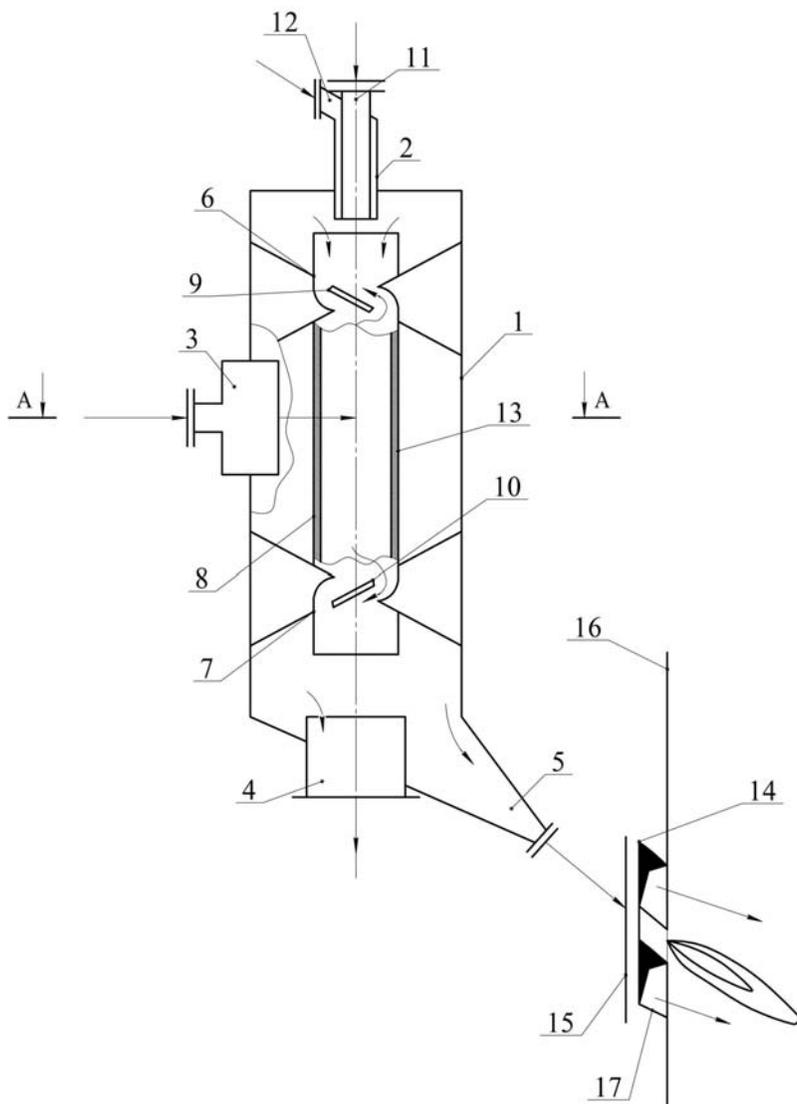


Рис. 1.22. Безмазутное растопочное устройство с пылеконцентратором:
1 – пылеконцентратор; 2 – аксиальный входной патрубок; 3 – тангенциальный входной патрубок; 4 – сбросная труба; 5 – патрубок для отвода концентрированной смеси; 6 и 7 – лопаточные завихрители; 8 – полая вставка; 9, 10 – лопатки; 11 – мазутная форсунка; 12, 17 – воздушные сопла; 13 – пластины; 14 – щели; 15 – горелки; 16 – топка

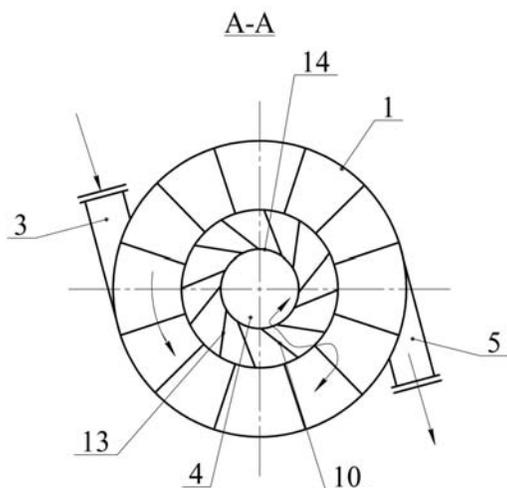


Рис. 1.22, а. Безмазутное растопочное устройство с пылеконцентратором.
Разрез А-А

Пылесистема, содержащая безмазутное растопочное устройство с пылеконцентратором представлена на рисунке 1.22.

Пылесистема содержит узел термоподготовки в виде пылеконцентратора 1, имеющего аксиальный и тангенциальной входные патрубки 2 и 3, сбросную трубу 4 и патрубков 5 отвода концентрированной смеси, лопаточные завихрители 6 и 7, установленные на торцах перепускной трубы 8 в виде полых вставки, с лопатками 9 и 10, наклоненными в противоположные стороны, при этом кромки лопаток завихрителей, обращенные друг к другу, направлены по ходу потока, а тангенциальный входной патрубков 3 установлен между ними и соединен с источником концентрированной аэросмеси. Растопочная мазутная форсунка 11 размещена в аксиальном входном патрубке 2 внутри воздушного сопла 12. Перепускная труба 8 в виде полых вставки выполнена из плоских пластин 13, установленных под углом и спутно потоку с образованием между пластинами продольных щелей 14. Патрубок 5 отвода концентрированной смеси соединен с горелкой 15 топки 16 с воздушными соплами 17. Все узлы пылеконцентратора выполнены из термостойкой стали.

Пылесистема работает следующим образом: включается растопочная мазутная форсунка 11 и прогревается перепускная труба 8 до крас-

ного каления. Затем в растопочном режиме подается концентрированная аэрозоль под напором в тангенциальный патрубок 3. В результате крутки в корпусе пылеконцентратора 1 пыль расслаивается, горючие газы и мелочь через щели 14 поступают под факел мазутной форсунки 11 и сгорают, а крупная пыль измельчается, коксуется и выходит через межлопаточное пространство завихрителей 6 и 7 и поступает в горелку 15 топки 16 через патрубок 5 отвода концентрированной смеси в виде полукокса, где сгорает в струях воздушных сопел 17 топки 16. Пластины 13 препятствуют выносу пыли вовнутрь трубы 8, так как крупным частицам требуется разворот на 180° , чтобы попасть внутрь, что невозможно.

Поэтому пыль вращается в корпусе пылеконцентратора до тех пор, пока не станет пористой, легкой и дробленой, тогда она выносится через завихритель 10 в патрубок концентрированной смеси 5 и далее поступает в топку. Этому способствует то, что газы, выделяющиеся из пыли, постоянно просачиваются через продольные щели 14 и выгорают. После стабилизации горения и выхода на полную производительность мазутная форсунка отключается и подогрев пластин 13 осуществляется за счет сгорания внутри вставки 8 горючих газов и мелкой пыли, проскакивающей через завихритель 9 и щели 14. Как показали опытные данные, для термоподготовки пыли перед сжиганием требуется ее нахождение в зоне высоких температур около 1 секунды. Данное устройство может более длительно держать пыль в корпусе пылеконцентратора за счет уменьшения просвета между лопатками завихрителей и между плоскими пластинами 13. Важно также то, что с уходом газовой фазы из зоны термоподготовки можно увеличить количество пыли в ней, т.е. при наличии щелей 14 в пластинах 13 растет производительность пылесистемы.

На рисунке 1.23 представлена пылесистема, содержащая горелочное устройство в топке котла с пылеконцентратором внутри горелки.

Пылесистема содержит размольное устройство 1, соединенное на входе газозаборной шахтой 2 с топкой 3 котла и бункером сырого угля 4 через питатель 5, а на выходе – с пылеконцентратором 6, патрубок 7 отвода концентрированной смеси которого через перепускную трубу 8 подсоединен к полой лопатке 9 завихрителя 10, заведенной через корпус пылеконцентратора 6 внутрь полой вставки 11 завихрителя 10, при этом две других полых лопатки 12 и 13 подсоединены соответственно к линии 14 горячего воздуха и магистрали 15 дополнительного топлива (жидкого или газообразного). Полая вставка 11 завихрителя 10 имеет обтекатель 16, а сбросная труба 17 пылеконцентратора 6 подключена к горелке 18 топки 3. Горелка 18 имеет сопла 19 вторичного воздуха, а между раз-

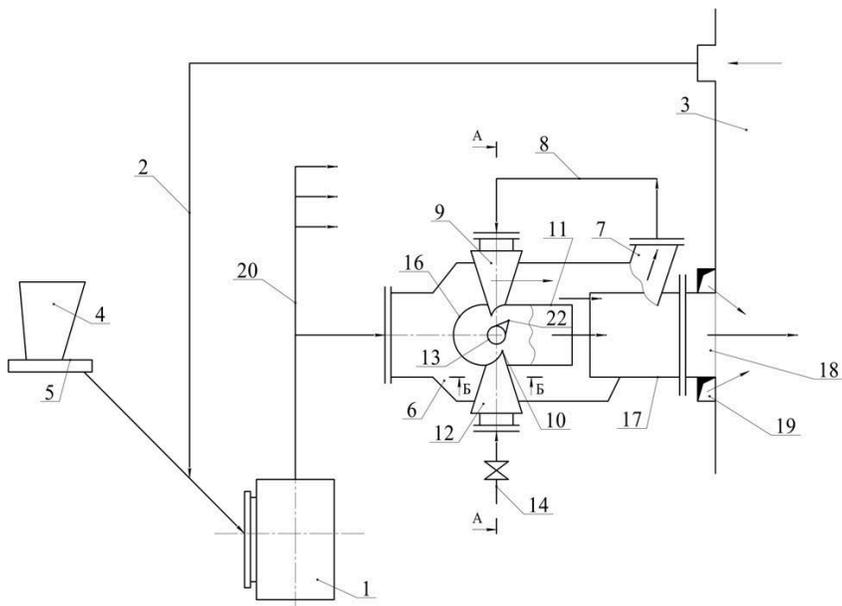


Рис. 1.23. Горелочное устройство в топке котла с пылеконцентратором внутри горелки: 1 – размыльное устройство; 2 – газозаборная шахта; 3 – топка; 4 – бункер сырого угля; 5 – питатель; 6 – пылеконцентратор; 7 – патрубок для отвода концентрированной смеси; 8 – перепускная труба; 9, 12, 13 – поворотные лопатки; 10 – завихритель; 11 – полная вставка; 14 – линия горячего воздуха; 15 – магистраль дополнительного воздуха; 16 – обтекатель; 17 – сбросная труба пылеконцентратора; 18 – горелка; 19 – сопло вторичного воздуха; 20 – пыледелитель; 21 – электрозапальник; 22 – обтекатели лопаток

мольным устройством 1 и пылеконцентратором 6 может быть установлена гребенка пыледелителя 20 для разводки аэросмеси по ярусам горелок топки 3. Полая вставка 11 выполнена из жаропрочной стали, а через полую лопатку 13 внутрь полой вставки 11 заведен электрозапальник 21. Диаметр полой вставки 11 меньше диаметра сбросной трубы 17. Пылеконцентратор 6 установлен соосно горелке 18; 22 – обтекатели лопаток.

Пылесистема работает следующим образом: включается подача воздуха по линии 14 через полую лопатку 12 в полую вставку 11 пылеконцентратора 6, включается подача дополнительного топлива по магистрали 15 через полую лопатку 13 в полую вставку 11 и включается электрозапальник 21, поджигающий дополнительное топливо в полой

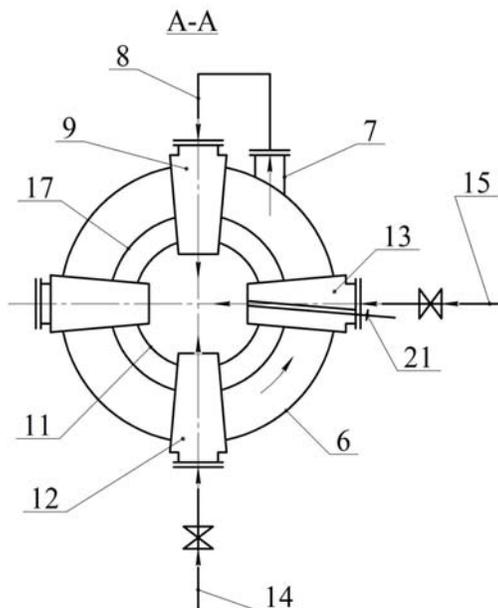


Рис. 1.23, а. Горелочное устройство в топке котла с пылеконцентратором внутри горелки. Разрез А-А

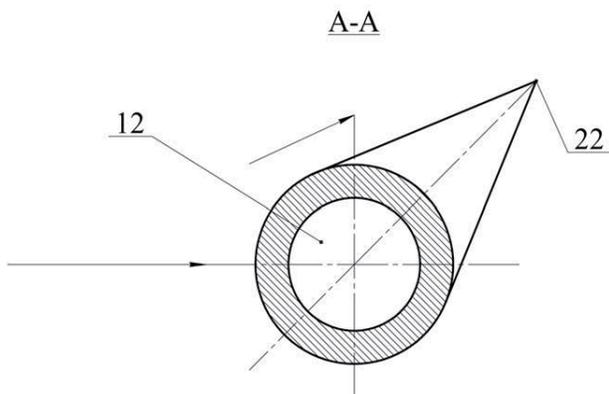


Рис.1.23, б. Горелочное устройство в топке котла с пылеконцентратором внутри горелки. Разрез Б-Б

вставке 11. После загорания дополнительного топлива (жидкого или газообразного) полая вставка 11 прогревается и включается размольное устройство 1 на небольшую пусковую мощность с включением питателя 5 сырого угля, поступающего из бункера 4.

Топливо измельчается в размольном устройстве 1 и поступает через пыледелитель 20 в пылеконцентратор 6, где под действием завихрителя 10 аэросмесь расслаивается и обогащенный пылью поток через патрубок 7 отвода концентрированной смеси и перепускную трубу 8 поступает в полую лопатку 9 завихрителя 10 и далее в полую вставку 11, где воспламеняется от факела дополнительного топлива и воспламеняет всю аэросмесь по выходе из поллой вставки 11, которая поступает через сбросную трубу 17 пылеконцентратора 6 на горелку 18 топки 3, где под струями вторичного воздуха, выходящего из сопел 19, догорает. При выходе на рабочий режим магистраль 15 дополнительного топлива перекрывается и горение в поллой вставке 11 осуществляется за счет раскаленной поверхности поллой вставки 11. При обрыве факела в горелке 18 при меняющихся нагрузках он снова зажигается от факела, выходящего из поллой вставки 11, что стабилизирует воспламенение и горение. Кроме того, за счет тепла, выделяющегося из поллой вставки 11, происходит дополнительная сушка топлива, поступающего через патрубок 7 отвода концентрированной смеси в полую вставку 11, а также поступающего на горелку 18. Предварительная термopодготовка топлива помогает его быстрому воспламенению как в поллой вставке 11, так и в горелке 18. Обтекатель 16 способствует воспламенению топлива в поллой вставке 11, так как горение топлива происходит в аэродинамической тени и исключает обрыв первичного факела во вставке 11. От факела поллой вставки 11 прогревается также и сбросная труба 17, что способствует термopодготовке топлива, проходящего сквозь трубу 17. При выходе на рабочий режим дымовые газы в размольное устройство поступают по газозаборной шахте 2 из топки 3.

На рисунке 1.24 изображена топка с дополнительной растопочной горелкой. Топка содержит призматическую камеру 1 сгорания, внутренний и внешний газоплотные экраны 2 и 3. При этом внутренний экран снабжен верхним и нижними перепускными окнами 4 и 5. Топка имеет холодную воронку 6, центральную и периферийные камеры 7 и 8 сгорания, верхние и нижние горелочные устройства 9 и 10. Выходные участки горелочных устройств 9 окружены циркуляционными трубами 11, перед входными торцами которых размещены сопла 12 и 13 подачи инжектирующего агента и угольной пыли. Циркуляционные трубы 11

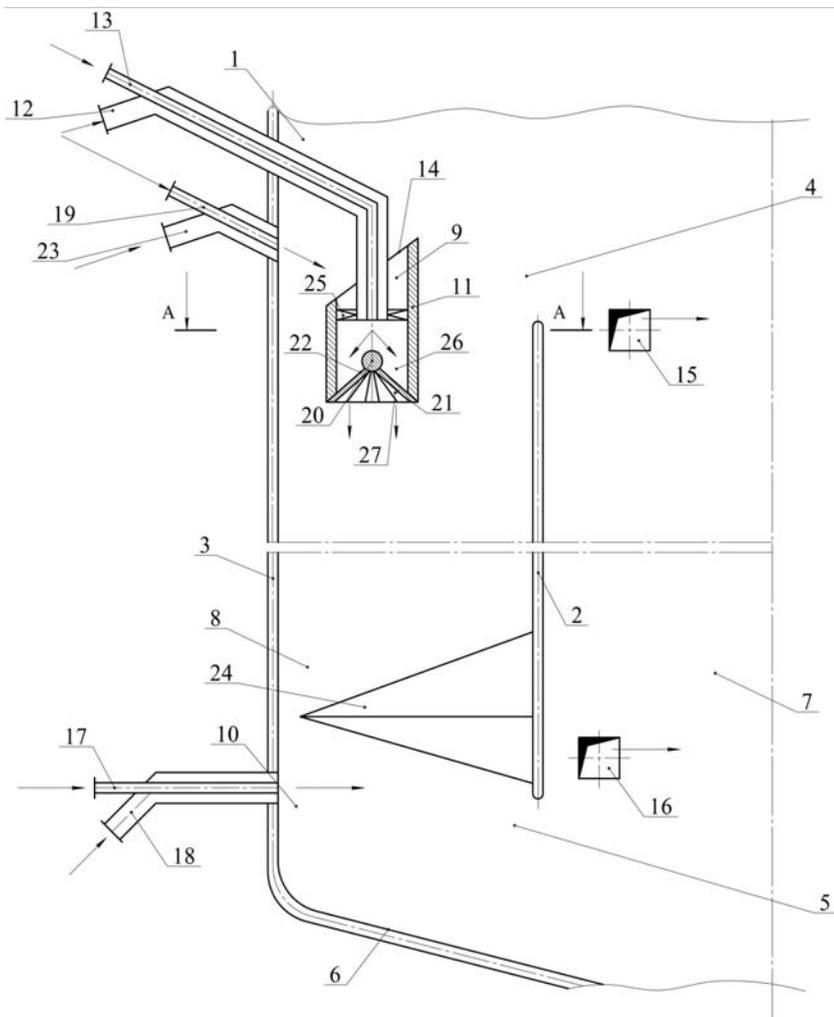


Рис. 1.24, а. Горелочное устройство в предтопке с дополнительной растопочной горелкой: 1 – камера сгорания; 2, 3 – экраны; 4, 5 – перепускные окна; 6 – холодная во-ронка; 7, 8 – центральная и периферийная камеры горения; 9, 10 – верхние и нижние горелочные устройства; 11 – циркуляционные трубы; 12, 13, 15–19 – сопла; 14 – косой плоский срез; 20 – расщепитель; 21 – крестовина; 22 – кольцевая обойма; 23, 24 – выступы; 25 – завихритель; 26 – основание конуса; 27 – угловые ребра;

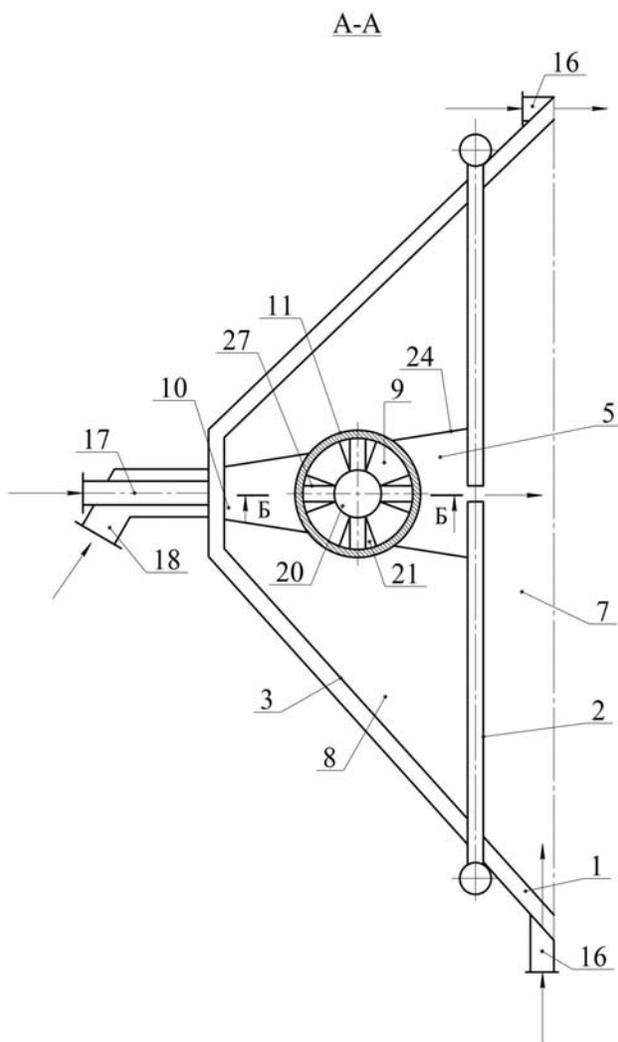


Рис. 1.24.б. Горелочное устройство в предтопке с дополнительной растопочной горелкой. Разрез А-А

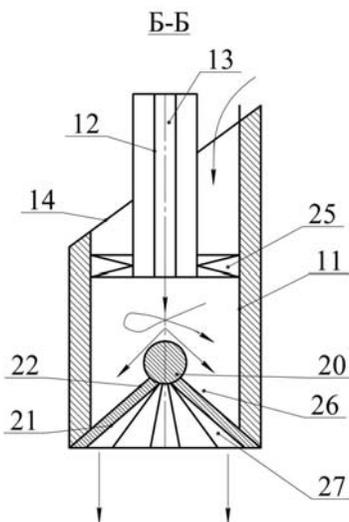


Рис. 1.24, в. Горелочное устройство в предтопке с дополнительной растопочной горелкой. Разрез Б-Б

верхних горелочных устройств 9 установлены между внутренним и внешним газоплотными трубными экранами 2 и 3, направлены вдоль экранов и выполнены с косым плоским срезом 14, обращенным в сторону, противоположную перепускным окнам 4, а воздушные сопла 15 и 16, установленные на внешних экранах 3 периферийными камерами 8, направлены вдоль внутренних экранов 2 и размещены на уровне горелочных устройств 9 и 10 в верхней и нижней частях центральной камеры 7 сгорания. Сопла 17 подачи легковоспламеняющегося топлива (мелкодисперсная пыль, мазут, дизтопливо или газ) горелочных устройств 10 размещены на внешних газоплотных трубных экранах 3 внутри сопел 18 подачи инжестирующего агента и направлены внутрь периферийных камер 8 сгорания, так же как и сопла 19 подачи легковоспламеняющегося топлива, расположенные на уровне циркуляционной трубы 11 верхнего горелочного устройства 9, направленные под углом к ее оси в центр косого плоского среза 14. Внутри циркуляционной трубы установлен рассекатель 20 в форме обтекаемого шарообразного тела.

Рассекатель 20 может быть закреплен в выходном торце циркуляционной трубы по разному, например, в крестовине 21 в кольцевой обой-

ме 22. Сопло 19 размещено внутри сопла 23 подачи инжестирующего агента, подсоединенного так же, как и сопла 12 и 18 к линии подачи воздуха. Зажигательный пояс верхней части периферийных камер 8 сгорания торкретирован, а нижняя часть частично перекрыта выступами 24 внешних газоплотных экранов 3 до размеров факела нижнего горелочного устройства 10 для сжигания механического недожога. Сопло 19 подачи легковоспламеняющегося топлива может быть направлено под тупым углом к оси циркуляционной трубы 11, закрепленной на выходном торце сопла 12 подачи инжестирующего агента с помощью лопаточного завихрителя 25.

Крестовина 21 может быть выполнена для исключения термической деформации в виде угловых ребер жесткости усеченной четырехгранной пирамиды, на вершине которой в конусном ложе 26 обоймы 22 свободно лежит шарообразный рассекатель 20, а кольцевая обойма 22 находится в аэродинамической тени и по диаметру меньше рассекателя 20. Угловые ребра 27 крестовины 21 выполнены из плоских клиновидных пластин, расширяющихся книзу, установленных под углом друг к другу, пристыкованных к крестовине 21 спутно потоку, создаваемому завихрителем 25. Торцы сопел 19 и 23 растопочного горелочного устройства 28 расположены заподлицо с внешним экраном 3, так же как и торцы сопел 17 и 18 горелочного устройства 10. Все горелочное устройство 9 выполнено из термостойкого материала.

Топка работает следующим образом: включается растопочное горелочное устройство 28 и прогревается через косой плоский срез 14 циркуляционная труба 11 и шарообразный рассекатель 20 до температуры самовоспламенения угольной пыли. С помощью горелочного устройства 10 прогревается также нижняя часть периферийной камеры сгорания 8. Включается в растопочном режиме горелочное устройство 9 с подачей основного топлива через сопло 13 и холодного воздуха для создания воздушной рубашки через сопло 12, так как температура в топке составляет около 1000 °С. Через завихритель 25 внутрь циркуляционной трубы 11 в закрученном потоке инжестируются горячие топочные газы, которые закручивают угольную пыль, выходящую из торца сопла 13. Смешанная с воздухом пыль благодаря крутке расслаивается. Крупная часть отжимается к раскаленным внутренним стенкам циркуляционной трубы 11, а мелкая попадает на шарообразный рассекатель 20, где вспыхивает от контакта с ним и отбрасывается от рассекателя 20 и на внутренних стенках циркуляционной трубы 11 воспламеняет крупную пыль, прогретую от этих стенок. Вращающийся поток пыли попадает на ребра кресто-

вины 21, которыми также отбрасывается на внутренние стенки циркуляционной трубы, если эти ребра 27 установлены под тупым углом на крестовине 21, при этом клиновидное расширение их в нижней части способствует этому. В расширяющемся факеле горящее топливо поступает на выступы 24 нижней части камеры 8 сгорания, с которых скатывается под струи горелочного устройства 10 и выбрасывается через нижнее перепускное окно 5 в центральную камеру 7 сгорания, где догорает в струях третичного и четвертичного воздуха, подаваемого из сопел 16 и 15 в восходящем потоке. После выхода на рабочий режим горелочное устройство 28 отключается, а в горелочном устройстве 10 отключается сопло 17 подачи легковоспламеняющегося топлива. Таким образом, пыль проходит топку дважды – сверху вниз и снизу вверх, что исключает затягивание горящего факела в конвективный газоход и уменьшает примерно вдвое шлакование конвективных поверхностей. Полукокс, поступающий в центральную камеру 7 сгорания, полученный благодаря термopодготовке угольной пыли в камере 8, имеет калорийность вдвое по сравнению с исходным углем.

При этом при ухудшении качества исходного угля калорийность полукокса почти не меняется, так как коксовая основа исходного угля имеет практически неизменное значение, что обеспечивает постоянную паропроизводительность котла и стабильный режим его работы. Рассредоточенная подача воздуха на четыре стадии растягивает процесс горения, что снижает температуру горения, усредняет температуры по сечению топки и снижает образование оксидов азота вдвое, так как азот топлива выходит из топлива еще в периферийных камерах 8. В зависимости от диаметра циркуляционной трубы 11 можно изменять скорость горения частиц угля в камере 8 и время их пребывания в ней, что позволяет сжигать сильнозабалластированные угли без потери производительности котла.

Как показали предварительные испытания на полупромышленном стенде, высота камеры 8 достаточна для выхода азота топлива из угля, если она составляет не менее 10 м. Для создания примерно равносостронней восьмигранной призмы ширина внутренних экранов 2 должна составлять, например для котла Е-500, около 5 м.

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет решить поставленную задачу: повысить эффективность термopодготовки за счет сокращения времени воспламенения топлива, чему способствует предварительный прогрев циркуляционной трубы 11 дополнительным растопочным устройством 28 и установка внутри циркуляционной тру-

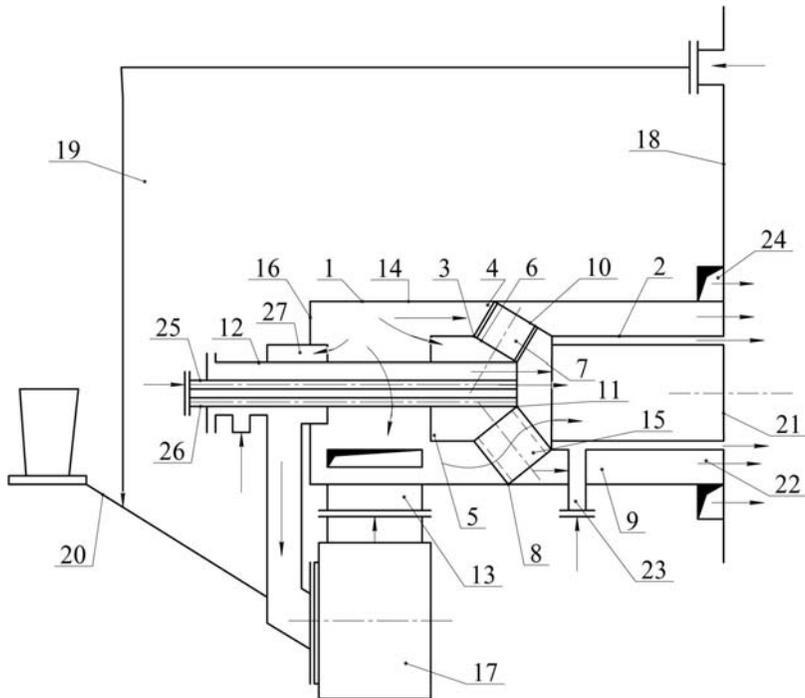


Рис. 1.25. Растопочное горизонтальное горелочное устройство с пылеконцентратором: 1 – пылеконцентратор; 2 – патрубок; 3 – завихритель; 4 – лопатки; 5 – осевой канал; 6, 10 – окна; 7 – полости лопаток; 8 – обечайка; 9 – короб; 11 – рассекатель; 12 – труба; 13 – входной патрубок; 14 – кольцевой канал; 15 – межлопаточное пространство; 16 – крышка; 7 – размольное устройство; 18 – топка; 19 – газозаборная шахта; 20 – течка; 21–основная горелка; 22 – сбросная горелка; 23 – патрубок; 24 – сопла; 25 – запальное устройство; 26 – электрозапальник; 27 – сбросная труба

бы 11 рассекателя 20, отбрасывающего струю топлива на раскаленные стенки циркуляционной трубы, а также завихрителя 25 на входе в циркуляционную трубу, сепарирующего крупную пыль на раскаленные стенки трубы 11. Косой срез 14 на трубе 11 позволяет прогреть внутренность трубы с рассекателем 20.

Схема растопочного горелочного устройства с пылеконцентратором представлена на рисунке 1.25.

Пылесистема содержит пылеконцентратор 1, включающий патрубок 2 для отвода концентрированной смеси, завихритель 3 с полыми

лопатками 4, осевым каналом 5 для отвода слабозапыленного агента, соединенным при помощи окон 6 с полостями 7 лопаток 4 завихрителя 3, и установленную внутри корпуса пылеконцентратора 1 коническую обечайку 8, образующую со стенкой корпуса пылеконцентратора короб 9 для отвода слабозапыленного агента, подсоединенный при помощи окон 10 в обечайке 8 к полостям 7. Лопатки 4 имеют обтекаемую форму, а канал 5 завихрителя 3 с торца заглушен и выполнен в виде рассекателя 11 конусообразной формы и прикреплен к основанию широким каналом к осевому каналу 5, меньшим основанием к трубе 12 дополнительной газовой среды, заведенной в патрубок 2 отвода концентрированной смеси через осевой канал 5 отвода слабозапыленного агента, сообщающийся через окна 6, выполненные в рассекателе 11 с полостями 7 лопаток 4 завихрителя 3. Пылеконцентратор имеет также тангенциальный входной патрубок 13. Между осевым каналом 5 и корпусом пылеконцентратора 1 образуется кольцевой канал 14, сообщающийся через межлопаточной пространство 15 с патрубком 2 отвода концентрированной смеси. Коническая обечайка 8 прикреплена широким основанием к корпусу, а меньшим основанием – к патрубку 2 отвода концентрированной смеси, между которым расположен короб 9, отделенный от межлопаточного пространства 15 обечайкой 8. С другой стороны межлопаточной пространство 15 отделено от осевого канала 5 рассекателя 11. Полые лопатки 4 установлены под углом к оси корпуса пылеконцентратора 1, ортогонально рассекателю 11 и обечайке 8. Боковой торец корпуса заглушен крышкой 16.

Пылесистема содержит размольное устройство 17, соединенное с пылеконцентратором 1 с патрубком 13, с топкой 18 – газозаборной шахтой 19 с течкой сырого угля 20. Патрубок 2 отвода концентрированной смеси пылеконцентратора 1 подсоединен к основной горелке 21, установленной соосно пылеконцентратору 1, а короб 9 – к сбросной горелке 22, установленной соосно основной горелке 21, причем основная горелка 21 расположена внутри сбросной горелки 22. Стенки патрубка 2 концентрированной смеси пылеконцентратора 1 выполнены двойными, с открытым торцу в сторону горелок входному торцу патрубка 2 подсоединен патрубок 23 для подачи воздуха, проходящий через короб 9. Сопла 24 третичного воздуха установлены над сбросной горелкой 22. Внутри трубы 12 для дополнительной газовой среды заведено со стороны крышки 16 запальное устройство 25, подключенное к дополнительному топливу (жидкому или газообразному) с электрозапальником 26. Выходной торец запального устройства 25 расположен на уровне меньшего основания рассекателя 11, а труба 12 подсоединена к линии горячего воздуха. Пы-

леконцентратор 1 может иметь также дополнительную сбросную трубу 27, установленную в крышке 16 соосно трубе 12, подключенную на всас размольного устройства 17 для рециркуляции части сушильного агента. Диаметр дополнительной сбросной трубы 27 меньше диаметра осевого канала 5 для отвода слабозапыленного агента.

Пылесистема работает следующим образом: включается запальное устройство 25 с помощью электрозапальника 26, работающее на жидком или газообразном дополнительном топливе. После прогрева патрубка 2 отвода концентрированной смеси пылеконцентратора 1 на небольшую мощность включается размольное устройство 17, в которое через дополнительную сбросную трубу 27 всасываются горячие газы от работающего растопочного устройства 25 через межлопаточное пространство 15 и кольцевой канал 14. В трубу 12 для работы растопочного устройства 25 подается воздух, после прогрева размольного устройства 17 по течке 20 подается на всас сырой уголь, который измельчается в размольном устройстве 17 и через входной патрубок 13 поступает в пылеконцентратор 1, в котором за счет тангенциального подвода приобретает вращательное движение с отжатию крупной пыли к стенкам корпуса. Отработанный сушильный агент через сбросную трубу 27 возвращается обратно в размольное устройство 17, а крупная пыль поступает через кольцевой канал 14 и межлопаточное пространство 15 внутрь патрубка 2 отвода концентрированной смеси, где под воздействием открытого пламени запального устройства, выходящего из торца трубы 12, воспламеняется, чему способствуют нагретые стенки патрубка 2 и наличие воздуха, подаваемого через трубу 12. Через двойные стенки патрубка 2 через патрубок 23 подается вторичный воздух, который дожигает выходящую в горелку 21 горящую аэросмесь из патрубка 2. Мелкодисперсная пыль через осевой канал 5 и через полые лопатки 4 поступает в короб 9 и на сбросную горелку 22, где также воспламеняется от работающей основной горелки 21, которая расположена внутри сбросной горелки 22, что способствует воспламенению. Этому же способствует предварительный прогрев мелкой пыли, который осуществляется в лопатках 4 и коробе 9 от тепла работающего запального устройства 25. Из сопла 24 подается третичный воздух для дожигания аэросмеси. При выходе пылесистемы на рабочий режим горелки 21 и 22 могут работать при включенном запальном устройстве 25, так как горячие топочные газы будут поступать в размольное устройство 17 из топки 18 по газозаборной шахте 19.

На рис. 1.26 представлена схема устройства безмазутной растопки котла с индуктором в кольцевом пылепроводе.

6, при этом байпасный пылепровод выполнен в виде кольцевой петли 9 с шибером 10 на ее входе, а выходной участок петли 9 заведен в камеру 11 предварительного зажигания, выполненную с расширяющимся раструбом 12 внутри выходного торца основного пылепровода 3 перед растопочной горелкой 2 и соединенную с ней. Индуктор 5 установлен внутри кольцевой петли 9, при помощи шибера 10 подсоединенной своей входной частью к основному пылепроводу 3, выполненному перед растопочной горелкой в виде колена 13, за его перегибом, а запальное устройство 6 заведено внутрь камеры 11 предварительного зажигания через колено 13 по оси выходного участка кольцевой петли 9, выполненного в виде муфеля.

Индуктор 5 содержит катушку 14 с водоохлаждаемой обмоткой и магнитопровод 15, охватывающий байпасный пылепровод 4, состоящий из двух разборных частей для быстрой смены индуктора. Пылепровод 4 выполнен с изоляцией 16 для исключения обгорания катушки 14 и исключения тепловых потерь. Индуктор 5 подсоединен к источнику переменного тока через регулирующий напряжение трансформатор.

Весь узел растопки выполнен из термостойкой стали. Запальное устройство 6 может быть выполнено с возможностью осевого перемещения внутри выходной части кольцевой петли 9, по оси которой оно расположено.

Схема безмазутной растопки котла работает следующим образом: включается индуктор 5 и запальное устройство 6 и прогревается растопочный узел, затем в растопочном режиме подается пыль от источника пыли 1 в байпасный пылепровод 4, при этом с помощью шибера 10 перекрывается почти все сечение основного пылепровода 3. Остается только узкий проход для мелкой пыли, сформированной по внутренней стороне перегиба колена 13, которая выгорает на выходе из пылепровода 3 от запального устройства 6, прогревая основной пылепровод 3. Остальная пыль направляется в байпасный пылепровод 4, который раскаляется от индуктора 5 до температуры интенсивного выделения из пыли горючих газов, которые вспыхивают на выходе из байпасного пылепровода в камере 11 предварительного зажигания при помощи запального устройства 6, работающего на легковоспламеняющемся топливе, подаваемом только на период растопки. С помощью трансформатора, регулирующего напряжение, пылепровод 4 может быть нагрет индуктором 5 до любой температуры, которая требуется для интенсивного газовыделения горючих веществ из пыли. Этому способствует и тот факт, что за счет центробежных сил пыль отжимается к раскаленным стенкам пылепро-

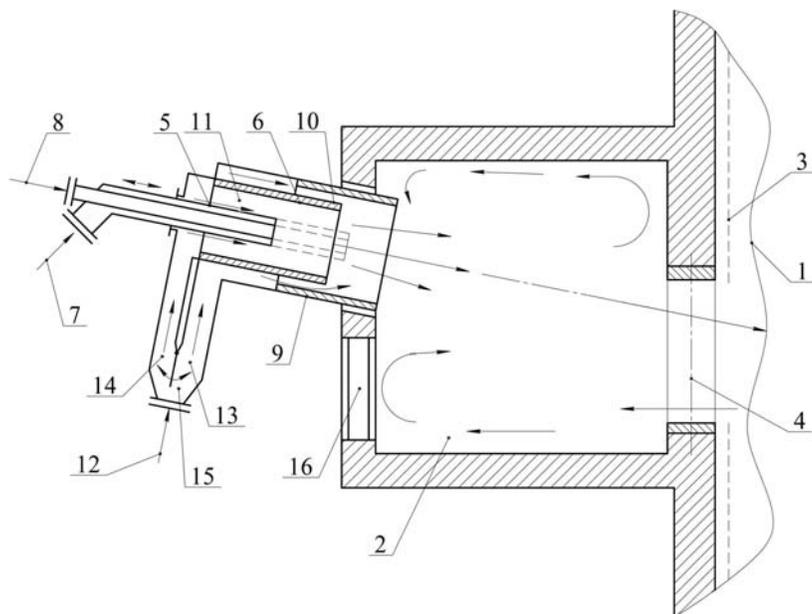


Рис. 1.27. Растопочное горелочное устройство

с двухступенчатым воспламенением пыли в предтопке котла:

- 1 – топка; 2 – предтопок; 3 – настенные экраны; 4 – окно; 5 – воздушное сопло; 6 – горелка воспламенения; 7 – линия воздуха; 8 – линия мазута; 9 – основная горелка; 10 – кольцевой зазор; 11 – кольцевой зазор; 12 – линия подачи угольной пыли; 13 – основной пылепровод; 14 – байпасный пылепровод; 15 – язычковый шибер; 16 – ремонтный люк

вода 3, термодомалывается на них и выходит из пылепровода в виде горючей взвеси, которая, загораясь от горелочного запального устройства 6, воспламеняет и остальную пыль, подаваемую по пылепроводу, путем открытия шибера 10 для ее прохода от источника пыли 1. После выхода на расчетный режим горения запальное устройство 6 отключается и индуктор 5 также отключается, байпасный пылепровод 4 перекрывается полностью с помощью шибера 10, и вся пыль поступает по основному пылепроводу 3 непосредственно в растопочную горелку 2.

Продольный разрез растопочного устройства с двухступенчатым воспламенением пыли в предтопке котла представлен на рис. 1.27.

Топка содержит центральную и периферийные камеры 1 и 2 сгорания, разделенные экраном 3 и сообщающиеся перепускным окном 4,

горелочное устройство 5, выходной участок которого заведен в объем периферийной камеры 2 сгорания и окружен циркуляционной трубой 6, перед входным торцом которой размещены сопла 7 подачи инжектирующего агента и воздушное сопло 8, а на выходном торце установлен горелочный насадок 9, причем циркуляционная труба 6 размещена внутри горелочного насадка 9 с образованием кольцевого зазора 10 между ними. Также циркуляционная труба 6 образует кольцевой зазор 2 с соплами 7 подачи инжектирующего агента, имеющими возможность осевого перемещения внутри циркуляционной трубы 6. Топка также содержит источник пыли, соединенный с горелочным устройством 5 основным и байпасным пылепроводами 13 и 14 с язычковым шибером 15 для регулирования подачи пыли в пылепроводы 13 и 14. Байпасный пылепровод 14 соединен с циркуляционной трубой 6, заведенной внутрь основного пылепровода 13, подключенного к горелочному насадку 9. В периферийной камере 2 сгорания выполнен также лаз 16 для установки и ремонта горелочного устройства 5. С целью подсосывания горячих топочных газов из топки центральной камеры 1 сгорания через перепускное окно 4 за счет эжекции при работе горелочного устройства 5 оно установлено в верхней части периферийной камеры 2 и направлено в верхнюю часть перепускного окна 4 для прохода газов встречно потоку по нижней части перепускного окна 4, при этом угол раскрытия факела горелочного устройства 5 не превышает 15° , так как при большем угле раскрытия факел будет запирать окно полностью и газы из центральной камеры 1 сгорания не будут поступать в периферийную камеру 2, что исключит прогрев камеры 1 сгорания и затянет растопку. Осевое перемещение сопел 7 инжектирующего агента внутри горелочного устройства 5 позволяет перед началом растопки прогреть последовательно все части горелочного устройства 5, особенно циркуляционную трубу 6 и горелочный насадок 9, выполненные в виде муфелей.

Топка работает следующим образом: воспламеняется запальником (не обозначен) легковоспламеняющееся топливо в соплах 7 инжектирующей среды, которое с помощью воздушного сопла 8 вдувается внутрь горелочного устройства 5 и прогревает все его части. Этому способствует возможность осевого перемещения сопел 7 инжектирующей среды. После прогрева язычковым шибером 15 перекрывается на входе основной пылепровод 13 и пыль в растопочном режиме поступает по байпасному пылепроводу 14 внутрь циркуляционной трубы 6, которая к этому времени раскалена с помощью сжигания в ней легковоспламеняющегося топлива (газ, мазут, солярка). Пыль, проходя внутри циркуляционной

трубы 6, прогревается и на выходе ее вспыхивает, так как из пыли выделяются горючие летучие, которые легко воспламеняются от пламени образующегося при горении легковоспламеняющегося топлива. Выходя из циркуляционной трубы 6, факел прогревает также и горелочный насадок 9. Таким образом, часть пыли, подаваемой через байпасный пылепровод 14, сгорает и прогревает основательно, уже без помощи дополнительного топлива из сопел 7 подачи инжектирующего агента, все части горелочного устройства 5. После этого прогрева язычковый шибер 15 устанавливается так, что пыль начинает проходить также по основному пылепроводу 13, поступая через раскаленную циркуляционную трубу 6, которая расположена внутри потока основной пыли, в горелочный насадок 9. После предварительного прогрева основного потока пыли теплом циркуляционной трубы 6 она легко вспыхивает в циркуляционной трубе 6, поджигаемая факелом от горения пыли, подаваемой по байпасному пылепроводу 14. Этому способствует и раскаленный горелочный насадок 9. После выхода на рабочий режим сопло 7 отключается, а работает только воздушное сопло 8. Воспламенение происходит от факела горения пыли, подаваемой в байпасный пылепровод 14. Телескопическое исполнение горелочного устройства 5 (все части могут перемещаться внутри друг друга) позволяет увеличивать или уменьшать поверхность контакта пыли с раскаленными муфельными частями в виде циркуляционной трубы 6 и горелочного насадка 9 в зависимости от скорости выделения горючих летучих из топлива. Это дает возможность на стадии наладки подобрать такую длину циркуляционной трубы, которая обеспечивает безотказное воспламенение пыли на выходе из нее. Благодаря наличию лаза 16 эта работа может быть выполнена быстро.

Таким образом, соединение байпасного пылепровода 14 с циркуляционной трубой 6, в свою очередь, заведенного внутрь основного пылепровода 13, подключенного к горелочному насадку 9, позволяет предварительно перед сжиганием прогреть пыль как в байпасном, так и в основном пылепроводах 14 и 13 и обеспечить этим безотказное воспламенение и безопасное горение без отрыва факела, так как в случае отрыва факела он вновь поджигается от факела, постоянно горящего в циркуляционной трубе 6, т.е. дежурного факела. Воспламенение происходит по каскадной схеме: запальным факелом из сопла 7 путем подачи инжектирующей среды поджигается малая часть пыли, подаваемой в байпасный пылепровод 14, с помощью горения которой подогрывается основная пыль, подаваемая по основному пылепроводу 13 с помощью раскаленного горелочного насадка 9, и циркуляционной трубы 6, разме-

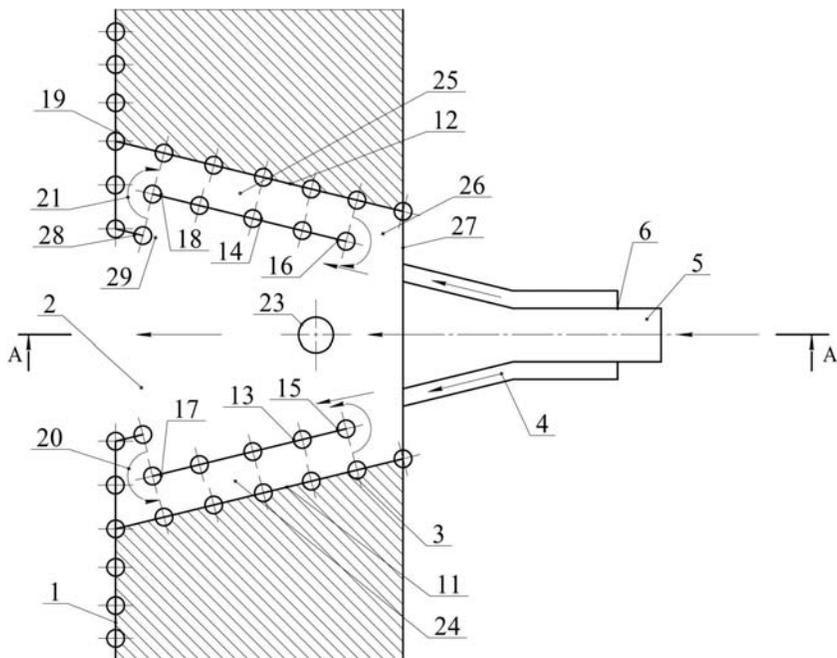


Рис. 1.28. Растопочное горелочное устройство с рециркуляцией пыли внутри горелки: 1 – экранированные стенки; 2 – амбразуры; 3 – экраны; 4, 5 – сопла; 6 – горелки; 7 – воздушный короб; 8 – автономные каналы; 9 – пыледелитель; 10 – регулирующая арматура; 11, 12 – боковые стенки; 13, 14 – газоплотные ширмы; 15, 16 – входные торцы ширм; 17, 18 – выходные торцы ширм; 19 – настенные экраны; 20, 21, 24, 25, 26, 29 – щелевые зазоры; 22 – нижние торцы амбразур; 23 – растопочная мазутная горелка; 27 – стенка амбразуры; 28 – торцы настенных экранов

щенной внутри основного потока пыли, в основном пылепроводе 13, что способствует воспламенению основного потока пыли. В растопочном режиме отрыв факела исключается.

На рис. 1.28 изображен поперечный разрез растопочного горелочного устройства с рециркуляцией пыли внутри горелки. Растопочное устройство содержит экранированные стенки 1 с выходными амбразурами 2, снабженные экранами 3 и подключенные к амбразурам сопла 4 и 5 горелок 6. Сопла 5 подсоединены к воздушному коробу 7, а сопла 4 – к источнику аэроэмульсии, имеющие автономные каналы 8, подсоединенные к пыледелителю 9 с регулирующей арматурой 10. Выходные амбразуры

выполнены в виде вертикального желоба с боковыми стенками 11 и 12, установленными под углом друг к другу, равным углу раскрытия факела. Внутри амбразуры 2 установлены параллельно боковым стенкам 11 и 12 вертикальные плоские газоплотные ширмы 13 и 14, при этом расстояние между входными торцами 15 и 16 ширм больше ширины сопел горелок 6, а выходные торцы 17 и 18 ширм 13 и 14 образуют с настенными экранами 19 зазоры 20 и 21. Настенные экраны 19 образованы путем разводки настенных экранов над амбразурами 2. На нижнем торце 22 амбразур 2 по оси вертикального блока горелок установлена мазутная растопочная горелка 23. Между ширмами 13 и 14 и боковыми стенками 11 и 12 имеются щелевые зазоры 24 и 25, а между ширмами 13 и 14 и горелками 6 зазоры 26. Вертикальная стенка 27 амбразуры 2, расположенная между боковыми стенками 11 и 12, на которой установлены горелки 6, выполнена также экранированной. Загнутые торцы 28 настенных экранов 19 заведены между ширмами 13 и 14 и загнуты внутрь ширм, при этом расстояние между загнутыми торцами настенных экранов 19 не менее расстояния между входными торцами 15 и 16 ширм. Горелки 6 выполнены в виде рас-трубов, расширяющихся к выходу за счет расширения воздушных сопел 5, а сопла 4 подачи аэросмеси размещены на боковых гранях воздушных сопел 5 и выполнены в форме плоских щелей, направленных в зазоры 29 между загнутыми торцами 28 настенных экранов 19 и ширмами 13 и 14. Растопочная мазутная горелка 23 установлена между ширмами 13 и 14, которые в зоне растопки выполнены ошпированными и торкреатированы, так же как экраны 3 и 19.

Топка работает следующим образом: включается растопочное устройство 23 и прогревается амбразура 2, затем на пусковую мощность включаются горелки 6 с помощью регулирующей арматуры 10. После выхода топки на номинальный режим растопочная горелка 23 отключается. При работе горелок 6 происходит рециркуляция горячей пыли вокруг ширм 13 и 14, которая обеспечивается путем разворота струи пыли, поступающей из сопел 4 аэросмеси загнутыми торцами 28 настенных экранов 19, и возврата ее через зазоры 29, 20, 21, 24 и 25 к устью горелок 6. Этому способствует направление сопел 4 аэросмеси в зазоры 29 и расположение их по боковым граням воздушных сопел 5 в форме раструбов, обеспечивающих направление пыли вдоль ширм 13 и 14 настильно, что зажигает пыль за счет предварительного ее прогрева при рециркуляции вокруг ширм.

Продольный разрез растопочного горелочного устройства с двухступенчатым воспламенением пыли представлен на рис. 1.29.

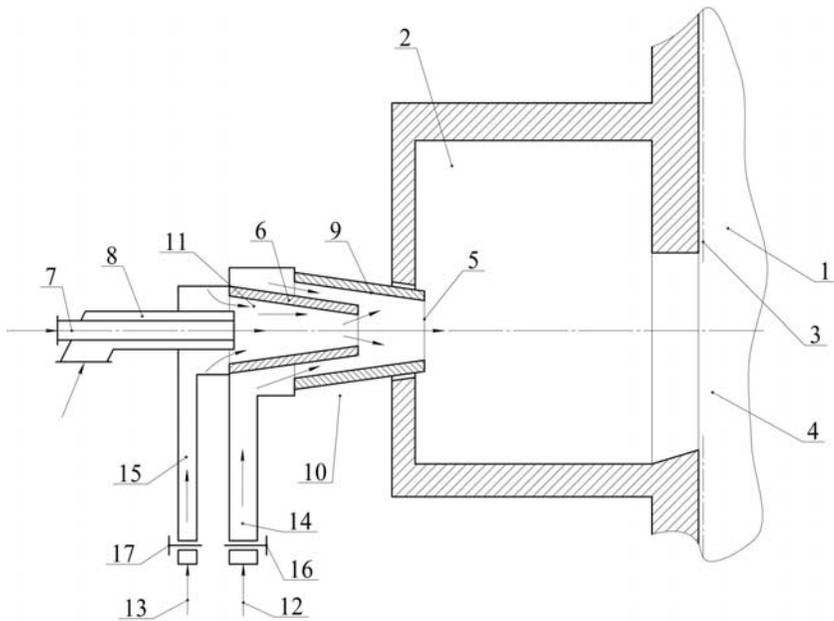


Рис. 1.29. Растопочное горелочное устройство

с двухступенчатым воспламенением пыли в предтопке котла:

1, 2 – центральная и периферийная камеры сгорания; 3 – экран; 4 – перепускное окно; 5 – горелочное устройство; 6 – циркуляционная труба; 7 – сопло подачи инжестирующего агента; 8 – воздушное сопло; 9 – горелочный насадок; 10, 11 – кольцевые зазоры; 12, 13 – источники основной и тонкодисперсной пыли; 14, 15 – основной и байпасный пылепроводы; 16, 17 – шибера

Устройство содержит центральную и периферийные камеры 1 и 2 сгорания, разделенные экраном 3 и сообщаются перепускным окном 4, горелочное устройство 5, выходной участок которого заведен в объем периферической камеры 2 сгорания и окружен циркуляционной трубой 6, перед входным торцом которой размещены сопло 7 подачи инжестирующего агента и воздушное сопло 8, а на выходном торце установлен горелочный насадок 9, причем циркуляционная труба 6 размещена внутри горелочного насадка 9 с образованием кольцевого зазора 10 между ними. Также циркуляционная труба 6 образует кольцевой зазор 11 с соплом 8 подачи воздуха. Топка также содержит источники 12 и 13 соответственно основной и тонкодисперсной пыли, соединенные с го-

релочным устройством 5 основными байпасным пылепроводами 14 и 15 с шиберами 16 и 17 для регулирования подачи пыли в пылепроводы 14 и 15. Байпасный пылепровод 15 соединен с циркуляционной трубой 6, заведенной во внутрь основного пылепровода 14, подключенного к горелочному насадку 9.

Топка работает следующим образом: воспламеняется запальником легковоспламеняющееся топливо (газ, солярка, мазут или тонкодисперсная сухая пыль) в сопле 7 инжектирующей среды, которое с помощью воздушного сопла 8 дувается внутрь горелочного устройства 5 и прогревает всего части. После прогрева шибером 16 на входе перекрывается основной пылепровод 14 и пыль из источника 13 тонкодисперсной пыли в растопочном режиме поступает через открытый шибер 17 по байпасному пылепроводу 15 внутрь циркуляционной трубы 6, которая к этому времени раскалена с помощью сжигания в ней легковоспламеняющегося топлива. Пыль, проходя внутри циркуляционной трубы 6, прогревается и на выходе ее вспыхивает, так как из пыли выделяются горючие летучие, которые легко воспламеняются от пламени, образующегося при горении легковоспламеняющегося топлива. Увеличению площади контакта тонкодисперсной пыли с раскаленной циркуляционной трубой 6 способствует ее конфузорная форма, обеспечивающая контакт большей части пыли с ней под острым углом, что ускоряет процесс выделения горючих летучих и увеличивает их объем, что повышает надежность воспламенения. Выходя из циркуляционной трубы 6, факел прогревает также и горелочный насадок 9. После этого открывают шибер 16 и пыль начинает проходить по основному пылепроводу 14, поступая через раскаленную циркуляционную трубу 6, которая расположена внутри потока основной пыли в горелочный насадок 9, после предварительного прогрева основного потока пыли теплом циркуляционной трубы 6, она легко вспыхивает в горелочном насадке 9, поджигаемая факелом от горения пыли, подаваемой по байпасному пылепроводу 15. Этому способствует и раскаленный горелочный насадок 9. После выхода на рабочий происходит от факела горения пыли, подаваемой в байпасный пылепровод 15. Конфузорная форма горелочного насадка увеличивает поверхность и площадь контакта его с набегающей пылью, так как пыль настигается на него под острым углом, что способствует более быстрому выделению летучих из основного топлива и увеличению их объема, так как с раскаленной поверхностью конфузора контактирует большая часть пыли, чем с цилиндрической поверхностью. Кроме того увеличивается дальнбойность факела и его

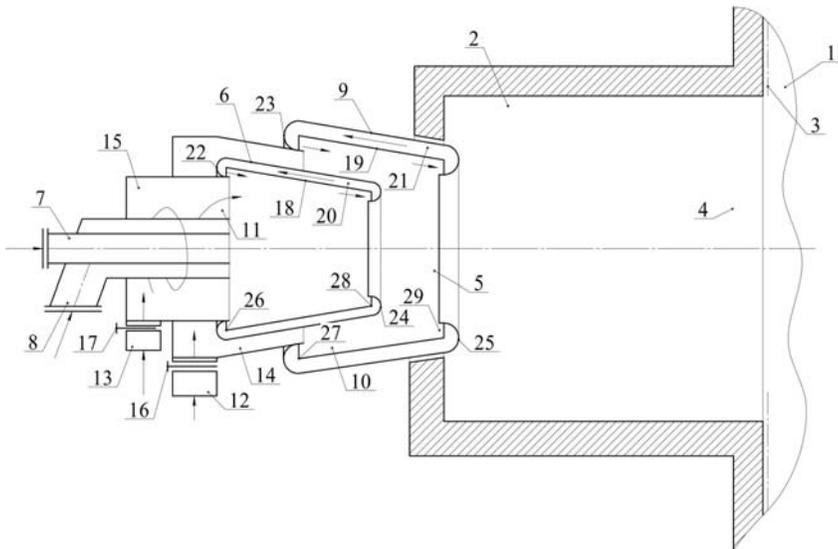


Рис. 1.30. Растопочное горелочное устройство с двухступенчатым воспламенением пыли и рециркуляции пыли внутри горелки:

1, 2 – центральная и периферийная камеры сгорания; 3 – экран; 4 – перепускное окно; 5 – горелочное устройство; 6 – циркуляционная труба; 7 – сопло подачи инжектирующего агента; 8 – воздушное сопло; 9 – горелочный насадок; 10, 11, 20, 21 – кольцевые зазоры; 12, 13 – источники пыли; 14, 15 – основной и байпасный пылепроводы; 16, 17 – шибера; 18, 19 – обечайки; 22, 23, 24, 25 – полуторы; 26, 27, 28, 29 – зазоры

напор, что исключает его провисание. Это способствует более объемному заполнению факелом топки.

На рис. 1.30 изображена схема растопочного горелочного устройства с двухступенчатым воспламенением пыли и рециркуляции пыли внутри горелки, который содержит центральную и периферийные камеры 1 и 2 сгорания, разделенные экраном 3 и сообщающиеся перепускным окном 4, горелочное устройство 5, выходной участок которого заведен в объем периферийной камеры 2 сгорания и окружен циркуляционной трубой 6, перед входным торцом которой размещены сопло 7 подачи инжектирующего агента и воздушное сопло 8, а на выходном торце установлен горелочный насадок 9. Циркуляционная труба 6 размещена внутри горелочного насадка 9 с образованием кольцевого зазора 10 между ними. Циркуляционная труба 6 образует также кольцевой зазор 11 с соплом 8

подачи воздуха. Топка содержит также источники 12 и 13 соответственно основной и тонкодисперсной пыли, соединенные с горелочным устройством 5 основным и байпасным пылепроводами 14 и 15 с шиберами 16 и 17 для регулировки подачи пыли в пылепроводы 14 и 15. Байпасный пылепровод 15 соединен с циркуляционной трубой 6, заведенной вовнутрь основного пылепровода, подключенного к горелочному насадку 9, причем горелочный насадок 9 и циркуляционная труба 6 выполнены в виде конфузоров. Внутри циркуляционной трубы 6 и горелочного насадка 9 установлены конфузورные обечайки 18 и 19 с образованием кольцевых зазоров 20 и 21 с циркуляционной трубой 6 и горелочным насадком 9 соответственно, входные и выходные торцы которых выполнены в виде полуторов 22, 23 и 24, 25 соответственно. Конфузорные обечайки 18 и 19 имеют также зазоры 26, 27 и 28, 29 для прохода аэросмеси с полуторами 22, 23 и 24, 25 соответственно. Горелочное устройство 5 выполнено из термостойкой стали. Источники 12 и 13 основной и тонкодисперсной пыли могут быть подсоединены к основному и байпасному пылепроводам 14 и 15 тангенциально.

Растопочное горелочное устройство работает следующим образом. С помощью запальника (не обозначен) воспламеняется легковоспламеняющееся топливо (газ, мазут, соляровое масло), подаваемое в сопло 7, с одновременной подачей воздуха в сопло 8.

Прогревается все горелочное устройство 5. После прогрева подается тонкодисперсная пыль в растопочном режиме в циркуляционную трубу 6 с помощью шибера 17 по пылепроводу 15 от источника 13 пыли. Пыль воспламеняется в факеле сопла 7 и поступает далее в горелочный насадок 9, который также прогревается горячей пылью. Часть пыли в циркуляционной трубе 6 срезается торцом полутора 24, обращенным навстречу потоку, и через кольцевые зазоры 28, 20 и 26 возвращается ко входному торцу циркуляционной трубы 6, и цикл повторяется. Рециркуляция пыли осуществляется вокруг обечайки 18 в зоне открытого пламени, что приводит к деструкции пыли, выделению горючих летучих и их воспламенению. Степень рециркуляции пыли зависит от величины кольцевого зазора 28, с помощью которого происходит захват пыли. В кольцевом зазоре 20 происходит выделение горючих летучих из топлива, которые эжектируются при работающем сопле 7 через кольцевой зазор 26. Проходное сечение в кольцевом зазоре 20 увеличивается по ходу потока, что способствует рециркуляции пыли, чему способствуют также плавный вход и выход аэросмеси в полуторах 24 и 22 при развороте ее на 180 градусов. При тангенциальной подаче пыли в пылепровод 15 от источника

пыли 13 рециркуляции подвергается концентрированная пыль, которая отжимается к стенкам обечайки 18 за счет вращения, создаваемого тангенциальной подачей. При этом время нахождения пыли в зоне высоких температур еще более увеличивается. А осевая часть обогащается горючими летучими, которые подсвечивают факел. После установления стабильного режима открывается шибер 16 на основном пылепроводе 14 и подается пыль в растопочном режиме в горелочный насадок 9 от источника 12 основной пыли. Проходя по кольцевому зазору 10, пыль прогревается, выделяет горючие летучие и воспламеняется от факела, выходящего из циркуляционной трубы 6. Пыль, поступившая в горелочный насадок 9, разделяется на два потока: осевая часть пыли выходит за пределы горелочного устройства 5 в периферийную камеру 2 сгорания, а пристеночная часть срезается торцом полутора 25 и по кольцевым зазорам 29, 21 и 27 возвращается ко входному торцу горелочного насадка 9 и процесс повторяется. Пыль рециркулирует вокруг обечайки 19 с выделением горючих летучих, их воспламенением от центрального факела, выходящего из сопла 7 и из циркуляционной трубы 6, и прогревом всего горелочного насадка 9. При тангенциальной подаче пыли в основной пылепровод 14 к стенкам обечайки 19 будет отжиматься концентрированная смесь и рециркуляции подвергаться крупнодисперсная пыль, что способствует ее деструкции, измельчению за счет термомеханического домола при рециркуляции и выравниванию гранулометрического состава. Это обеспечивает более полное воспламенение сразу всей пыли.

Схема муфельного предтопка с соплами высоконапорного воздуха представлена на рис. 1.31. Предтопок содержит центральную и по меньшей мере одну периферийную камеры 1 и 2 сгорания, разделенные экраном 3 и сообщающиеся перепускным окном 4, горелочное устройство 5, выходной участок которого заведен в объем периферийной камеры 2 сгорания, с циркуляционной трубой 6, перед входным торцом которой размещено сопло 7 подачи инжестирующей среды и воздушное сопло 8, пристыкованное к соплу 7, соединенные соответственно с источниками 9 и 10 пыли высокой концентрации и высоконапорного холодного воздуха. Сопло 7 подачи инжестирующей среды выполнено коленообразным, со скошенным углом, к которому соосно с соплом 7 пристыковано воздушное сопло 8, при этом диаметр воздушного сопла 8 меньше, чем диаметр сопла 7. На выходном торце циркуляционной трубы 6 установлен горелочный насадок 11 с кольцевым зазором 12 между ними, причем циркуляционная труба 6 размещена внутри горелочного насадка 11. Также циркуляционная труба образует кольцевой зазор 13 с соплом 7

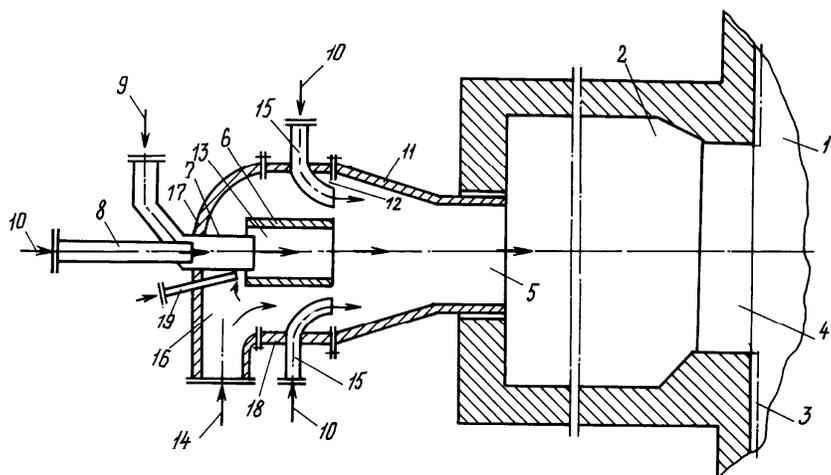


Рис. 1.31. Схема муфельного предтопка с соплами высоконапорного воздуха:
 1, 2 – центральная и периферийные камеры сгорания; 3 – экран; 4 – окно; 5 – горелочное устройство; 6 – циркуляционная труба; 7, 8, 15, 16, 19 – сопла; 9, 10 – ПВК; 11 – насадок; 12, 13 – кольцевые зазоры; 14 – подвод горячего воздуха; 17 – стенка; 18 – цилиндрическая вставка

подачи инжектирующей среды. Топка содержит источник 14 слабонапорного горячего воздуха. В кольцевой зазор 12 между циркуляционной трубой 6 и горелочным насадком 11 спутно потоку заведены сопла 15 высоконапорного холодного воздуха, подключенные к источнику 10 высоконапорного холодного воздуха, выходные торцы которых размещены в плоскости выходного и входного торцов соответственно циркуляционной трубы 6 и горелочного насадка 11, соединенного с источником 14 слабонапорного горячего воздуха через сопло 16, внутрь которого через стенку 17 заведено сопло 7 подачи инжектирующей среды. Выходной торец воздушного сопла 16 выполнен в виде цилиндрической вставки 18, которая может быть легко заменена, и через стенки которой в кольцевой зазор 12 заведены указанные воздушные сопла 15 подачи холодного высоконапорного воздуха, в одно из которых при необходимости может подаваться пыль высокой концентрации от источника 9. Топка также содержит сопло 19 подачи легковоспламеняющегося топлива (газ, мазут, соляровое масло или термоуголь). Горелочное устройство 5 выполнено из термостойкой стали.

Топка работает следующим образом: включается сопло 19 легковоспламеняющегося топлива, факел которого поджигается с помощью запальника (не обозначен). После прогрева горелочного устройства 5 в растопчатом режиме включается подача пыли высокой концентрации в сопло 7 подачи инжестирующей среды от источника 9 пыли высокой концентрации с одновременной подачей высоконапорного холодного воздуха в воздушное сопло 8 от источника 10 высоконапорного холодного воздуха и осуществляется подача горячего слабонапорного воздуха в сопло 16 от источника 14. Включаются также сопла 15 подачи высоконапорного холодного воздуха от источника 10 в растопочном режиме. В циркуляционной трубе 6 пыль воспламеняется и выходит из горелочного устройства 5 в периферийную камеру 2 сгорания и прогревает ее. После прогрева стенок камеры сгорания 2, которые выполнены в виде муфеля и поддерживают тепловую эмиссию при работе горелочного устройства 5 при отключенном сопле 19 подачи легковоспламеняющегося топлива, и при пульсациях питателя (не обозначен) осуществляется подача пыли высокой концентрации, что исключает обрыв факела. Подача холодного высоконапорного воздуха через сопла 8 и 15 увеличивает эжекцию в циркуляционной трубе 6 и горелочном насадке 11, так как увеличивается скорость истечения аэросмеси на выходном срезе торца сопла 7 подачи инжестирующей среды и на выходном срезе торца циркуляционной трубы 6, что позволяет подсасывать в циркуляционную трубу 6 больший объем горячего воздуха из сопла 16, что способствует воспламенению пыли. Кроме того, подача высоконапорного холодного воздуха в сопла 15 затягивает горячий воздух из сопла 14 в зону основного горения пыли и увеличивает дальнотойность факела, выходящего из горелочного устройства 5. При этом пыль высокой концентрации требует значительного разбавления воздухом для воспламенения, что и достигается в предлагаемом техническом решении за счет дробной подачи воздуха как на стадии воспламенения, так и на стадии основного горения. Для коррекции соотношения пыль-воздух в одно из сопел 15 может подаваться пыль высокой концентрации, что обеспечивает двухкаскадное воспламенение пыли: первичное воспламенение происходит внутри циркуляционной трубы 6, а основное горение – при выходе из нее, для чего нужен дополнительный воздух, подаваемый из сопел 15. По выходе топки на основной режим сопло 19 подачи легковоспламеняющегося топлива отключаются, а горелочное устройство 5 может работать как штатная горелка.

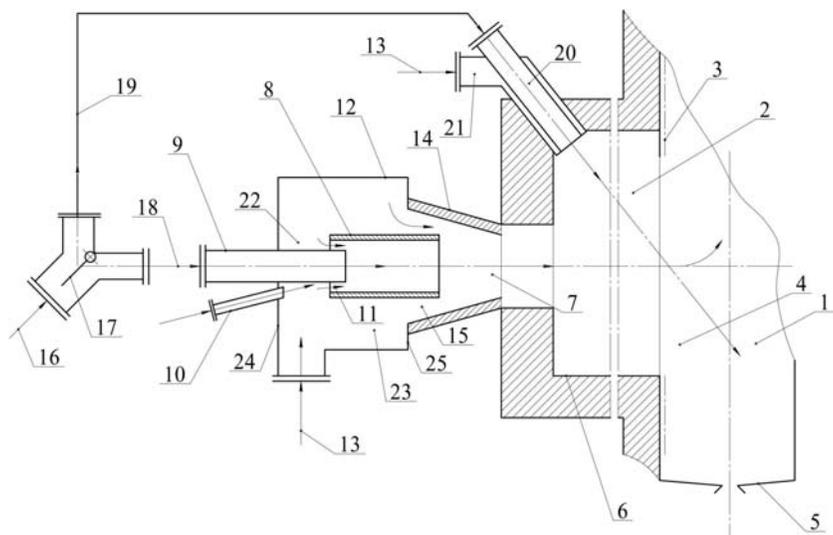


Рис. 1.32. Растопочное горелочное устройство с двумя неспаренными горелками в предтопке котла:

1, 2 – центральная и периферийная камеры сгорания; 3 – экран; 4 – перепускное окно; 5, 6 – поды центральной и периферийной камер сгорания; 7 – горелочное устройство; 8 – циркуляционная труба; 9, 10, 21 – сопла; 11, 15 – кольцевые зазоры; 12 – воздушный короб; 13 – магистраль горячего воздуха; 14 – горелочный насадок; 16 – источник пыли; 17 – язычковый шибер; 18, 19 – пылепроводы; 20 – дополнительная горелка; 22, 23 – зазоры; 24, 25 – боковые стенки воздушного короба

Продольный разрез растопочного горелочного устройства с двумя не спаренными горелками изображен на рис. 1.32. Топка содержит центральную и периферийные камеры 1 и 2 сгорания, разделенные экраном 3 и сообщающиеся перепускным окном 4, каждая из которых, соответственно, снабжена подом 5 и 6, растопочное горелочное устройство 7, выходной участок которого заведен в объем периферийной камеры сгорания 2 и окружен циркуляционной трубой 8, перед входным торцом которой размещено сопло 9 подачи инжектирующего агента, в качестве которого используется угольная пыль, и сопло 10 подачи легковоспламеняющегося топлива, в качестве которого используется газ или мазут, направленное в кольцевой зазор 11 между циркуляционной трубой 8 и соплом 9 подачи инжектирующего агента, а также источник воздуха, в качестве которого используется воздушный короб 12, подключенный к

магистрала 13 горячего воздуха, а на выходном торце установлен горелочный насадок 14, выполненный в виде конфузора, причем циркуляционная труба 8 размещена внутри горелочного насадка 14 с образованием кольцевого зазора 15 между ними. Топка также содержит источник 16 пыли, соединенный язычковым шибером 17 пылепроводами 18 и 19 соответственно с горелочным устройством 7 и дополнительной горелкой 20, снабженной воздушным соплом 21 и установленной в верхней части периферийной камеры 2 сгорания, направленной вниз через перепускное окно 4 на под 5 центральной камеры 1 сгорания. Циркуляционная труба 8 размещена внутри воздушного короба 12 с образованием зазоров 22 и 23 между ними, при этом через боковую стенку 24 воздушного короба 12 с одной стороны внутрь короба заведены сопла 9 и 10 инжектирующей среды и легковоспламеняющегося топлива, а с противоположной стороны через боковую стенку 25 пристыкован горелочный насадок 14.

Горелочное устройство работает следующим образом. С помощью запальника поджигается топливо, подаваемое в сопло 10 (газ, мазут), и прогревается горелочное устройство 7. Одновременно подается горячий воздух из магистрала 13 в воздушный короб 12. Затем от источника пыли 16 через язычковый шибер 17 и пылепровод 18, при закрытом пылепроводе 19, в сопло 9 подачи инжектирующего агента подается пыль в растопочном режиме, которая в горелочном устройстве 7 воспламеняется и поступает через перепускное окно 4 в центральную камеру 1 сгорания, где поджигает пыль из горелок топки, находящихся выше периферийной камеры 2 сгорания. После выхода топки на рабочий режим сопло 10 подачи легковоспламеняющегося топлива отключается, шибером 17 открывается пылепровод 19, в который поступает пыль, идущая на горелку 20 с одновременным включением воздуха в воздушное сопло 21 горелки 20 из магистрала 13 горячего воздуха. Пыль, выходящая из дополнительной горелки 20, воспламеняется, пересекая факел, выходящий из горелочного устройства 7. После воспламенения пыли в горелке 20 подача пыли в горелочное устройство 7 прекращается перекрытием пылепровода 18 шибером 17. Подается только воздух из магистрала 13 в воздушный короб 12, далее поступающий в периферийную камеру 2 сгорания в качестве вторичного воздуха для работающей дополнительной горелки 20, факел которой через перепускное окно 4 направлен на под 5 центральной камеры сгорания 1 и обеспечивает поддержание шлака в жидком состоянии для его свободной эвакуации через летку.

Схема растопочного горелочного устройства с подвижной циркуляционной трубой изображена на рис. 1.33. Топка содержит центральную 1

сопло 8 соединено с источником легковоспламеняющегося топлива (газ, мазут). Циркуляционная труба 6 выполнена из двух частей 14 и 15,двигающихся между собой, одна – 14 – из которых является неподвижной, а другая – 15 – имеет возможность осевого перемещения внутрь периферийной камеры 2 сгорания с помощью привода 16, размещенного вне горелочного устройства и сообщающегося с подвижной частью 15 циркуляционной трубы 6 через шток 17. В периферийной камере 2 сгорания могут быть предусмотрены также лаз 18, лючок 19 и «гляделка» 20 для установки и ремонта горелочного устройства 5, а также для контроля положения подвижной части 15 циркуляционной трубы 6 при переходе режима работы из растопочного на основной.

Топка работает следующим образом: в сопло 8 подачи инжестирующей среды поступает легковоспламеняющееся топливо (газ, мазут), которое поджигается запальником (не обозначен), и прогревается все горелочное устройство 5 при одновременной подаче горячего воздуха из источника 13 горячего воздуха в растопочном режиме. После прогрева горелочного устройства 5 из источника 12 пыли высокой концентрации в растопочном режиме подается пыль с первичным воздухом в сопло 7 подачи инжестирующей среды, которая воспламеняется в факеле, выходящем из сопла 8, и факелом горелочного устройства 5 прогревается вся периферийная камера 2 сгорания. После стабилизации горения и выхода на рабочий режим сопло 8 отключается, происходит воспламенение поступающей пыли в циркуляционной трубе 6, а горение поддерживается за счет тепловой инерции горелочного устройства 5 и муфеля периферийной камеры 2 сгорания. После растопки котла горелочное устройство 5 переводится из растопочного режима в режим штатной горелки котла, для чего с помощью приводного устройства 16 через шток 17 подвижная часть 15 циркуляционной трубы 6 выдвигается внутрь периферийной камеры 2 сгорания. Этим обеспечивается возможность подачи горячей пыли высокой концентрации непосредственно в центральную камеру 1 сгорания с недостатком воздуха, что, как показали замеры, снижает образование окислов азота в топке на 100 мг/м^3 , или на 10 – 15 % от общего их количества. Кроме того, увеличение длины циркуляционной трубы 6 за счет возможности осевого перемещения одной из ее частей позволяет организовать дробную подачу воздуха малыми порциями, что и определяет упомянутое горение с недостатком воздуха, снижающее образование окислов азота.

На рисунке 1.34 изображен горизонтальный разрез растопочного горелочного устройства с поворотной горелкой в предтопке котла.

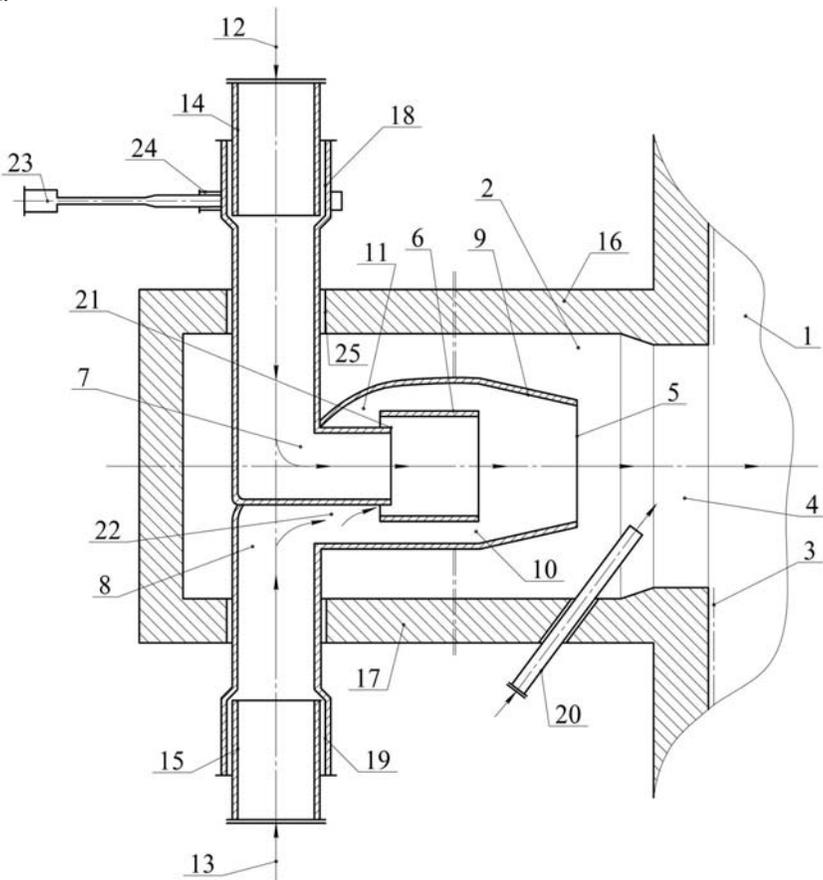


Рис. 1.34. Растопочная горелочное устройство с поворотной горелкой в предтопке котла: 1, 2 – центральная и периферийная камеры сгорания; 3 – экран; 4 – перепускное окно; 5 – горелочное устройство; 6 – циркуляционная труба; 7 – сопло подачи инжестирующего агента; 8 – воздушное сопло; 9 – горелочный насадок; 10, 11, 21, 22, 28 – кольцевые зазоры; 12, 13 – источники пыли высокой концентрации и воздуха; 14, 15 – патрубки подачи пыли высокой концентрации и воздуха; 16, 17 – боковые стенки; 18, 19 – входные торцы сопел 7 и 8; 20 – мазутная форсунка; 23 – рычаг; 24 – хомут; 25 – под центральной камеры сгорания; 26 – лётка; 27 – под периферийной камеры сгорания

Топка содержит центральную и, по меньшей мере, одну периферийную камеры 1 и 2 сгорания, разделенные экраном 3 и сообщающиеся перепускным окном 4, горелочное устройство 5, заведенное в объем периферийной камеры сгорания 2, с циркуляционной трубой 6, перед входным торцом которой размещено сопло 7 подачи инжектирующего агента и воздушное сопло 8, соединенное с горелочным насадком 9, установленным на выходном торце циркуляционной трубы 6 с образованием кольцевого зазора 10 между ними. Циркуляционная труба 6 образует также кольцевой зазор 11 с соплом 8 подачи воздуха. Топка содержит также источники 12 и 13 соответственно пыли высокой концентрации и воздуха, соединенные через патрубки 14 и 15 подачи пыли высокой концентрации и воздуха с соплами 7 и 8 подачи инжектирующего агента и воздуха соответственно. Периферийная камера сгорания 2 выполнена в виде муфеля с боковыми противоположными стенками 16 и 17, через которые внутрь периферийной камеры сгорания заведены с противоположных сторон входные участки сопел 7 и 8 подачи инжектирующего агента и воздуха, выполненные соосными и имеющими возможность осевого поворота вместе с горелочным устройством 5 относительно стационарно установленных неподвижных патрубков 14 и 15 подачи пыли высокой концентрации и воздуха, размещенных вне периферийной камеры 2 сгорания, причем входные торцы 18 и 19 сопел 7 и 8 выполнены с расширениями, образующими поворотные узлы, внутрь которых заведены патрубки 14 и 15 с образованием кольцевых зазоров для установки роликовых подшипников. Поворотные узлы размещены вне периферийной камеры сгорания 2, за ее наружными стенками, в холодной зоне. Топка также содержит мазутную форсунку 20, установленную перед выходным торцом горелочного устройства 5, размещенным перед перепускным окном 4, а сопла 7 и 8 подачи инжектирующего агента и воздуха расположены в верхней части периферийной камеры 2 сгорания, для обеспечения поворота горелочного устройства 5 из горизонтального положения (при растопке котла) вниз (после его растопки), с направлением его факела через перепускное окно 4 в надподовое пространство центральной камеры 1 сгорания, для прогрева жидкого шлака с целью его эффективной эвакуации. Между соплом 7 подачи инжектирующего агента и циркуляционной трубой 6 образован кольцевой зазор 21 для прохода воздуха из воздушного сопла 8 внутрь циркуляционной трубы 6 и эффективного его смешения с пылью высокой концентрации для обеспечения растопочной концентрации аэроаэрозоли с оптимальным соотношением пыль/воздух. Выходные участки сопел 7 и 8 подачи инжек-

тирующего агента и воздуха перед входом в горелочное устройство 5 выполнены между входными и выходными участками сопел с поворотом на 90 градусов так, что сопло 7 входит внутрь сопла 8 с образованием общей осевой линии, совпадающей с осями циркуляционной трубы 6 и горелочного насадка 9 и перпендикулярной к лежащей в одной плоскости с ней осевой линии входных участков с входными торцами 18 и 19 сопел 7 и 8, выходные участки которых образуют между собой кольцевой зазор 22, внутри которого размещена циркуляционная труба 6. При работе патрубки 14 и 15 подачи пыли и воздуха за счет эжекции создают внутри входных торцов 18 и 19 сопел 7 и 8 разрежение, исключающее выброс из них пыли и воздуха в окружающее пространство, что не требует их герметизации. Поворот горелочного устройства 5 осуществляется с помощью рычага 23, закрепленного в хомуте 24, охватывающем входной торец 18 сопла 7 подачи инжектирующего агента и имеющего электро-механический привод с дистанционным управлением.

Центральная камера сгорания 1 имеет под 25 с леткой 26 для удаления шлака, расположенные ниже пода 27 периферийной камеры сгорания 2. В боковых стенках 16 и 17 выполнены сквозные круглые отверстия для возможности поворота (внутри их) входных участков сопел 7 и 8 вместе с горелочным устройством 5 с образованием кольцевых зазоров 28 между стенками отверстий и соплами 7 и 8. Возможность поворота горелочного устройства 5 после растопки котла, вниз (на 30 градусов: – установлена опытным путем), позволяет прогреть через перепускное окно 4 надподовое пространство центральной камеры сгорания 1, предотвращая застывание жидкого шлака и способствуя его удалению из топки, чем и достигается решение задачи изобретения – повышение экономичности работы котла.

Топка работает следующим образом: включается мазутная форсунка 20 с помощью запального устройства (не обозначено) и прогревается вся периферийная камера 2 сгорания вместе с горелочным устройством 5. После прогрева, в растопочном режиме включается подача пыли высокой концентрации и воздуха от источников 12 и 13 пыли и воздуха. Через патрубки 14 и 15 подачи пыль и воздух поступают в сопла 7 и 8 подачи инжектирующего агента и воздуха, через которые транспортируются внутрь горелочного устройства 5 с одновременным поворотом потока на 90 градусов, осуществляемого между входными и выходными участками сопел 7 и 8. Первичное смешение пыли высокой концентрации и воздуха для создания оптимальной растопочной концентрации для воспламенения пыли при установившемся режиме работы горелоч-

ного устройства 5 происходит в циркуляционной трубе 6, в которую при работе сопла 7 затягивается воздух из сопла 8, с сильной турбулизацией аэромеси внутри циркуляционной трубы 6, что обеспечивает равномерность распределения пыли в воздушном потоке, а вторичное смешение с воздухом, обеспечивающее горение пыли, происходит в горелочном насадке 9 при поступлении воздуха из сопла 8 последовательно через зазоры 22, 11 и 10. При выходе пыли из горелочного устройства 5 она попадает в факел мазутной форсунки 20 и воспламеняется, после чего через перепускное окно 4 поступает в центральную камеру 1 сгорания, где воспламеняет пыль, выходящую из горелок, расположенных в центральной камере 1 сгорания выше перепускного окна 4. После выхода топки на рабочий режим мазутная форсунка 20 отключается, а горелочное устройство 5 продолжает работать как штатная горелка, путем поворота его (на 30 градусов) вниз и направления факела через перепускное окно 4 в надподовое пространство центральной камеры сгорания 1с помощью рычага 23, для прогрева пода 25 и эффективной эвакуации шлака из летки 26. Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет использовать растопочное горелочное устройство, размещенное внутри периферийной камеры сгорания, не только для растопки котла, но и для коррекции факела центральной камеры сгорания в его нижней части, в надподовом пространстве, к которому оно наиболее близко расположено, путем поворота горелочного устройства (на 30 градусов) вниз для прогрева пода центральной камеры сгорания за счет направления факела через перепускное окно, для эффективной эвакуации жидкого шлака из летки. Поворотные узлы при этом обеспечивают легкость поворота горелочного устройства, так как они находятся вне горелочного устройства, за пределами периферийной камеры сгорания, в холодной зоне, что исключает термическую деформацию поворотного механизма, затрудняющую его работу. Все это повышает экономичность работы топки котла, так как горелочное устройство используется во время всей работы котла, что позволяет достичь реализации задачи изобретения. Исполнение предлагаемого технического решения не требует значительных материальных затрат, так как вся арматура, используемая для его осуществления, является стандартной и имеется на каждой тепловой электрической станции.

Преимущество этой системы термической подготовки заключается в том, что пылеконцентраторы установлены соосно с основной горелкой. Газопылевой тракт от мельницы до горелки сокращается до минимума. Кроме того, тангенциальная подача аэромеси из размольного устройства на

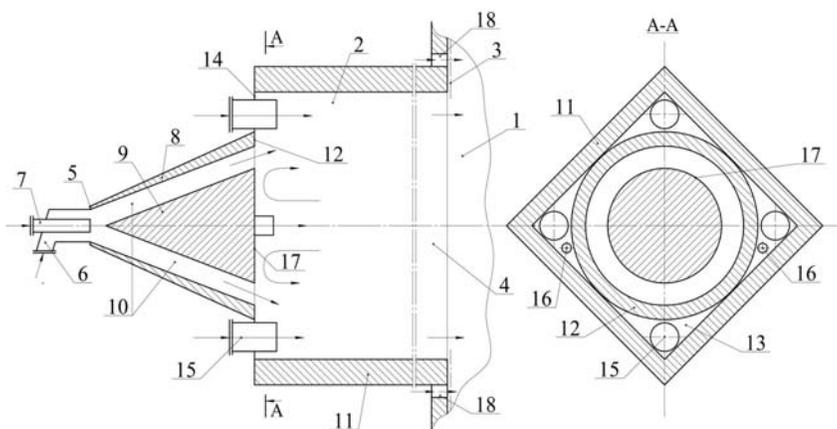


Рис. 1.35. Растопочное горелочное устройство

для сжигания пыли высокой концентрации в топке котла:

1, 2 – центральная и периферийная камеры сгорания; 3 – экран; 4 – перепускное окно; 5 – горелочное устройство; 6 – сопло первичного воздуха; 7 – сопло подачи пыли высокой концентрации (ПВК); 8 – диффузор; 9 – рассекатель; 10 – кольцевой канал; 11 – равносторонний прямоугольный параллелепипед; 12 – широкое основание диффузора 8; 13 – зазоры; 14 – вертикальная пластина; 15 – сопла вторичного воздуха; 16 – растопочные мазутные форсунки; 17 – широкое основание рассекателя 9; 18 – сопла третичного воздуха

вход основного пылеконцентратора позволяет весь напор мельницы использовать на тангенциальную закрутку потока угольной пыли без потерь его на завихрителях. Это значительно снижает аэродинамическое сопротивление системы термоподготовки.

На рис. 1.35 представлена принципиальная схема растопочного горелочного устройства для сжигания пыли высокой концентрации в топке котла. Топка содержит центральную 1 и по меньшей мере одну периферийную камеры сгорания 2, разделенные экраном 3 и сообщающиеся перепускным окном 4. В периферийную камеру 2 сгорания, выполненную в виде муфеля, заведён выходной торец горелочного устройства 5, состоящего из сопла 6 первичного воздуха и сопла 7 подачи пыли высокой концентрации (ПВК), который выполнен в виде диффузора 8 с размещённым внутри его рассекателем 9 с образованием между ними расширяющегося в сторону периферийной камеры 2 сгорания кольцевого канала 10. Периферийная камера 2 сгорания выполнена в виде равностороннего прямоугольного параллелепипеда 11. Широким основанием 12

диффузор 8 заведён внутрь параллелепипеда ном контакте с его стенками с образованием зазоров 13 с углами параллелепипеда, заглушённых пластинами 14, через которые внутрь периферийной камеры сгорания 2 спутно потоку, вдоль углов заведены сопла 15. Широкое основание 17 рассекателя 9 лежит в плоскости широкого основания 12 диффузора 8, наружный диаметр которого равен диаметру вписанной в параллелепипед 11 окружности. На выходном торце периферийной камеры 2 сгорания размещены сопла 18 третичного воздух Топка работает следующим образом: поджигается мазут в растопочных мазутных форсунках 16 с помощью газовой горелки с искровым запальником (не обозначена) и прогревается муфель периферийной камеры сгорания 2. После прогрева муфеля в растопочном режиме внутрь муфеля через расширяющийся канал 10 подается пыль высокой концентрации (ПВК) из сопла 7 подачи ПВК с одновременной подачей первичного воздуха из сопла 6. В кольцевом расширяющемся канале 10 аэрозоль снижает концентрацию до растопочной за счёт расширения объёма и настиляется на раскалённые стенки муфеля периферийной камеры сгорания 2. При контакте с раскалённой поверхностью из частиц угля выделяются горючие летучие, которые вспыхивают в струях вторичного воздуха, подаваемого в периферийную камеру сгорания 2 из сопел 15, и поджигают коксовую основу, которая догорает в центральной камере 1 сгорания в струях третичного воздуха, подаваемого из воздушных сопел 18. а.

После выхода на нормальный режим работы растопочные мазутные форсунки отключаются. Так как топливо настиляется на раскалённый муфель периферийной камеры сгорания 2, то оно быстро прогревается и воспламеняется, чего не наблюдается при подаче пыли по центру муфеля. В этом заключается преимущество предлагаемого устройства. Кроме того, по углам периферийной камеры сгорания 2 при настильной подаче происходит концентрация пыли при веерном её выходе из расширяющегося канала 10, и тут же пыль подхватывается соплами 15 вторичного воздуха, размещёнными также в углах, что обеспечивает дружное воспламенение пыли и её транспорт по углам в центральную камеру сгорания 1 для дожигания. Таким образом, топка разгружается от несвойственной ей функции – подготовки пыли к воспламенению, что повышает её маневренность за счёт запаса по производительности, так как часть нагрузки перераспределяется на периферийные камеры сгорания.

Выполнение периферийной камеры сгорания в виде равностороннего прямоугольного параллелепипеда с заведением выходного торца горелочного устройства внутрь параллелепипеда в плотном контакте с

его стенками с образованием зазоров с углами параллелепипеда, в которые спутно потоку вдоль углов заведены сопла вторичного воздуха и растопочные горелки, а широкое основание рассекателя лежит в плоскости широкого основания диффузора, наружный диаметр которого равен диаметру вписанной в параллелепипед окружности, позволяет произвести настильную подачу пыли на раскалённые растопочными мазутными форсунками стенки муфеля, что увеличивает температуру пыли за счёт контактной теплопередачи, которая выше конвективной, когда пыль не касается стенок муфеля. Кроме того, раскалённый муфель обладает высокой тепловой инерцией и тепловой эмиссией, что при контакте с частицей пыли обеспечивает в момент контакта выделение из частицы горючих летучих, которые, воспламеняясь, поджигают коксовую основу, что ускоряет процесс воспламенения и выгорания пыли, при этом объём центральной камеры сгорания используется только для горения, а не для подготовки топлива к горению, что происходит при подаче в топку сырого топлива. Так как стоимость неохлаждаемой периферийной камеры сгорания значительно дешевле чем экранированной центральной камеры сгорания, то подготовка пыли к воспламенению в периферийной камере менее затратна и более экономически выгодна, чем в центральной камере сгорания. Это даёт значительный экономический эффект, потому что освободившийся объём центральной камеры сгорания от подготовки топлива к горению можно использовать для увеличения паропроизводительности котла. Обеспечивается также растопочная концентрация пыли за счёт уменьшения её концентрации при проходе в расширяющемся кольцевом канале между диффузором и рассекателем, увеличивается поверхность взаимодействия с окислителем при выходе пыли из диффузора в муфель, так как пыль растекается по всей поверхности муфеля. На предварительно прогретых растопочными мазутными форсунками стенках пыль прогревается до температуры воспламенения и вспыхивает в струях вторичного воздуха, подаваемого в углы параллелепипеда, в которых происходит частичная концентрация пыли при выходе из диффузора. Кроме того, за счёт плоской поверхности широкого основания рассекателя на его выходном торце образуется зона разрежения, в которую подтягиваются по центру периферийной камеры сгорания за счёт обратных токов горячие топочные газы из центральной камеры сгорания. Подогрев также происходит за счёт лучистой составляющей факела центральной камеры сгорания через перепускное окно, что ещё больше увеличивает температуру внутри муфеля (по произведённым замерам до 1200 °С). Продольный разрез усовершенствованного растопоч-

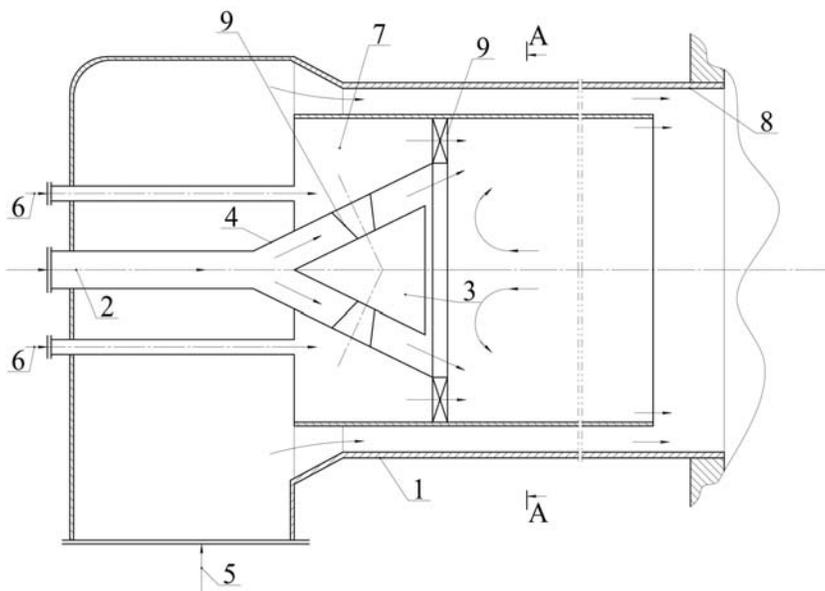


Рис.1.36. Усовершенствованное растопочное горелочное устройство для пыли высокой концентрации: в топке котла:

1 – сопло подачи пыли высокой концентрации (ПВК); 2 – коническая часть сопла; 3 – выходной торец сопла; 4 – рассекатель; 5 – циркуляционная труба; 6, 8 – кольцевые зазоры; 7 – горелочный насадок; 9 – выходной торец горелочного насадка; 10 – амбразура; 11 – топка котла; 12 – входной торец горелочного насадка; 13 – воздушный короб; 14 – источник горячего воздуха; 15 – сопла подачи высоконапорного воздуха; 16 – источник высоконапорного воздуха; 17 – лопаточный завихритель; 18 – вертикальная кольцевая вставка; 19 – воздушный коллектор; 20 – плоские пластины; 21 – конусный канал; 22 – тупой торец рассекателя 4

ного горелочного устройства для сжигания пыли высокой концентрации представлен на рис. 1.36. Горелочное устройство содержит сопло 1 подачи пыли высокой концентрации (ПВК) с расширяющейся конической частью 2 на выходном торце 3 и коническим рассекателем 4 внутри неё, заведённое внутрь циркуляционной трубы 5 с образованием кольцевого зазора 6 между ними, которая, в свою очередь, заведена в горелочный насадок 7 с кольцевым зазором 8, пристыкованный выходным торцом 9 к амбразуре 10 топки 11 котла, а входным торцом 12 - к воздушному коробу 13, соединённому с источником 14 горячего воздуха, при этом в циркуляционную трубу 5 дополнительно заведены сопла 15 подачи вы-

соконапорного воздуха, подключённые к источнику 16 высоконапорного воздуха, и лопаточный завихритель 17 с регулируемым поворотом лопаток, установленный в кольцевом зазоре 6, между выходным торцом 3 сопла 1 подачи пыли высокой концентрации (ПВК) и циркуляционной трубой 5 заглушённой с входного торца вертикальной кольцевой вставкой 18, соединённой с конической частью 2 сопла 1 подачи пыли высокой концентрации (ПВК) с образованием воздушного коллектора 19 внутри циркуляционной трубы 5, к которому со стороны входного торца циркуляционной трубы 5 введены сквозь воздушный короб 13 и кольцевую вставку 18 указанные сопла 15 подачи высоконапорного воздуха, выходные торцы которых расположены в плоскости входных торцов циркуляционной трубы 5 и горелочного насадка 7.

Конический рассекатель 4 может быть зафиксирован в расширяющейся конической части 2 сопла 1 подачи ПВК с помощью плоских пластин 20 с образованием расширяющегося конусного канала 21, ограниченного плоскостью тупого торца 22 рассекателя 4.

Горелочное устройство работает следующим образом: пыль высокой концентрации (ПВК) через сопло 1 поступает внутрь циркуляционной трубы 5, куда одновременно подаётся высоконапорный воздух через сопла 15 от источника 16 через воздушный коллектор 19 и регулируемые поворотные лопатки завихрителя 17. В циркуляционной трубе 5 компоненты горючей смеси смешиваются и воспламеняются за счёт подсоса внутрь циркуляционной трубы 5 горячих топочных газов из топки 11 и лучистой составляющей факела топки, проникающей в циркуляционную трубу 5 через амбразуру 10 топки 11. При этом температура внутри циркуляционной трубы 5 может достигать 1200 °С. Подсос газов из топки происходит за счёт разрежения, создаваемого тупым торцом 22 рассекателя 4 при обтекании его ПВК по расширяющемуся конусному каналу 21, так как происходит срыв потока по всему периметру тупого торца 22 рассекателя 4. Оптимальная растопочная концентрация по воздуху создается за счёт поворота лопаток завихрителя 17, регулирующего поступление воздуха в циркуляционную трубу 5 из воздушного коллектора 19, а оптимальная растопочная концентрация по пыли создается за счёт падения концентрации ПВК до растопочной при движении ПВК внутри расширяющегося конусного канала 21 до поступления пыли в циркуляционную трубу 5, при этом воздух не примешивается к пыли. После воспламенения пыли она из циркуляционной трубы 5 поступает в горелочный насадок 7, где смешивается с вторичным воздухом, поступающим из воздушного короба 13 от источника 14 горячего воздуха по кольцево-

му зазору 8, и далее пыль поступает через амбразуру 10 в топку 11 котла. В результате чёткого расчёта оптимальной растопочной концентрации компонентов горючей смеси, которая достигается по воздуху регулируемым поворотом лопаток завихрителя 17 и по пыли – регулируемым падением концентрации ПВК до растопочной в конусном расширяющемся канале 21, а также путем создания высокой температуры внутри циркуляционной трубы 5 за счёт подсоса топочных газов из амбразур 10 топки 11 котла в циркуляционную трубу 5 и лучистой составляющей факела топки, возможно быстрое воспламенение горючей смеси и полное выгорание пыли без избытка воздуха, что снижает образование окислов азота в дымовых газах, чем и достигается решение задачи изобретения. На рис. 1.37 изображён вертикальный разрез топки котла жидкого шлака из лётки 20. Таким образом, благодаря возможности поворота и осевого продольного перемещения подвижной части горелочного устройства 5 обеспечивается не только растопка котла, но и подсветка надподового пространства центральной камеры сгорания 1, что исключает застывание жидкого шлака и, как следствие, перерыв в работе котла, чем и достигается выполнение задачи изобретения, при этом поворотный узел вынесен за наружную стенку периферийной камеры 2 сгорания, в холодную зону, что обеспечивает надёжность его работы.

Топка, содержит центральную 1 и, по меньшей мере, одну периферийную 2 камеры сгорания, разделённые экраном 3 и сообщающиеся перепускным окном 4, горелочное устройство 5, заведённое внутрь периферийной камеры 1 сгорания через торцевую 6 или боковую 7 стенки периферийной камеры 2 сгорания, и содержащее коаксиально установленные циркуляционную трубу 8 и горелочный насадок 9, с образованием кольцевого зазора 10 между ними, в расширенные входные торцы 11 и 12 которых заведены соосно входным участкам с кольцевыми зазорами 13 и 14 коаксиально установленные сопла 15 и 16 подачи соответственно пыли высокой концентрации (ПВК) и горячего воздуха. Эти сопла подачи соединены с источниками 17 и 18 пыли высокой концентрации (ПВК) и горячего воздуха, при этом сопла 15 и 16 установлены стационарно и неподвижно и жестко скреплены между собой на входных участках. Центральная камера сгорания 2 содержит под 19 и лётку 20 для выхода жидкого шлака, размещённые ниже пода 21 периферийной камеры сгорания 1, выполненной в виде муфеля, причём циркуляционная труба 8 и горелочный насадок 9 жёстко скреплены между собой радиальными пластинчатыми вставками 22 и на своих выходных участках выполнены в виде колена 23 или дуги 24 и имеют возможность синхронного осевого

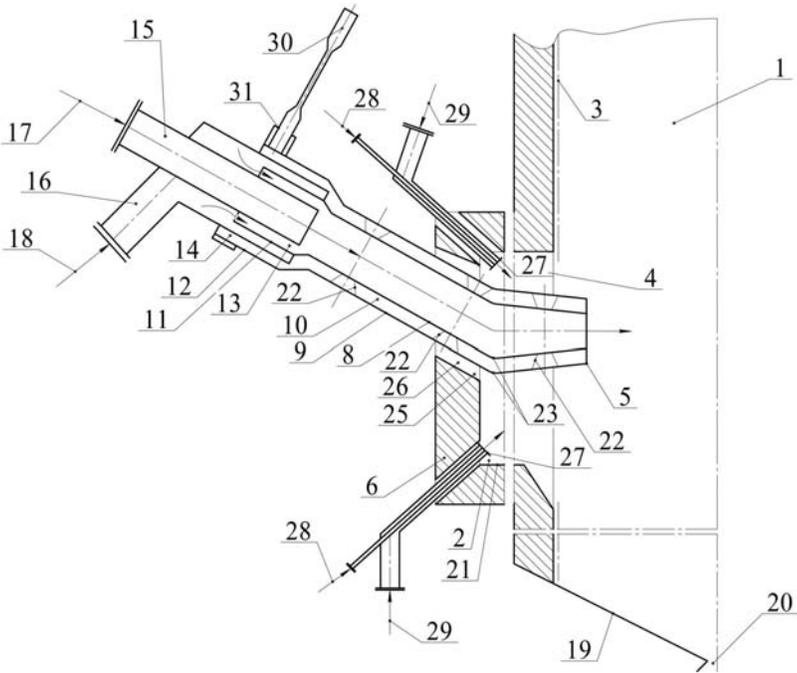


Рис.1.37. а. Безмазутное растопочное устройство с поворотной горелкой.

Вертикальный разрез топки котла с установкой горелочного устройства с коленообразными выходными участками в положении «для подсветки» факелом горелочного устройства надподового пространства центральной камеры сгорания:

1, 2 – центральная и периферийная камеры сгорания; 3 – экран; 4 – перепускное окно; 5 – горелочное устройство; 6, 7 – торцевая и боковая стенки периферийной камеры сгорания; 8 – циркуляционная труба; 9 – горелочный насадок; 10, 13, 14, 26 – кольцевые зазоры; 11, 12 – входные торцы циркуляционной трубы 8 и горелочного насадка 9; 15, 16 – коаксиальные сопла подачи пыли высокой концентрации (ПВК) и горячего воздуха; 17 – источники (ПВК) и горячего воздуха; 19 – под центральной камеры 1 сгорания; 20 – лётка; 21 – под периферийной камеры 2 сгорания; 22 – радиальные пластинчатые вставки; 23 – колена; 24 - дуги; 25 – цилиндрическое отверстие; 27 – запальные горелки; 28, 29 – источники легковоспламеняющегося топлива и горячего воздуха; 30 – рычаг; 31 – хомут

поворота относительно сопел 15 и 16 подачи соответственно пыли высокой концентрации и горячего воздуха. В торцевой 6 (или боковой 7) стенке выполнено цилиндрическое отверстие 25, в которое с кольцевым зазором 26 заведены горелочный насадок 9 с циркуляционной трубой 8

лочного устройства 5 размещен вне периферийной камеры сгорания 2, в холодной зоне, и включает попарно скреплённые на входных и выходных участках выходные торцы сопел 15 и 16 подачи пыли и воздуха и входные торцы 11 и 12 циркуляционной трубы 8 и горелочного насадка 9, телескопически заведённые друг в друга своими выходными и входными торцами, выполненными с кольцевыми зазорами 13 и 14, и обеспечивает не только осевой поворот горелочного насадка 9 с циркуляционной трубой 8 внутри относительно стационарных сопел 15 и 16 подачи пыли и воздуха, но и осевое продольное перемещение горелочного насадка 9 и циркуляционной трубы 8 относительно сопел 16 и 15 за счёт телескопического исполнения поворотного узла. Внутри периферийной камеры сгорания 2 установлены две запальные горелки 27 – для прогрева муфеля периферийной камеры 2 и для прогрева выходного участка горелочного устройства 5, расположенного внутри периферийной камеры 2, перед растопкой котла, соединённые с источниками 28 и 29 соответственно легковоспламеняющегося топлива и горячего воздуха. Для поворота горелочного устройства 5 установлен рычаг 30 в хомуте 31, охватывающем расширенный входной торец 12 горелочного насадка 9. Горелочное устройство 5 выполнено из термостойкой стали.

Топка работает следующим образом: включаются запальные горелки 27 при подаче легковоспламеняющегося топлива и воздуха от источников 28 и 29 топлива и воздуха и прогреваются периферийная камера сгорания 2 и выходной участок горелочного устройства 5, размещённый внутри периферийной камеры сгорания 2. Затем в растопочном режиме подаются в горелочное устройство 5 пыль высокой концентрации (ПВК) с первичным воздухом и горячий воздух от источников 17 и 18 пыли (ПВК) и горячего воздуха. В растопочном режиме горелочное устройство 5 устанавливается с помощью рычага 30 так, что ось выходного участка его располагается горизонтально, а после растопки ось выходного участка направляется поворотом рычага 30 на лётку 20 центральной камеры сгорания 1 для подсветки факелом горелочного устройства 5 надподового пространства центральной камеры 1 сгорания с целью обеспечения надёжной эвакуации жидкого шлака из пода 19 центральной камеры 1 сгорания. Осуществляется синхронный осевой поворот одновременно горелочного насадка 9 и циркуляционной трубы 8, размещённой внутри горелочного 7 насадка и жёстко скреплённого с ним. Для более точного направления факела горелочного устройства 5 на лётку 20 осуществляется также осевое синхронное продольное перемещение горелочного насадка 9 с циркуляционной трубой 8 внутри относительно стенки 6

(или 7) периферийной камеры сгорания 2 в зазоре 26 с одновременным осевым продольным перемещением относительно стационарных сопел 15 и 16 подачи пыли и горячего воздуха, обеспечиваемым зазорами 13 и 14 и телескопическим исполнением поворотного узла. В горелочном устройстве 5 осуществляется ступенчатая подача горячего воздуха и ступенчатое смешение его с пылью, для чего используется система из двух коаксиальных труб – циркуляционной трубы 8 и горелочного насадка 9. Пыль высокой концентрации (ПВК) подается с первичным воздухом в сопло 15, на выходе из которого за счёт эжекции подсасывается через кольцевые зазоры 13 вторичный воздух, подаваемый из сопла 16. В циркуляционной трубе 8 происходит турбулентное смешение пыли высокой концентрации с вторичным воздухом для разбавления ПВК до оптимальной растопочной концентрации и далее на выходном торце циркуляционной трубы 8 пыль смешивается с третичным воздухом, выходящим из выходного торца горелочного насадка 9, где происходит воспламенение пыли от запальной горелки 27. После стабилизации воспламенения запальные горелки 27 отключаются, а после выхода котла на рабочий режим горелочное устройство 5 направляется осью своего выходного участка с помощью поворота рычагом 30 на лётку 20 для подсветки надподового пространства центральной камеры сгорания 1 и обеспечивает вытекание жидкого шлака.

Принципиальная схема универсального горелочного устройства приведена на рис. 1.38. Горелочное устройство содержит растопочную горелку 1, включающую циркуляционную трубу 2 с муфелем 3, размещённую в воздушном коробе 4, перед входным торцом которой установлено кольцевое сопло 5 подачи пыли высокой концентрации (ПВК), сопло 6 горячего воздуха, тангенциально пристыкованное к кольцевому соплу 5, и растопочная мазутная форсунка 7, установленная внутри кольцевого сопла 5 подачи ПВК, заведённого через фронтальную стенку 8 воздушного короба внутрь муфеля 3 циркуляционной трубы 2, а с противоположной стенки 9 воздушного короба 4 к нему пристыкован входным торцом горелочный насадок 10, выходной торец которого заведён внутрь амбразуры 11 горелочного устройства топки 12 котла, при этом оси циркуляционной трубы 2 и горелочного насадка 10 установлены горизонтально и диаметры их одинаковы. Горелочное устройство содержит также дополнительную горелку 13 с коаксиальными соплами 14 и 15 подачи ПВК и горячего воздуха, ось которой направлена на под (не обозначен) камеры сгорания топки 12 котла под острым углом к оси растопочной горелки 1. К соплу 14 подачи ПВК соосно может быть при-

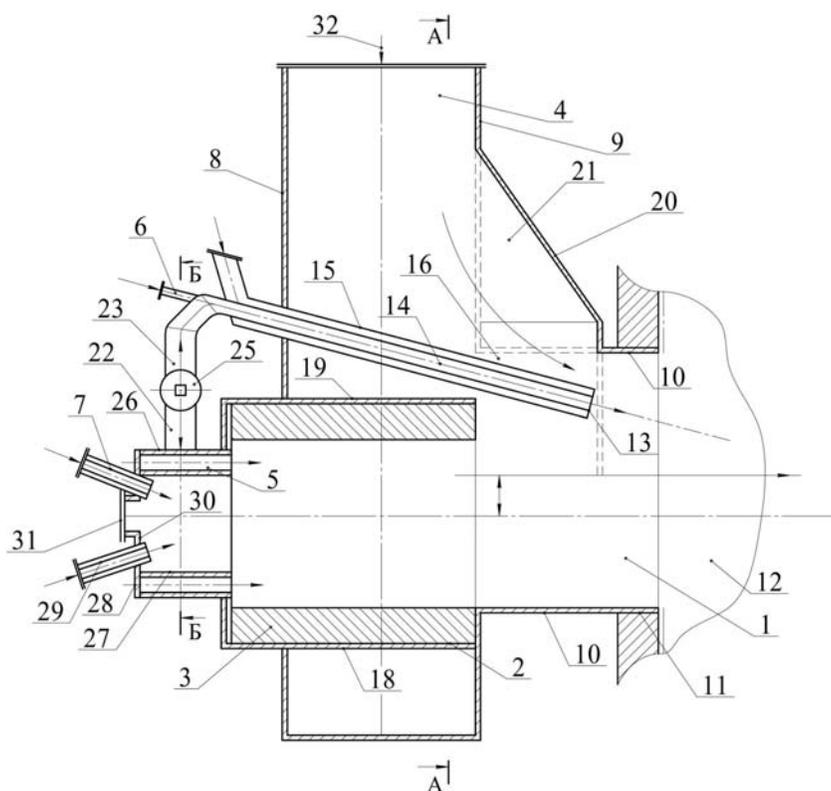


Рис. 1.38. Принципиальная схема универсального горелочного устройства:
 1 – растопочная горелка; 2 – циркуляционная труба; 3 – муфта; 4 – воздушный короб;
 5 – кольцевое сопло подачи пыли высокой концентрации (ПВК); 6 – сопло горячего воздуха;
 7 – растопочная мазутная форсунка; 8, 9 – стенки воздушного короба; 10 – горелочный насадок;
 11 – амбразура; 12 – топка котла; 13 – дополнительная горелка; 14, 15 – коаксиальные сопла подачи ПВК и горячего воздуха; 16 – зазор; 17 – кожух муфеля; 18, 19 – нижний и верхний полуцилиндры кожуха; 20 – откос; 21 – боковины; 22, 23 – пылепроводы;
 24 – источник ПВК; 25 – трёхходовой кран; 26, 27 – патрубки; 28, 30 – кольцевые крышки;
 29 – запальник; 31 – гляделка; 32 – источник горячего воздуха

стыковано сопло 6 подачи горячего воздуха для создания растопочной концентрации пыли на выходе из дополнительной горелки 13.

Оси циркуляционной трубы 2 и горелочного насадка 10 установлены эксцентрично относительно друг друга и лежат в одной вертикальной

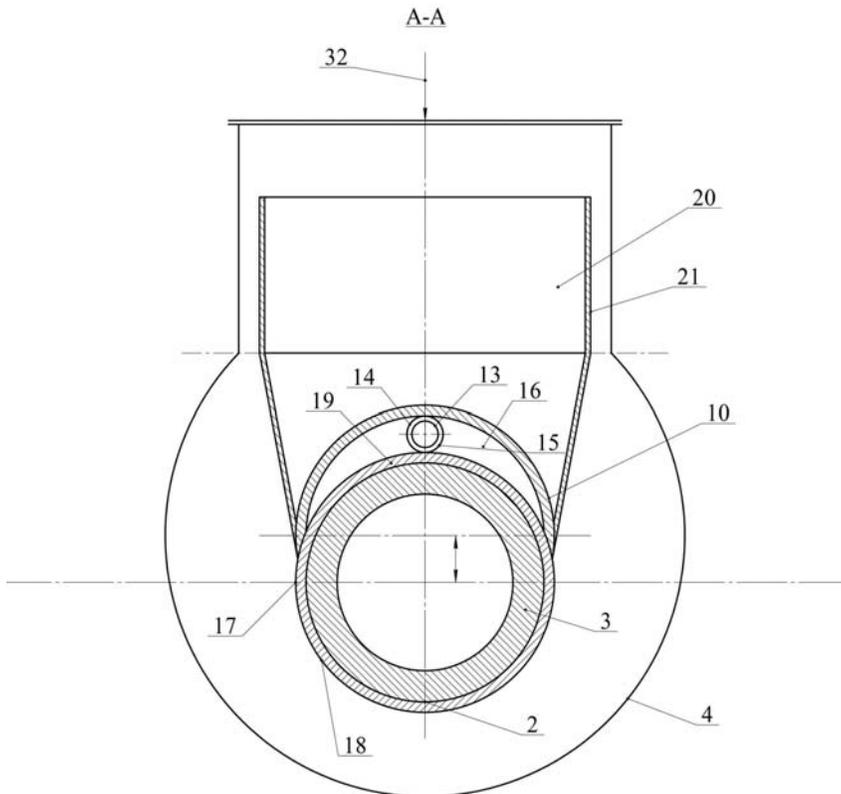


Рис.1.38, а. Принципиальная схема универсального горелочного устройства.
Поперечный разрез универсального горелочного устройства

плоскости с образованием между циркуляционной трубой и горелочным насадком в верхней их части зазора 16, через который в горелочный насадок 10 растопочной горелки 1 заведен выходной торец указанной дополнительной горелки 13, ось которой лежит в этой же вертикальной плоскости, при этом выходной и входной торцы внутренних поверхностей, соответственно, муфеля 3 и горелочного насадка 10 в нижней их части состыкованы между собой заподлицо, а входной торец дополнительной горелки 13 заведён внутрь воздушного короба 4 через его фронтальную стенку 8. Муфель может быть выполнен из фасонных клиновидных кир-

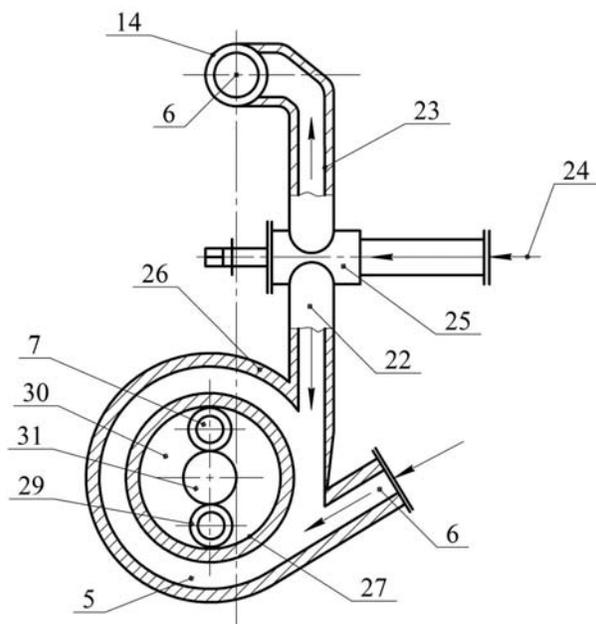


Рис. 1.38, б. Принципиальная схема универсального горелочного устройства.
Разрез Б-Б

пичей, фиксируемых в кожухе 17 муфеля 3, выполненном для удобства монтажа из нижнего и верхнего полуцилиндров 18 и 19, состыкованных в горизонтальной плоскости, при этом нижний полуцилиндр 18 установлен под муфелем 3, и закреплён на противоположных стенках воздушного короба 4, а верхний размещён над муфелем 3 и может быть выполнен из разъёмных полуколец.

При необходимости, с целью увеличения подачи воздуха, проходное сечение зазора 16 может быть расширено за счёт выполнения на воздушном коробе 4 откоса 20 в виде прилива с боковинами 21, скашивающего прямой угол в месте стыка воздушного короба 4 с горелочным насадком 10 в верхней его части. Сопла 5 и 14 подачи ПВК в растопочную и дополнительную горелки 1 и 13 соединены, соответственно, пылепроводами 22 и 23 с источником 24 ПВК через трёхходовой кран 25, причём выходной торец растопочной мазутной форсунки 7 установлен внутри кольцевого сопла 5 подачи ПВК в растопочную горелку.

Кольцевое сопло 5 подачи ПВК, выполнено соосно муфелю 3 и размещено между коаксиальными внешним и внутренним патрубками 26 и 27, открытыми в муфель 3, и заглушено плоской кольцевой крышкой 28 с наружной стороны. К патрубку 26 тангенциально подсоединены пылепровод 22 ПВК и воздушное сопло 6. Внутри патрубка 27 размещены выходной торец растопочной мазутной форсунки 7 и запальник 29, заведённые через плоскую круглую крышку 30, установленную с наружной стороны с гляделкой 31. Воздушный короб 4 соединён с источником 32 горячего воздуха.

Горелочное устройство работает следующим образом: с помощью запальника 29 поджигается мазут в растопочной мазутной форсунке 7 и прогревается муфель 3 растопочной горелки 1. После прогрева муфеля 3 до температуры самовоспламенения пыли в растопочном режиме на раскалённые стенки муфеля 3 через кольцевое сопло 5 тангенциально подается ПВК, поступающая от источника 24 ПВК через трёхходовой кран 25 и пылепровод 22 и горячий воздух через сопло 6. Аэросмесь воспламеняется при контакте со стенками муфеля 3 и поступает в горелочный насадок 10, в который через зазор 16 поступает горячий воздух из воздушного короба 4. При контакте с воздухом горючие летучие, выделившиеся из топлива в муфеле 3, воспламеняются и своим факелом поджигают коксовую основу, догорающую в камере сгорания топки 12 котла. После растопки котла растопочная мазутная форсунка 7 отключается, а поступающая от источника 24 ПВК трёхходовым краном 25 постепенно переключается на сопло 14 подачи ПВК через пылепровод 23 на дополнительную горелку 13, в которую через сопло 15 подается горячий воздух. В факеле растопочной горелки 1 пыль, выходящая из выходного торца дополнительной горелки 13, воспламеняется и поступает в камеру сгорания топки 12, в её надподовое пространство, где сгорает и подсвечивает жидкий шлак, обеспечивая его безостановочную эвакуацию из лётки (не обозначена) топки 12 котла.

Предлагаемое техническое решение позволяет с помощью одного горелочного устройства, содержащего две горелки – растопочную и дополнительную, повысить эффективность и экономичность воспламенения топлива и обеспечить надёжное вытекание жидкого шлака из камеры сгорания топки котла.

Схема безмазутной растопки котла с индуктором представлена на рис. 1.39. Предлагаемая система растопки содержит источник пыли 1, растопочную горелку 2, запально-сигнальное устройство 5, электроннагреватель, выполненный в виде индуктора 7. Растопочная горелка 2 при-

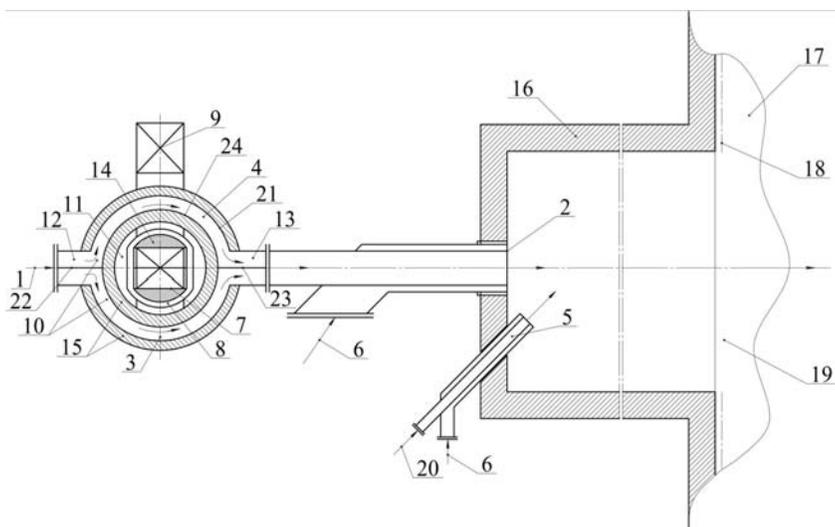


Рис. 1.39. Растопочное горелочное устройство с индуктором в предтопке котла:

1 – источник угольной пыли; 2 – растопочная горелка; 3, 4 – основной и байпасный пылепроводы; 5 – запально-сигнальное устройство; 6 – линия горячего воздуха; 7 – индуктор; 8 – катушка; 9 – магнитопровод; 10 – кольцевой канал; 11 – воздушный зазор; 12, 13 – входной и выходной патрубки кольцевого канала; 14 – электроизоляция; 15 – термоизоляция; 16 – периферийная камера сгорания; 17 – центральная камера сгорания топки котла; 18 – настенный экран; 19 – перепускное окно; 20 – источник легковоспламеняющегося топлива; 21 – наружная стенка кольцевого канала; 22, 23 – радиальные перегородки; 24 – внутренняя стенка кольцевого канала 10

соединена к периферийной камере сгорания 16, выполненной в виде муфеля, и подключенной к центральной топочной камере котла 17, которая отделена от периферийной камеры 16 настенным экраном 18 и сообщается с ней перепускным окном 19. Растопка котла работает следующим образом. Включается индуктор 7 и запально-сигнальное устройство 5. Прогревается кльцевой канал 10 и муфель периферийной камеры 16 за счет сгорания в нем легковоспламеняющегося топлива. Затем подается пыль от источника 1, которая за счет центробежной силы отбрасывается к наружной раскаленной стенке 21 кольцевого канала, затем пыль вновь измельчается при ударе об радиальную перегородку 23 и совместно с выделившимися горючими газами через выходной патрубок 13 поступает в растопочную горелку 2, в которой происходит воспламенение горючих газов от пламени запльно-защитного устройства 5. После стабилизации

горения факела в растопочной горелке 2 и выхода её на рабочий режим, запально-сигнальное устройство 5 отключается, а затем отключается индуктор7.

Благодаря тому, что перед подачей в растопочную горелку 2 топки котла прогревается вся пыль, воспламенение происходит более эффективно и обеспечивает безотказность растопки котла, чем и достигается решение задачи данного технического предложения.

1.5.2. Опытно-промышленный образец муфельного предтопка на котле БКЗ-420 красноярской ТЭЦ-2

В лаборатории «Термическая подготовка углей» кафедры «Тепловые электрические станции» Политехнического института Сибирского федерального университета был разработан проект системы термической подготовки канско-ачинских углей (КАУ) на основе применения муфельного предтопка для организации безмазутной растопки и подсветки факела котла БКЗ-420 Красноярской ТЭЦ-2.

В отличие от муфельных предтопков, работающих на ТЭЦ-1, для первоначального разогрева внутренних стен футеровки муфельного предтопка было предложено использовать небольшое количество мазута.

В связи с тем что проектные работы были закончены глубокой осенью, когда все котлы БКЗ-420 были уже в эксплуатации, возникла проблема выбора места установки муфельного предтопка. Наиболее лучшим вариантом оказалась установка муфельной горелки с задней части котла на высотной отметке 5,6 м, но для этого необходимо было произвести разводку топочных экранов в месте установки муфельного предтопка, что невозможно было сделать так как котлы находились в работе. По согласованию с техническим руководством ТЭЦ-2 было принято решение по установке муфеля в ремонтный лаз с левой стороны котла (рис. 1.40).

Для наработки опыта эксплуатации системы растопки был специально выбран котел с промежуточным бункером. Это позволило значительно упростить всю систему растопки, так как в противном случае пришлось бы еще заняться наладкой системы заполнения угольной пылью специально смонтированных бункеров. В предложенной системе растопки был зарезервирован один из 16 пылепитателей угольной пыли. Для воспламенения мазута использовалось запально-сигнальное устройство, оборудованное запальником, присоединенным к баллону с пропан-бутаном. С помощью запально-защитного устройства воспла-

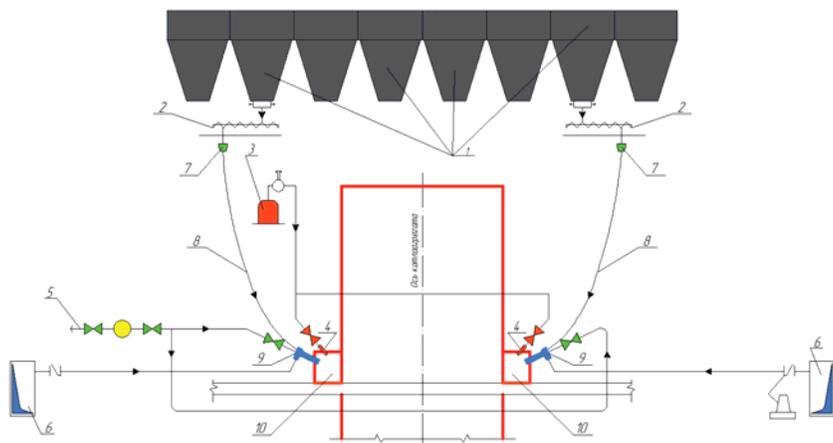


Рис. 1.40. Принципиальная схема муфельной растопки котла БКЗ-420-140
Красноярской ТЭЦ-2:

1 – бункер угольной пыли; 2 – пылепитатель; 3 – переключатель пыли; 4 – пропановый баллон для запально-сигнального устройства (ЗСУ); 5 – запально сигнальное устройство; 6 – мазутная линия; 7 – короб вторичного воздуха; 8 – смеситель; 9 – пылепровод ПВК растопочной линии; 10 – муфельная горелка; 11 – муфельный предтопок

менялся мазут, который подавался через паромеханическую форсунку производительностью 500 кг/ч.

За счет горения небольшого количества мазута нагревалась внутренняя стенка муфеля. Контроль за режимом нагрева муфеля производился с помощью термпар, которые фиксировали значение температуры дымовых газов по длине муфеля и температуру его внутренней стенки.

После прогрева муфеля (температура стенки около 500 °С) на малых оборотах включался пылепитатель и угольная пыль высокой концентрации поступала на горение в раскаленный муфельный предтопок. Мазутную форсунку следовало отключить. Расход вторичного воздуха регулировался с помощью поворотного шиберы через колонку дистанционного управления. Проходя через разогретый муфель, пылеугольная смесь при малом коэффициенте избытка воздуха подвергалась предварительной термической подготовке и весь образовавшийся газифицированный поток угольной пыли поступал в объем топки котла, где происходило его выгорание и последующий разогрев объема топочной камеры. Опыт

эксплуатации муфельного горелочного устройства в течение полутора лет показал высокую его эффективность, возникали, конечно, трудности, связанные с забиванием пылепровода в период пуска муфельного предтопка, а также при поступлении угольной пыли в непрогретый пылепровод диаметром 76 мм происходило ее налипание.

Но наряду с этим был получен не предусмотренный нами положительный эффект, а именно: был обеспечен стабильный режим вытекания жидкого шлака левого предтопка, в то время как в правом предтопке котла, который не был оборудован системой муфельной растопки, эта проблема стояла очень остро. Это можно объяснить следующим образом: при выполнении проекта возникла дополнительная проблема расположения горелочного устройства относительно муфельного предтопка. По проекту требовалось горизонтальное расположение горелки муфеля, что невозможно было сделать, так как мешали опускные трубы котла, которые бы проходили в непосредственной близости к фронтальной стенке муфеля. Было принято единственно правильное решение – установить горелочные устройства муфеля под наклоном вниз.

Всё это привело к тому, что, когда в топку котла начинал поступать ирша-бородинский уголь ухудшенного качества, т.е. повышенной зольности и, соответственно, с высокими плавкостными характеристиками минеральной части, эксплуатационный персонал включал пылепитатель на муфельный предтопок и пламя из муфеля, направленное на подтопочной камеры котла, резко повышало температуру над подом и вытекание жидкого шлака стабилизировалось.

Таким образом, муфельный предтопок выполнял еще и роль подовой горелки, нормализуя выход жидкого шлака. При этом отпадает необходимость крайне неэффективной подсветки пламени мазутом, так как штатные мазутные форсунки установлены горизонтально и требуется очень длительное время и огромный расход мазута, чтобы поднять температуру в нижней части топочной камеры до необходимой величины для обеспечения нормального вытекания жидкого шлака.

1.5.3. Система термоподготовки для котлов Томь-Усинской ГРЭС

При растопке прямоточных котлов ПК-40-1 расходуется значительное количество мазута по сравнению с барабанными котлами той же мощности.

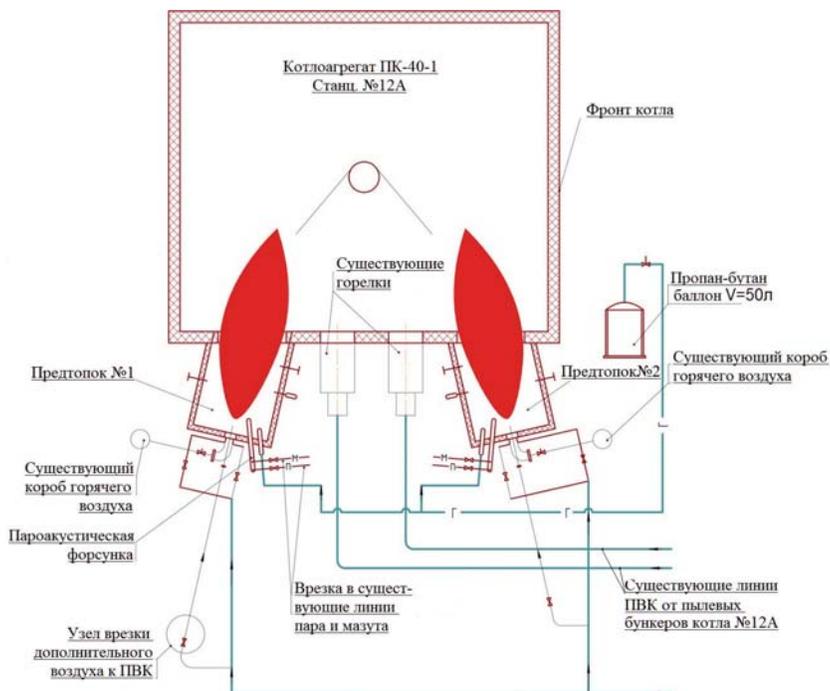


Рис. 1.41. Система муфельной растопки котла ст.№12 Томь-Усинской ГРЭС

Поскольку ТЭС Кузбасса в последние годы работают на каменных углях с высоким выходом летучих веществ (35–40 %), появилась возможность разработки и внедрения системы термоподготовки для организации муфельной растопки котлов ПК-40-1 [25,26].

По предложению технического руководства Томь-Усинской ГРЭС муфельные предтопки были установлены взамен штатных пылеугольных горелок на котле ст. № 12, корпус 12А (рис. 1.41) и на корпусе 12Б.

Муфельные горелки были оборудованы пароакустическими форсунками малой мощности, которые хорошо зарекомендовали себя при эксплуатации. Запально-сигнальные устройства (ЗСУ), установленные на муфелях корпуса 12Б, были заменены на наиболее надежные в работе запальносигнальные устройства (ЗСУ) на корпусе 12А.

Принцип работы системы растопки аналогичен тому, что был впервые реализован КГТУ на котле БКЗ-420 Красноярской ТЭЦ-2. Однако

имеются существенные отличия в конструктивном оформлении муфельных горелочных устройств, которые позволяют использовать их как в качестве растопочных, так и при работе котла в качестве основных горелок.

Опыт эксплуатации разработанных горелочных устройств показал, что происходит небольшое снижение концентрации оксидов азота в дымовых газах (на 60–85 мг/м³), что является прекрасным подтверждением результатов исследований, проведенных в лаборатории «Термическая подготовка углей» на полупромышленной экспериментальной установке кафедры ТЭС ПИ СФУ.

Экологический эффект получен небольшой потому, что из десяти горелок каждого корпуса котла переоборудованы были нами всего только две горелки. Согласно исследованиям ПИ СФУ снижение оксидов азота может быть достигнуто в два раза при переводе всех горелочных устройств на разработанную систему растопки.

Таким образом, установленные горелочные устройства выполняют тройную роль, а именно используются в качестве как растопочных, так и основных горелок с одновременным снижением оксидов азота.

Следует отметить, что это первый случай в энергетике России, когда растопочные горелки используют в качестве основных пылеугольных горелок при сжигании каменных углей.

Внедрение разработанной системы термоподготовки углей перед сжиганием на ТЭС резко сокращает затраты на сооружение горелочных устройств котла, так как в этом случае не требуется разводки топочных экранов для установки растопочных муфель, которые бы использовались только при пуске котельного агрегата, а при работе котла оставались в резерве, т.е. на двух корпусах котла ПК-40-1 (ст. № 12) Томь-Усинской ГРЭС произошла замена одного типа штатных горелок на другой с дополнительной возможностью их использования в качестве растопочных.

Иными словами, разработанная система термоподготовки углей перед сжиганием в условиях ТЭС позволяет создать малозатратное (без разводки топочных экранов) горелочное устройство, работающее в двух режимах: растопочном и рабочем с одновременным снижением оксидов азота.

Кроме того, в данном случае нет необходимости в установке дополнительного оборудования, что характерно при использовании плазмотронов или системы электророзжига. Это выступает существенным отличием от разработанной и внедренной КГТУ на Красноярской ТЭЦ-1

системы электрорастопки, защищенной авторским свидетельством на изобретение [1], которая не позволяет совместить в растопочной горелке два режима работы.

1.5.4. Универсальное горелочное устройство для котлов ПК-40-1 Беловской ГРЭС

По согласованию с руководством Беловской ГРЭС было принято решение не внедрять систему муфельной растопки с разводкой топочных экранов в связи с большим объемом работ по замене труб СРЧ.

Поэтому была разработана и защищена патентами на изобретение [27,28] оригинальная система растопки с разработкой универсальной горелки, совмещенной с основной горелкой /рис 1.42/.

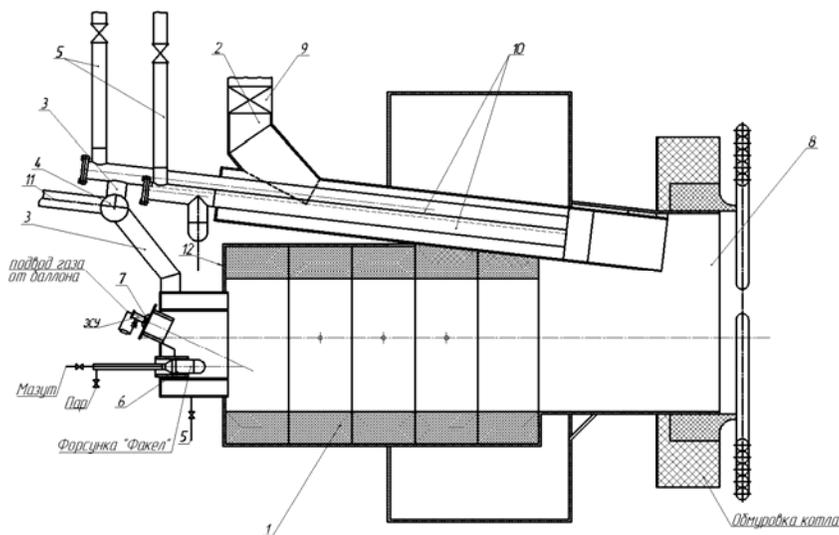


Рис. 1.42. Принципиальная схема универсальной горелки:

1 – муфель; 2 – устройство подвода вторичного воздуха; 3 – устройство подвода ПВК; 4 – клапан распределения пылевоздушной смеси; 5 – подвод первичного воздуха; 6 – мазутная паромеханическая форсунка ФУЗ-350 НПП «Внедрение»; 7 – защитно-сигнальное устройство ЗСУ; 8 – амбразура выхода пламени в топку; 9 – шибер регулирования подачи вторичного воздуха; 10 – трубопровод подачи ПВК в топку; 11 – трубопровод подачи смеси в муфель; 12 – лючок для визуального контроля за воспламенением угольной смеси

Муфель (1) изготовлен из клинового огнеупорного кирпича, расположенного в металлическом корпусе.

Устройство подвода вторичного воздуха (2) выполнено в виде металлического короба, внутри которого эксцентрично установлен муфель (1).

Мазутная форсунка и защитно-сигнальное устройство вставляются в муфель и крепятся на фланцах. Оси их пересекаются внутри муфеля для обеспечения надежного воспламенения мазута. Для контроля за температурой в обмуровке и внутри муфеля установлены гильзы с термопарой с выходом сигнала на щит управления.

Муфель 1 выполнен из клинового огнеупорного кирпича, расположенного в металлическом корпусе.

Устройство подвода вторичного воздуха 2 выполнено в виде металлического короба, внутри которого эксцентрично установлен муфель 1.

Мазутная форсунка и защитно-сигнальное устройство помещаются в муфель и крепятся на фланцах. Оси их пересекаются внутри муфеля для обеспечения надежного воспламенения мазута. Для контроля за температурой в обмуровке и внутри муфеля установлены гильзы с термопарой с выходом сигнала на щит управления.

Расчетная техническая характеристика горелки:

- тепловая мощность – 21 Гкал/ч;
- топливо – кузнецкий каменный уголь;
- расход топлива – 6 т/ч;
- способ зажигания пылеугольной смеси – ультразвуковой паромеханической форсункой ФУЗ 350 НПП «Внедрение» от существующей схемы подачи мазута;
- номинальная тепловая мощность форсунки – 2 МВт;
- тип запально-сигнального устройства – ЗСУ-ПИ-45-1.

Пуск горелки в работу

После подготовки к пуску основного и вспомогательного оборудования котлоагрегата производится подготовка к розжигу универсальной горелки, т.е. проверка готовности схем подачи воздуха, ПВК, мазута и газа;

- перед розжигом горелки топка и газоходы должны быть провентилированы согласно инструкции по растопке котла;
- необходимо проверить наличие угольной пыли в растопочном бункере, уровень которого должен быть не менее 3 м. (т.е. лампочки нижнего аварийного уровня пыли не должны гореть);
- открыть шибер перед пылепитателем универсальной горелки;

- открыть вентиль сжатого воздуха на смесителе;
- собрать электрическую схему на воздуходувки;
- включить в работу основную воздуходувку и открыть задвижку на выходе из воздуходувки;
- убедиться по перепаду давлений на расходомерной шайбе в наличии воздуха в системе ПВК (перепад давлений должен составлять не менее 80 и не более 100 мм вод. ст.).
- открыть задвижку на трубопроводе подачи первичного воздуха в муфель на 10 % (20 мм вод. ст.);
- включить в работу приборы контроля, отвечающие за температуру в горелке, давление первичного и вторичного воздуха, разряжение в топке;
- собрать схему подачи мазута и пара к мазутной форсунке муфеля;
- открыть пар на растопочную мазутную форсунку;
- отключить запально-сигнальное устройство (ЗСУ);
- убедившись в устойчивом горении газа в муфеле, включить мазутную форсунку, постепенно открывая вентиль подачи мазута;
- отрегулировать соотношение «пар – мазут» растопочной горелки;
- воздействуя на подачу мазута и вторичного воздуха, отрегулировать горение так чтобы оно было полным и бездымным, а факел устойчивым и достаточно мощным для воспламенения ПВК в муфельной горелке;
- при контроле температуры стенки муфеля термопару убрать в тело футеровки муфеля во избежание ее пережога;
- прогреть стенки муфеля до температуры не менее 600 °С и, убедившись в устойчивом горении мазута, включить в работу пылепитатель подачи топлива на растопочную горелку на минимальных оборотах (120–150) оборотов в минуту) и проследить за воспламенением угольной пыли в горелке визуально и по показаниям вторичного прибора на щите управления;
- открыть шибер подачи вторичного воздуха на горелку и отрегулировать его расход таким образом, чтобы горение было устойчивым, а сгорание полным;
- через 5–10 минут устойчивого горения пыли в горелке мазутную форсунку можно отключить, наблюдая за температурой дымовых газов в конце муфеля, которая должна быть в пределах 800–950 °С.

Включение основной рабочей горелки, расположенной вблизи от растопочной, следует производить согласно инструкции по растопке котла.

В рабочий режим горелки можно переводить при достижении паро-производительности котла более 30 % от номинальной, путем открытия распределителя воздушной смеси на основной трубопровод горелки;

– при контроле температуры дымовых газов термоманометром после проведения замера убрать в тело футеровки муфеля во избежании ее пережога.

Контроль горелки во время ее работы

Во время работы горелки необходимо следить за следующими параметрами:

- температурой газа на выходе из горелки, которая должна не превышать 450 °С;
- бесперебойной подачей угольной пыли пылепитателями;
- расходом сжатого воздуха;
- разрежением вверху топки, которое должно быть устойчивым (3мм вод. ст.)

В случае забивания угольной пылью пылепровода (что можно определить по сокращению расхода сжатого воздуха, снижению температуры газа в горелки, по перегрузке пылепитателя) необходимо немедленно остановить пылепитатель и продуть пылепровод, включив в работу ЗСУ.

Останов горелки в резерв

Для того чтобы остановить горелку в резерв, необходимо отключить пылепитатель и продуть пылепровод. Расход пара на мазутную форсунку оставить минимальным для ее охлаждения. Расход вторичного воздуха сократить до 10 % (из условия охлаждения).

Техника безопасности при обслуживании универсальной горелки

Во время пуска горелки (розжиг мазутной форсунки вручную, подача пыли и вторичного воздуха и визуального контроля) обслуживающий персонал должен быть одет в пожарозащитную одежду (огнестойкий костюм, сапоги, рукавицы, защитный шлем);

– во время контроля за режимом горения персонал должен надевать каски с защитным козырьком и рукавицы.

Находиться длительное время около смотрового лючка запрещается. После осмотра лючок должен быть закрыт на защелку.

ПТБ при включении питателей пыли на муфеле:

– убедиться в плотности закрытия люков, фиксации замков в закрытом положении;

- увеличить разряжение в топке до 5–8 мм.вод.ст.;
- после подачи пыли убедиться в устойчивом горении.

ПТБ при расшлаковке абразуры муфеля при работе в режиме основной горелки:

- остановить пылесистему, так как нарушение работы пылесистемы может привести к значительной нерегулируемой подаче пыли в топку и повышению давления в ней;
- продуть пылепроводы муфеля;
- закрыть первичный и вторичный воздух на муфеле, поставить в положение «дистанционно» регуляторы: тепловой нагрузки, воздуха, разряжения в топке, увеличить разряжение до 5–8 мм вод. ст.
- надеть защитный щиток, слегка обстучать стенку муфеля у места врезки пылепровода, открыть лючок гляделки, находясь в стороне от него;
- после вентиляции муфеля через лючок гляделки произвести расшлаковку абразуры муфельной горелки;

При эксплуатации топок котлов, оборудованных муфельными горелками запрещается:

- открытие люков топки котла при нарушении обмуровки муфельных горелок;
- производить растопку котла при нарушении обмуровки муфельных горелок
- поручать расшлаковку муфелей и горелок стажерам машинистов котлов, как не имеющим достаточного опыта и знаний по эксплуатации топок котлов.

Осмотр летки, прослушивания топки и газоходов котла можно производить только после получения разрешения от начальника смены, или старшего машиниста и принятия соответствующих мер техники безопасности.

1.5.5. Универсальная всережимная горелка для котлов БКЗ-420 Красноярской ГРЭС-2

Принципиальная схема разработанного всережимного горелочного устройства, установленного на котле БКЗ-420-140 ст. № 9Б Красноярской ГРЭС-2 представлена на рисунке 1.43 [29–30]. Суть предлагаемого технического решения заключается в том, что в горелочное устройство,

содержит растопочную горелку, включающую циркуляционную трубу с горелочным насадком. Перед входным торцом циркуляционной трубы установлено кольцевое сопло подачи пыли высокой концентрации (ПВК), снабжённое тангенциальными патрубками подачи пыли высокой концентрации и высоконапорного воздуха. При этом внутрь кольцевого сопла подачи пыли высокой концентрации заведено аксиальное сопло слабонапорного воздуха с регулируемым шибером. Входной участок кольцевого воздушного сопла подключён к воздушной магистрали через регулирующий шибер, а выходной торец заведён внутрь амбразуры горелочного устройства топки котла. Электронагреватели размещены между циркуляционной трубой и кольцевым воздушным соплом и выполнены в виде блоков, установленных в цилиндрических каналах в плотном контакте с циркуляционной трубой и обечайкой.

Горелочное устройство содержит растопочную горелку 1, включающую коаксиально установленные кольцевое воздушное сопло 2 и циркуляционную трубу 3, размещённую внутри сопла 2, перед входным торцом которой установлено кольцевое сопло 4 подачи пыли высокой концентрации (ПВК), заведённое внутрь циркуляционной трубы 3. Кольцевое сопло 4 снабжено тангенциальными патрубками 5 и 6 подачи пыли высокой концентрации (ПВК) и высоконапорного воздуха.

Внутри кольцевого сопла 4 заведено аксиальное сопло 7 слабонапорного воздуха с регулирующим шибером 8, а к выходному торцу циркуляционной трубы 3 пристыкован горелочный насадок 9. Выходной торец кольцевого воздушного сопла 2 заведён внутрь амбразуры 10 горелочного устройства топки 11 котла. Горелочный насадок 9 размещён внутри кольцевого воздушного сопла 2, а электронагреватели выполнены в виде блоков трубчатых электронагревателей 12, установленных в цилиндрических каналах 13 внутри кольцевого воздушного сопла 2 в плотном контакте с циркуляционной трубой 3 вдоль всей боковой поверхности циркуляционной трубы и обечайкой 14. Входной участок кольцевого сопла 2 соединён с воздушной магистралью 15 через регулирующий шибер 16, а свободное пространство 17 между цилиндрическими каналами 13 заполнено материалом с высокой теплопроводностью. Горелочное устройство работает следующим образом: включаются трубчатые блоки 12 электронагревателей и прогревается циркуляционная труба 3 растопочной горелки 1. После прогрева циркуляционной трубы 3 до температуры самовоспламенения пыли в растопочном режиме на раскалённые стенки циркуляционной трубы 2 через кольцевое сопло 4 тангенциальными патрубками 5 и 6 подается пыль высокой концентрации (ПВК) и высокона-

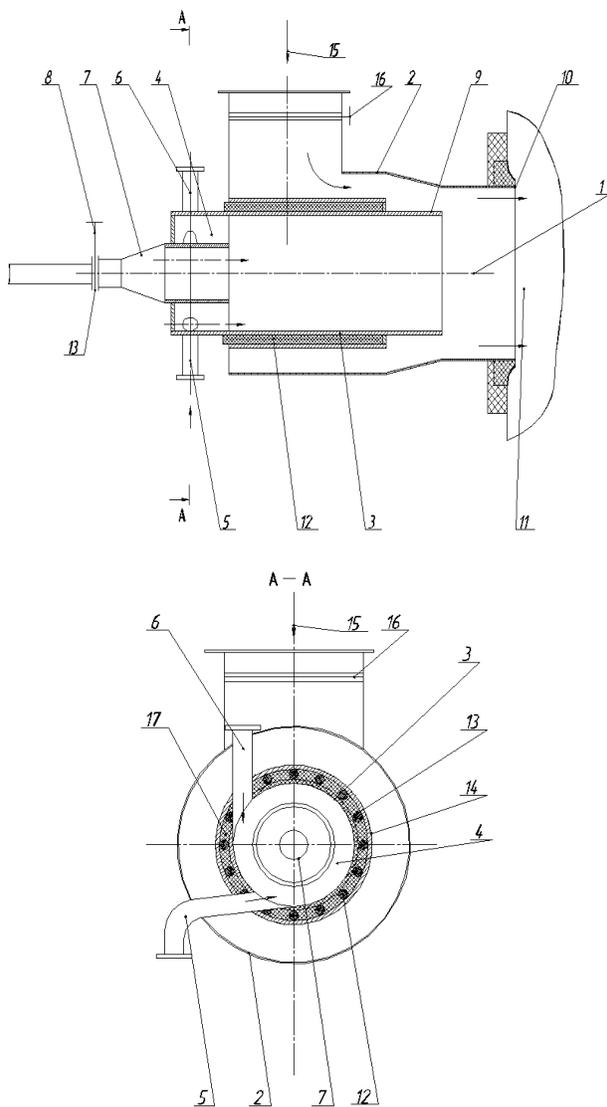


Рис. 1.43. Всережимное горелочное устройство:

1 – растопочная горелка; 2, 4, 7 – сопла; 3 – циркуляционная труба; 5, 6 – патрубки; 8, 16 – шиберы; 9 – насадок; 10 – амбразура; 11 – топочная камера котла; 12 – блок электроннагревателей; 13 – канал; 14 – обечайка; 15 – воздушная магистраль; 17 материал с высокой теплопроводностью

порный воздух для закрутки аэросмеси. Аэросмесь воспламеняется и горит в присутствии слабонапорного воздуха, подаваемого из аксиального воздушного сопла 7, регулируемого шибером 8. После этого аэросмесь поступает в горелочный насадок 9 и далее в топку 11 котла, куда из кольцевого воздушного сопла 2 подаётся третичный воздух, обеспечивающий воспламенение выделяющихся из топлива в циркуляционной трубе 2 летучих горючих, которые своим факелом поджигают коксовую основу, догорающую в топке 11 котла. После растопки котла блоки трубчатых электронагревателей 12 отключаются, а горелочное устройство работает в режиме штатной горелки.

Промышленные испытания горелочного устройства показали высокую эффективность его работы. Предлагаемое техническое решение имеет целый ряд преимуществ, в результате чего:

- повышается эффективность и экономичность растопки котла за счёт исключения дополнительных устройств для электронагрева (например, генераторов высокой частоты или трансформаторов);
- повышается коэффициент использования растопочных горелок до 100 % за счет установки горелок двойного назначения взамен штатных горелок, которые можно использовать в качестве растопочные и основных;
- снижаются эксплуатационные затраты на муфельные горелки;
- повышается надежность работы растопочных муфельных горелок за счет постоянного охлаждения корпуса муфеля потоком вторичного воздуха;
- увеличивается коэффициент использования установленной мощности котельного оборудования за счет обеспечения вытекания жидкого шлака и ликвидации затрат на расшлаковку топочных камер котлов;
- не требуется разводка топочных экранов;
- снижаются оксиды азота;
- повышается надежность в работе;
- не требуется громоздкое мазутное хозяйство.

1.5.6. Схемы подачи угольной пыли от бункеров котла к муфельным горелкам

В настоящее время после останова котла на ремонт угольные бункеры освобождаются от угольной пыли и растопка котла после ремонта осуществляется только с помощью штатных мазутных форсунок большой мощности.

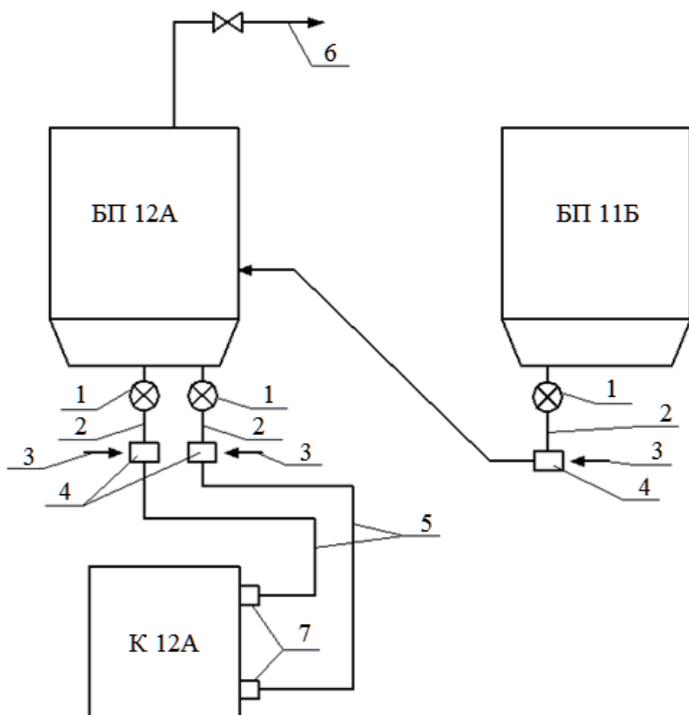


Рис. 1.44 . Схема резервирования угольной пыли бункера корпуса котла 12А без установки циклонов:

1 – пылепитатель; 2 – стабилизатор переброса угольной пыли; 3 – воздух от системы ПВК; 4 – сопло; 5 – труба ПВК; 6 – сброс пылевоздушной смеси; 7 – муфельные горелки

В этой связи были рассмотрены различные варианты резервирования котлов ПК-40 Томь-Усинской ГРЭС угольной пылью после его длительной остановки на примере котла ст. № 12.

Нами была предложена схема резервирования угольной пылью бункеров пыли БП-12А и БП-12Б от бункеров соседних котлов (рис. 1.44).

Угольная пыль самотеком движется из бункера пыли 11Б по трубе 2 стабилизатора пыли до сопла 4, где за счет эжекции воздуха 3 подхватывается и подается по трубе 5 в бункер пыли 12А.

Пылевоздушная смесь отсасывается по трубе 6 в пылесистему корпуса котла 11Б за счет большого разрежения в ней.

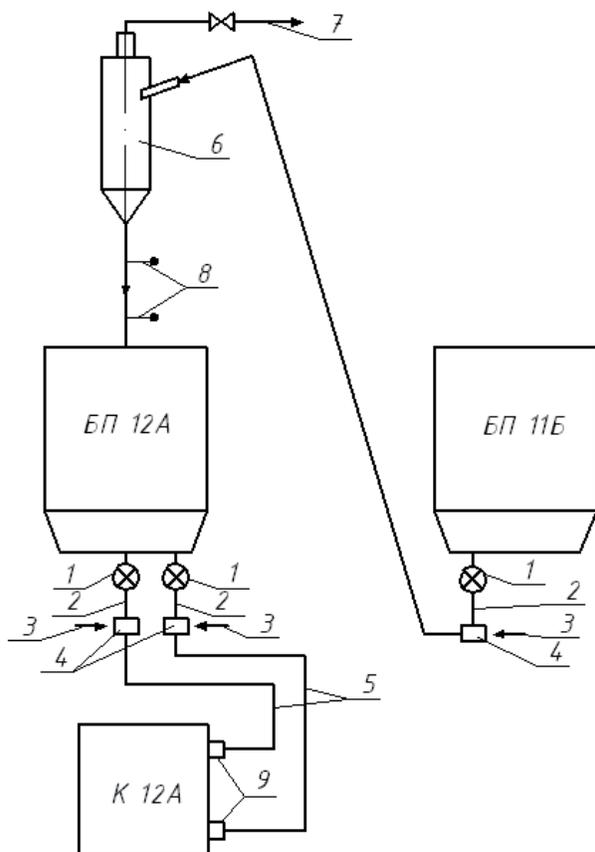


Рис. 1.45. Схема резервирования угольной пыли бункера корпуса котла 12А с установкой циклона:

1 – пылепитатели; 2 – труба-стабилизатор угольной пыли; 3 – воздух от системы ПВК; 4 – сопло; 5 – труба ПВК; 6 – циклон; 7 – сброс пылевоздушной смеси; 8 – клапаны-мигалки; 9 – муфельные растопочные горелки

Из бункера пыли 12А остановленного котла с помощью пылепитателей, оборудованных двигателями с частотным регулированием числа оборотов угольная пыль поступает в муфельные предтопки, предварительно разогретые мазутными форсунками малой мощности.

Схема резервирования угольной пылью котла 12Б аналогична и производится от бункера пыли 13А.

При всей простоте этой схемы здесь не решается вопрос эффективной сепарации угольной пыли при ее подаче в бункер остановленного котла. Вследствие сильной турбулизации угольного потока в бункере и отсутствия сепарационного эффекта будет огромный вынос угольной пыли в пылесистему соседнего котла.

Для эффективного отделения угольной пыли было предложено установить циклон над бункером пыли остановленного котла. Циклон должен быть оборудован клапанами мигалками (рис. 1.45). Однако и этот вариант имеет очень существенные недостатки.

В связи с тем что над бункером пыли будет находиться многомерная система отделения угольной пыли, включающая в себя циклон и клапаны мигалки, резко возрастают угол наклона трубы ПВК и высота подъема угольной пыли. Это может вызвать серьезные трудности при транспортировке угольного потока. Одновременно с этим увеличиваются затраты на сооружение системы резервирования.

На наш взгляд, осуществить заполнение бункера пыли растапливаемого котла от соседней пылесистемы будет во многом сложнее и значительно ненадежнее, чем организовать растопку от бункера соседнего котла.

При этом необходимо смонтировать дополнительную линию ПВК до растопочных муфелей.

Этот способ подачи угольной пыли был нами реализован на котлах ПК-40-1 Томь-Усинской ГРЭС. В этом случае применяется штатный пылепитатель бункера пыли соседнего котла с подключением растопочной линии ПВК к резервному патрубку, который используется только в случае удаления смыва из пылевого бункера после останова котла в ремонт (рис.1.46).

Пылепитатели оборудуются двигателями с частотным регулированием числа оборотов, что позволяет осуществить плавный пуск муфельных предтопок при растопке корпуса котла 12А.

Растопка корпуса котла 12Б будет осуществляться по аналогичной схеме с использованием бункера угольной пыли 13Б.

В Сибирском федеральном университете в лаборатории «Термоподготовка углей» кафедры ТЭС ПИ СФУ разработаны различные варианты растопочных пылесистем (Рис. 1.47 –1.51).

Наиболее перспективной из них является система подготовки твёрдого топлива к сжиганию, позволяющая полностью исключить растопочный мазут /Рис. 1.51/.

Система подготовки твёрдого топлива к сжиганию содержит бункер 1 сырого угля с питателем 2, соединённым с входом 3 размольного

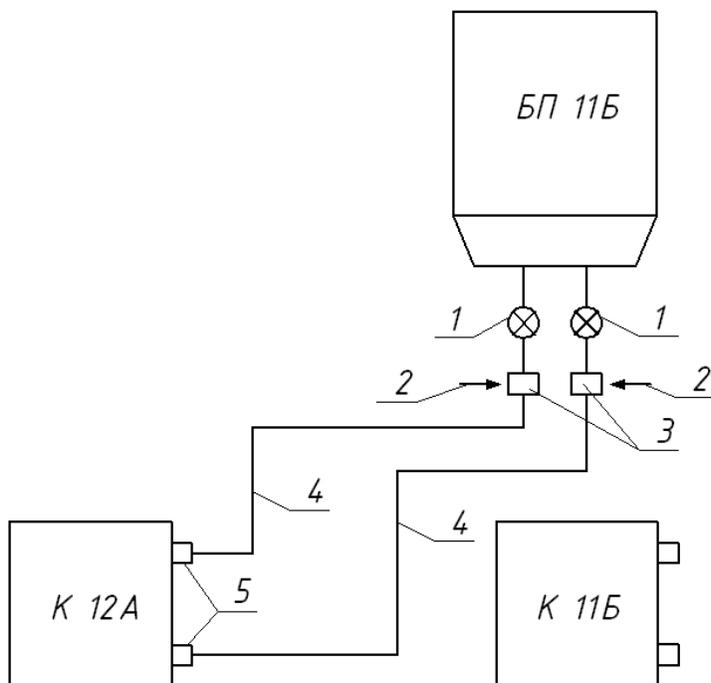


Рис. 1.46. Система обеспечения угольной пылью муфельных предтопок при растопке корпуса котла 12А после длительной остановки:

1 – пылепитатели с частотным регулированием числа оборотов; 2 – воздух от системы ПВК; 3 – сопло; 4 – трубы ПВК; 5 – муфельные растопочные горелки

устройства 4, выход 5 которого подключён пылепроводом 6 к растопочной горелке 7 топки 8 котла 9, снабжённого воздухоподогревателем 10 и воздухопроводами 11 и 12, соединёнными через шиберы 13 и 14 с растопочной горелкой 7 и входом 3 в размольное устройство 4, соединённое дополнительным газопроводом 15 с конвективным газоходом 16 работающего котла 17 с помощью дымососа рециркуляции 18 с шибером 19, подключённого к конвективному газоходу 16 между первой и второй ступенями его экономайзера 20.

Дополнительный газопровод 15 выполнен с воздушной рубашкой 21, подключённой на входе через шибер 22 к воздуховоду 23, а на выходе – к входу 3 размольного устройства 4.

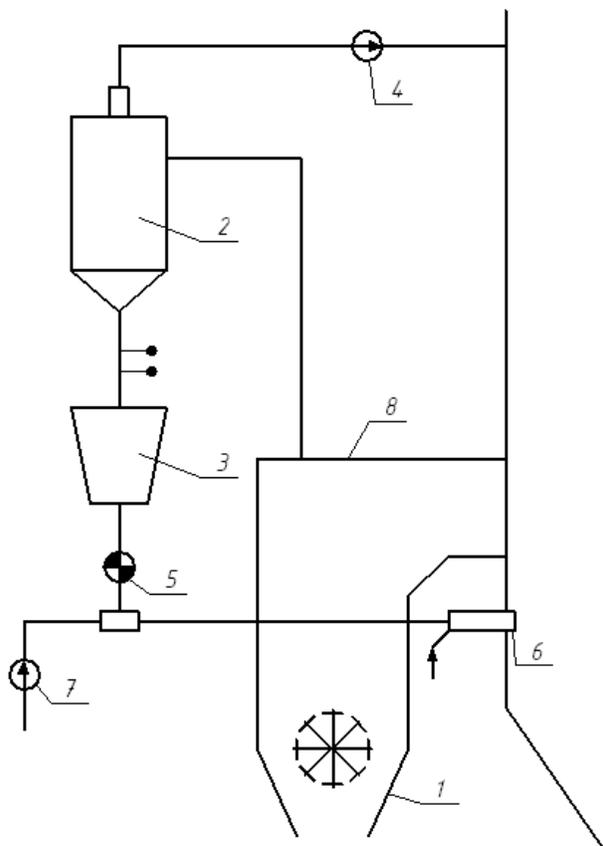


Рис. 1.47. Схема растопочной пылесистемы с индивидуальным бункером пыли:
1 – молотковая мельница; 2 – циклон; 3 – бункер угольной пыли; 4 – мельничный вентилятор; 5 – пылепитатель; 6 – растопочная горелка; 7 – дутьевой вентилятор; 8 – горизонтальный участок шахты молотковой мельницы

Растопочная горелка 7 содержит воздушный короб 24 с циркуляционной трубой 25, размещённой внутри короба 24, входной патрубком 26 которого соединён воздухопроводом 23, подключённым через шибер 27 к воздухоподогревателю 28 парогенератора 17, а выходной торцевой воздухонепроницаемый корпус 24 выполнен в виде конфузора и заведён в амбразуру 29 и аксиальные сопла 30 и 31 подачи пыли и воздуха, заведённые внутрь

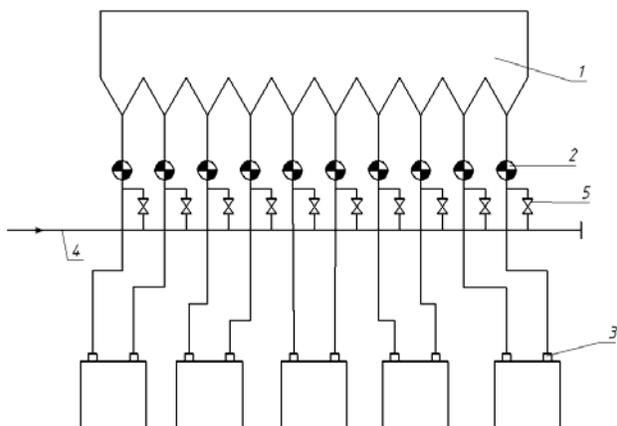


Рис. 1.48. Схема растопочной пылесистемы с подачей угольной пыли от центрального бункера к растопочным горелкам:
1 – центральный бункер; 2 – пыледистатели; 3 – растопочные горелки; 4 – магистраль сжатого воздуха; 5 – задвижки

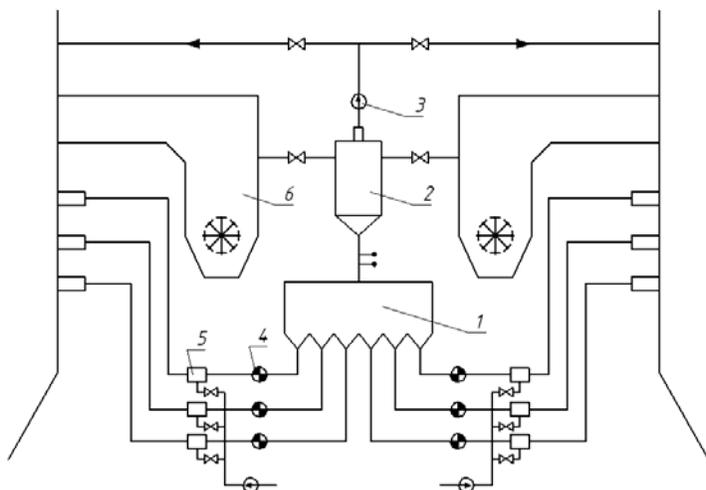


Рис. 1.49. Схема растопочной системы с одним бункером пыли на два котла:
1. – бункер угольной пыли; 2. – циклон. 3. – мельничный вентилятор; 4 – питатели угольной пыли; 5 – смесители; 6 – молотковые мельницы

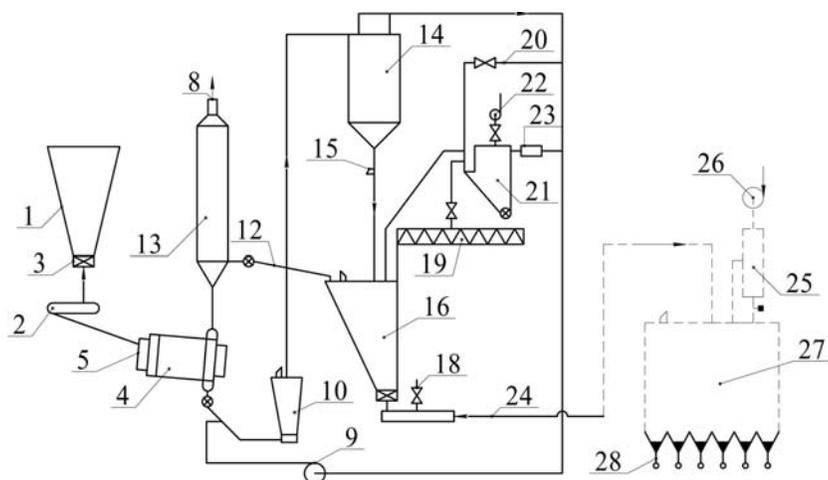


Рис. 1.50. Схема пылеприготовления с центральным пылезаводом:

1 – бункер дробленого топлива; 2 – питатель; 3 – отсекающий шибер; 4 – сушилка; 5 – подвод пара к сушилке; 6 – отвод конденсата; 7 – разгрузочная камера; 8 – линия к отсосному вентилятору; 9 – мельница; 10 – сепаратор; 11, 12 – шлюзовые затворы; 13 – электрофильтр; 14 – циклон; 15 – клапаны-мигалки; 16 – бункер пыли; 17 – винтовой пневматический насос; 18 – подача сжатого воздуха; 19 – шнек; 20 – отсос водяных паров; 21 – рукавный фильтр; 22 – вентилятор; 23 – калорифер; 24 – подача угольной пыли; 25 – пылеотделитель; 26 – вентилятор; 27 – пылевой бункер; 28 – пылепроводы к горелкам котла

циркуляционной трубы 25, снабженной нагревателем 32. Аксиальное воздушное сопло 31 установлено в плотном контакте с циркуляционной трубой 25 и соединено газоходом 33 с выходным участком воздушного короба.

Это позволяет произвести безопасную растопку котла за счёт использования горячих дымовых газов и воздуха от работающего парогенератора, что удешевляет пылесистему, исключая пылевые циклоны, бункера, и встроенное в пылесистему дополнительное топочное устройство для получения горячих газов, что повышает экономичность растопки.

Устройство, представленное на рис.1.51 работает следующим образом: включается в растопочном режиме питатель 2 и сырое топливо из бункера 1 подаётся на вход 3 размольного устройства 4, куда также подаются горячие дымовые газы по газопроводу 15 дымососом рецир-

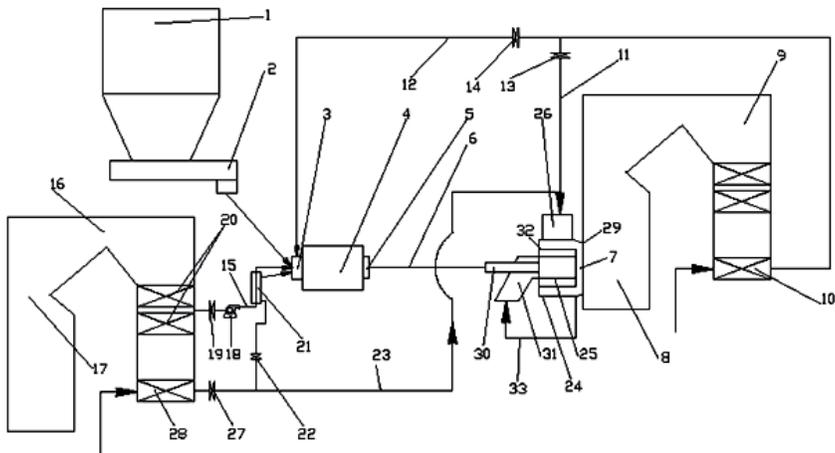


Рис. 1.51. Система подготовки твёрдого топлива к сжиганию:

1 – бункер; 2 – питатель глы; 3, 5 – вход и выход размольного устройства 4; 6 – пылепровод; 7 – растопочная горелка; 8 – топка; 9, 17 – растапливаемый и работающий котлы; 10, 28 – воздухоподогреватели; 11, 12, 23 – воздуховоды; 13, 14, 19, 22, 27 – шиберы; 15 – дополнительный газопровод; 16 – конвективный газоход работающего котла; 18 – дымосос рециркуляции; 20 – экономайзер; 21 – воздушная рубашка; 24 – воздушный короб; 25 – циркуляционная труба; 26 – входной патрубок; 29 – амбразура растопочной горелки; 30, 31 – аксиальные сопла; 32 – нагреватель; 33 – газоход

куляции 18 через шибер 19 с газохода 16 работающего парогенератора 17. Газы отбираются между первой и второй ступенями экономайзера 20 парогенератора 17. Топливо в размольном устройстве 4 измельчается, сушится и по пылепроводу 6 подаётся в растопочную горелку 7, куда одновременно по воздуховоду 23 через шибер 27 поступает горячий воздух от воздухонагревателя 28 парогенератора 17. Воздух подаётся во входной патрубок 26 воздушного короба 24 горелки 7 одновременно с пылью, подаваемой в аксиальный патрубок 30 пылепроводом 6 при включённом нагревателе 32. Пыль воспламеняется от раскалённых стенок циркуляционной трубы 25 и поступает в топку 8 через амбразуру 29, смешиваясь одновременно с горячим воздухом, подаваемым через аксиальное воздушное сопло 31. В струях горячего воздуха пыль выгорает, а горячие топочные газы поступают в конвективный газоход котла 9. В целях обеспечения безопасности эксплуатации газопровода 15, открывается шибер 22 и воздух из воздуховода 23, поступает в воз-

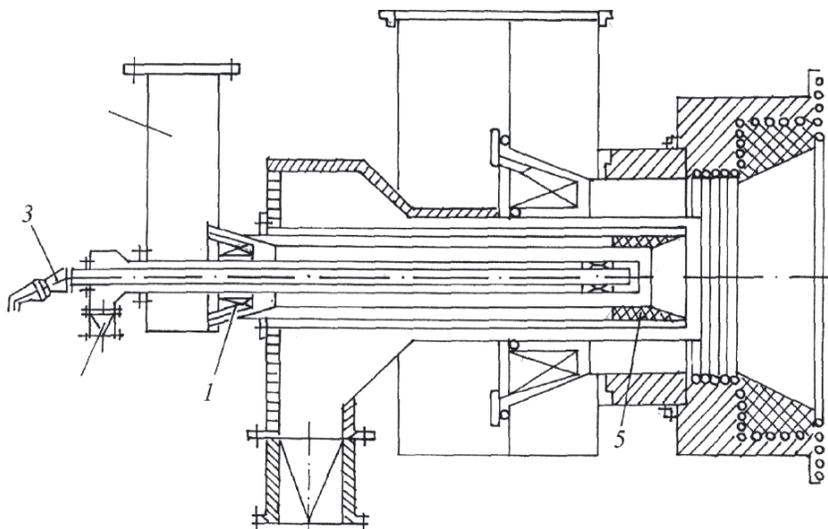


Рис. 1.52. Пылеугольная растопочная горелка, встроенная в основную горелку:
1 – завихритель; 2 – пылевоздушная смесь; 3 – газозлектроическое запальное устройство;
4 – воздух; 5 – керамический муфель горелки

душную рубашку 21 газопровода 15, из которой далее на вход 3 размольного устройства 4.

Количество подаваемого в размольное устройство воздуха регулируется шибером 22.

После выхода котла 9 на рабочий режим подача горячего воздуха и топочных газов с парогенератора 17 перекрывается шиберами 27, 19 и 22, а открываются шиберы 13 и 14, и горячий воздух от воздухоподогревателя 10 котла 9 поступает в размольное устройство 4 и растопочную горелку 7, работающую при отключенном нагревателе в режиме штатной горелки

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет произвести безопасную растопку котла за счёт использования горячих дымовых газов и воздуха на период растопки от работающего парогенератора, что исключает постоянно работающее встроенное в пылесистему котла дополнительное топочное устройство для получения горячих газов, а также циклоны и растопочные бункеры угольной пыли, что значительно повышает экономичность системы растопки.

1.6. Разработки Германии по безмазутной растопке котлов

Оригинальное решение проблемы замены мазута угольной пылью реализовано на ТЭС Нидерауссем, где сжигают низкосортные бурые угли. Для растопки котлов автофургонами на ТЭС доставляют пыль малозольных высокорекреакционных углей, которую сжигают с помощью комбинированных пылемазутных горелок (патент SU 114462). Комбинированная пылемазутная растопочная горелка с поджиганием аэросмеси мазутом состоит из улиткообразного подвода угольной пыли, выполненной в виде цилиндра с двойной стенкой. Растопочная мазутная форсунка размещается по оси горелки. Вторичный воздух подводится по кольцевому зазору, образуемому между подводом угольной пыли и мазутной форсункой. Для постоянной готовности к включению подсветки мазутная форсунка должна находиться в режиме дежурного факела. Растопочная пыль подается в горелку только после зажигания мазутной форсунки. Замена мазутного режима растопки и подсветки факела на пылеугольный с поджиганием аэросмеси мазутом не требует больших затрат, которые определяются, в основном, затратами на растопочную пылесистему. На одну растопку котла производительностью 950 т/ч вместо 35 т мазута расходуют 60 т такого угля и на поджигание аэросмеси одну тонну мазута [31].

Там же, в Германии, была разработана специальная растопочная пылеугольная горелка (рис. 1.52). В этих горелках имеется двухступенчатое газоэлектрическое зажигательное устройство с двухступенчатым подводом газа. Вместо газа для зажигания и стабилизации горения в этих пылеугольных горелках могут устанавливаться мазутные форсунки. В этих горелках по кольцевому каналу вокруг зажигательного устройства вводится пылевоздушная смесь. Часть воздуха подается по другому кольцевому каналу. В горелке имеется завихритель с поворотными лопатками. Остальной воздух, необходимый для полного сгорания, подается через каналы основной горелки. Надежность воспламенения пылеугольной смеси обеспечивается тем, что выходная часть горелки выполнена в виде муфеля с коническим раструбом, создающим внутреннюю рециркуляцию, что обеспечивает подвод теплоты к корню факела. Такие растопочные горелки устанавливают либо между двумя основными горелками, либо (если позволяет конструкция) в центральную трубу основной (турбулентной) горелки. На котле энергоблока 150 МВт было установлено шесть подобных растопочных горелок. Для растопки использован пропан.

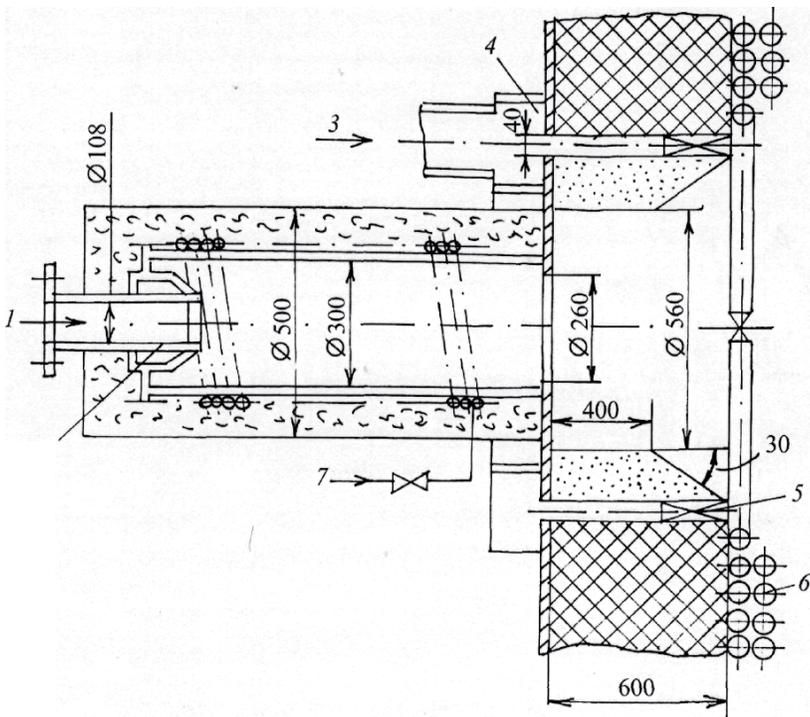


Рис. 1.53. Пылеугольная растопочная горелка:

1 – пылевзвесь; 2 – эжектор; 3 – вторичный воздух; 4 – камера вторичного воздуха; 5 – лопаточный завихритель; 6 – экранные трубы; 7 – пар

Рассматриваемая конструкция растопочной горелки обеспечивает надежную растопку при достаточно тонкой угольной пыли высокорреакционного угля. Горелка достаточно сложна по конструкции. Сведения о надежности ее работы отсутствуют. Количество растопочных горелок такой конструкции достаточно велико (6 шт. на котел в блоке 150 МВт).

На рисунке 1.53 представлена схема еще одной растопочной горелки. Горелка имеет цилиндрическую форму. Корпус горелки металлический, с наружной стороны корпуса расположен обогревающий змеевик, по которому пропускается пар. Пылеугольная смесь подается по центру 1 с торца грелки. Эжектор 2, расположенный на входе, обеспечивает рециркуляцию газов в корпусе горелки. Вторичный воздух подводится по

кольцевому каналу 4 и закручивается при помощи специальных лопаток 5. Горелка работает с $\alpha > 0,2$, для создания вблизи амбразуры первичной зоны горения. Остальной воздух подается с закруткой снаружи зоны воспламенения в топочное пространство. Камера соединяется с топкой керамическим коническим муфелем, угол раскрытия которого равен 60° .

Растопку паровых котлов, а также подсветку факела при снижении нагрузки котла для стабилизации горения в большинстве случаев в современных условиях производят включением растопочных мазутных горелок. Они удобны в эксплуатации, позволяют полностью механизировать процесс растопки, но при этом расходуется дорогое жидкое топливо. В последнее время актуальность сокращения либо полного отказа от мазута в связи с повышением цен на нефтепродукты резко возросла.

Относительно просто замена мазута углем может быть осуществлена на ТЭС, сжигающих малозольный высокорреакционный уголь.

Для замены мазута углем необходимо решить вопросы получения, хранения и транспортировки сухой и тонкой угольной пыли к растопочным устройствам, а также выбрать надежное и экономичное устройство для воспламенения и устойчивого горения пылевоздушной смеси.

2. СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ УГЛЕЙ КАБАССа И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ЕЕ ТИРАЖИРОВАНИЯ

2.1. Методологические и методические основы экономической оценки эффективности инвестиций в инновационные технологии

2.1.1. Особенности оценки эффективности инновационных проектов в энергетике

Энергетика как объект инвестирования обладает рядом особенностей, которые предъявляют определенные требования к методике оценки эффективности энергетических проектов.

Прежде всего, энергетика отличается системным характером. Вследствие межотраслевого характера воздействия на развитие национальной экономики она относится к тем отраслям инфраструктуры, эффективное развитие которых может быть осуществлено только в масштабах страны в целом или, по крайней мере, в крупных экономических районах, регионах. Следует иметь в виду, что сооружение новых энергетических объектов требует значительных сроков, достигающих 5—7 лет и более, и весьма крупных капитальных вложений, а также согласованного с этим развития энергомашиностроительной и электротехнической отраслей промышленности и соответствующей топливной базы. Кроме того, развивающиеся энергосистемы должны быть уверены в наличии к сроку ввода новых энергетических мощностей гарантированного рынка сбыта энергетической продукции (электрической и тепловой энергии) [13].

Системные особенности электроэнергетической отрасли требуют рассмотрения инвестиционного проекта одновременно с двух позиций: общесистемной – как элемента единой системы и индивидуальной – как самостоятельного конкурентоспособного проекта на рынке Единой электроэнергетической системы, а также применения комплексного подхода к оценке инвестиционного проекта – всестороннего изучения непосредственных затрат и полученных результатов, его влияние на экономику, природную и социальную среду [30].

Для экономической оценки энергетических объектов может быть использован методический аппарат, разработанный в отечественной экономической науке в рамках так называемого *системного подхода*. В соответствии с ним каждый энергетический объект рассматривается как часть (подсистема) одной или нескольких систем более высокого иерархического уровня, имеет сложные горизонтальные и вертикальные связи и, в свою очередь, состоит из подсистем иерархических уровней. Такое представление о реальной действительности локализует влияние каждого объекта в рамках включающей его энергетической системы, выводя за пределы системы лишь наиболее существенные изменения [31].

Адекватный инструментарий системного подхода — сложная иерархия математических моделей, разрабатываемых применительно ко всем типам больших систем энергетики и специализируемых по стадиям их функционирования и развития.

В Институте экономики и организации промышленных предприятий (ИЭиОПП) СО РАН в начале 1990-х годов XX в. была предложена принципиальная структура системы моделей для оценки эффективности новых комплексных технологий [32] как с позиций внутренних условий, так и с позиций системы. Межотраслевая модель позволяет получить народнохозяйственную оценку технологий, а важнейшие параметры производственных способов в этой модели формируются с помощью моделей более низких уровней, которые обеспечивают технологическую допустимость рассматриваемых производственных способов и отражают специфику зависимостей экономических показателей от факторов производства [33, 30, 34, 35].

На основе этого подхода в ИЭиОПП СО РАН совместно с Институтом теплофизики СО РАН и НЭТИ в 1991–1992 гг. проводились системные расчеты по определению рациональных направлений переработки и использования канско-ачинских углей, которые показали работоспособность предложенного инструментария и позволили проранжировать рассмотренные технологии по эффективности [36, 37].

На сегодняшний день в связи со сменой поколений вычислительных средств и отсутствием в необходимом объеме информации большинство модельных комплексов не поддерживаются в рабочем состоянии.

Экологический аспект экономической оценки инновационных энергетических проектов

Рассматривая экологический аспект экономической оценки инвестиционных проектов, необходимо выделить два момента:

- насколько эффективно можно оценивать экологические последствия в денежном выражении, и каковы наилучшие приемы такой оценки применительно к различным проектам;
- если экологическая оценка, либо невозможна, либо слишком не точна, каковы наилучшие подходы к сопоставлению экологических и экономических последствий?

В настоящее время мировым сообществом осуществляются попытки поиска возможных путей и средств развития процесса охраны окружающей среды. Общая направленность предпринимаемых в большинстве стран природоохранных мер характеризуется тем, что указанные пути и средства находятся преимущественно в правовой плоскости. При разработке экономических и правовых мер решения экологических проблем, как правило, не соблюдаются принципы системного подхода, вследствие чего эти меры часто реализуются разрозненно, без должной и необходимой увязки между собой, а иногда и в противоречии друг другу.

Характеризуя в целом состояние дел с разработкой и реализацией экономико-правового обеспечения процесса охраны природы, необходимо отметить, что в некоторых странах созданы и используются только отдельные элементы системы правового и экономического регулирования этого процесса, которые частично и далеко не в полной мере решают главную проблему эффективной охраны окружающей среды.

Так, во многих странах разработаны и применяются централизованно-административные методы управления процессами природопользования и охраны окружающей природной среды, обеспечивающие установление законодательных ограничений вредного воздействия производства на окружающую среду. Используются меры запретительного характера, государственного нормирования и мониторинга антропогенного загрязнения окружающей среды, а также вводятся достаточно жесткие санкции, преимущественно штрафного характера.

В целях совершенствования применяемых и разработки новых мер правового и экономического характера, направленных на реше-

ние сложных экологических проблем, выдвигаются самые различные точки зрения. Так, высказываются предложения по применению в качестве средства дальнейшего развития процесса охраны окружающей природной среды от антропогенных загрязнений так называемых «зеленых» налогов. В соответствии с разработанной концепцией английского экономиста *А. Пигу* (1877—1959) предлагалось экологические загрязнения, признающиеся экстермальными (внешними по отношению к предприятию-изготовителю) издержками, перевести во внутренние. Это предложение получило название «замыкание», или «интернализация», издержек. Смысл предложений *А. Пигу* сводился к интернализации «экологических» издержек, т.е. к установлению на предприятия-загрязнители окружающей среды специального налога, равного по величине экстермальным издержкам, получившего впоследствии название «налог Пигу», или «пигувианский налог». Комментируя это предложение, необходимо отметить, что, во-первых, экономический смысл и содержание этих издержек не соответствует категории «налог» и называть эти издержки налогом неправомерно, а, во-вторых, прямая интернализация «экологических» издержек в полном объеме является экономически необоснованной.

Тем не менее, сама идея *А. Пигу* и его последователей получила одобрение и превратилась в известный принцип «загрязнитель платит», введенный в 1972 г. Организацией экономического сотрудничества и развития. Более того, этот подход превратился в один из фундаментальных принципов экономики природопользования и стал экономическим обоснованием принятия во многих странах законов по охране природной окружающей среды.

Именно в силу своей теоретической необоснованности и практической неприемлемости идея *А. Пигу* не нашла широкого распространения и не обеспечила должного ожидаемого эффекта в развитии процесса охраны окружающей среды.

В России в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов» учет так называемых внешних факторов, к которым отнесены и экологические затраты и результаты, предлагается осуществлять только при расчете показателей общественной эффективности инвестиционных проектов. В этой связи необходимо отметить два обстоятельства.

Во-первых, трудно согласиться с утверждением о том, что экологические факторы, (наряду с такими, как «смежные сектора экономики», «социальные и иные внеэкономические эффекты») следует

относить к экстерналиям - внешним эффектам. Неправомерность этого утверждения обусловлена тем, что экологические последствия (ущербы) и их объемы являются прямым следствием выбранных по проекту технологией и организацией производства. Поэтому учет экологических факторов объективно необходим при определении показателей оценки не только общественной, но и хозрасчетной эффективности инвестиционных проектов.

Во-вторых, благодаря наличию соответствующих методических материалов создается реальная возможность количественного учета экологических факторов при оценке эффективности инвестиционных проектов.

Характеризуя экологические последствия реализации инвестиционных энергетических проектов, необходимо установить всю систему факторов, обуславливающих образование экологических результатов и затрат. Очевидно, что состав этих факторов, перечень и размеры результатов и затрат определяются сущностью и целевым назначением того или иного проекта и в первую очередь влиянием его реализации на природную среду, т.е. является этот инвестиционный проект эндоэкологическим или экзоэкологическим. Так, в случае разработки и последующей реализации экзоэкологических проектов при оценке их эколого-экономической эффективности необходимо учитывать воздействие возведенного объекта на окружающую природную среду, которое проявляется влиянием таких факторов, как:

- выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;
- сбросы вредных для водоемов веществ в водную среду;
- отторжение земельных площадей для сооружения специальных хранилищ и размещение в них отходов производства.

Действие указанных факторов проявляется в образовании на каждом году реализации экзоэкологического проекта общего объема экологического ущерба, стоимостное выражение которого представляет собой затраты природно-ресурсного потенциала и по сути своей является оттоком «природного капитала», вызываемого эксплуатацией производственного объекта, возведенного в соответствии с этим проектом, а его сумма, учитываемая со знаком «минус», должна участвовать при формировании общего размера потоков денежных средств. Таким образом будут учтены экологические последствия реализации экзоэкологических проектов при оценке суммы интегрального эколого-экономического чистого дисконтированного дохода (ЧДД_{ээ}) и других показателей эколого-экономической эффективности таких проектов.

При оценке эколого-экономической эффективности экоэкологических проектов должно учитываться влияние возведенного в соответствии с таким проектом природоохранного объекта на природную среду, обусловленное сокращением объемов вредного воздействия на нее в результате уменьшения массы выбросов, сбросов и отходов, что обуславливает в конечном итоге образование предотвращенного экологического ущерба, являющегося по своей сути целевым конечным результатом экологического характера.

Сопутствующим экономическим результатом в таком случае выступает образующаяся экономия текущих затрат, обусловленная сокращением:

- выплат действующим предприятием за загрязнение окружающей среды;
- затрат по транспортировке и хранению отходов в специальных хранилищах и др.

В соответствии с «Временной методикой определения предотвращенного экологического ущерба», изданной Госкомприроды РФ в 1999г., экологический ущерб окружающей природной среде означает «фактические экологические, экономические или социальные потери, возникающие в результате ... хозяйственной деятельности человека...». Он проявляется в виде потерь природных, трудовых, материальных и финансовых ресурсов. Экологический ущерб от загрязнения окружающей природной среды представляет собой оценку в денежной форме отрицательных последствий от загрязнения природной среды. Стоимостная оценка экологического ущерба от антропологической деятельности производится по следующим составным элементам окружающей природной среды: атмосфера; водные ресурсы (гидросфера); почвы и земельные ресурсы (литосфера); биологические ресурсы (растительный и животный мир).

Согласно упомянутой «Временной методике..» и в соответствии с «Временной типовой методикой определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды» порядок расчета объема экологического ущерба, выраженного в денежной форме, сводится к следующему:

- определяется фактический годовой объем каждого вида загрязненного вещества, образующегося, например, в результате хозяйственной деятельности предприятия;
- с помощью коэффициентов относительной опасности каждого вида загрязняющего вещества производится перерасчет его натуральной

массы в условные тонны, после чего определяется общая масса образующихся и поступающих в каждый из вышеуказанных элементов окружающей природной среды загрязнений;

- рассчитанный объем приведенной массы загрязняющих веществ, поступающих в каждую из сфер (элементов) окружающей природной среды (атмосферу, гидросферу, литосферу), корректируется на коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха, водных объектов, земельных площадей, установленные для различных регионов и для бассейнов основных рек РФ;
- стоимостная оценка экологического ущерба, наносимого производством каждого из элементов окружающей природной среды, производится путем умножения объема скорректированной приведенной массы вредных выбросов на соответствующую указанным элементам величину удельной экономической оценки ущерба (цену загрязнения) в расчете на одну условную тонну;
- общая сумма экологического ущерба, обусловленного, например, деятельностью предприятия, определяется суммированием размеров ущербов, нанесенных функционированием этого предприятия атмосфере, гидросфере и литосфере.

Таким образом, разные процессы производства продукции обеспечивают неодинаковые по масштабам объемы воздействия на окружающую среду; во-вторых, мера этого воздействия может изменяться; в-третьих, вся совокупность техногенных источников загрязнения формирует суммарную величину воздействий на окружающую среду и в локальном, и в глобальном масштабах; в-четвертых, уровень качества окружающей среды в целом, как следствие воздействия на нее всей массы антропогенных выбросов, может изменяться.

Повышению внимания к экологическому аспекту энергетики России способствовало принятие законов «Об охране атмосферного воздуха» (1999 г.) и «Об охране окружающей среды» (2002 г.), в которых впервые в практику природоохранной деятельности в законодательном порядке введены такие понятия, как «экологическая нагрузка на природную среду», «экологические и технические нормативы». Как уже отмечалось, при планируемом увеличении доли угля в топливном балансе электроэнергетики ожидается существенное обострение экологических проблем и возрастание экологических требований к разрабатываемым инновационным экологически чистым энерготехнологиям.

Экологическая эффективность производства по своему содержанию должна выражать уровень экологической безопасности этого производ-

ства. Необходимость определения такой формы эффективности продиктована тем, что любой процесс производства требует для своей реализации больших или меньших затрат природных ресурсов и, во-вторых, обуславливает загрязнение окружающей среды, что, в свою очередь, приводит к резкому снижению качества среды обитания людей. А поскольку обществу не может быть безразлично, какой ценой с природоохранной точки зрения обходятся ему конечные полезные экономические результаты различных производств, включая энергетику, то оценка их экологической эффективности становится объективно необходимой. Эта необходимость вызвана также потребностью управления процессом сокращения отрицательного экологического воздействия энергетики на окружающую среду.

2.1.2. Методический инструментарий оценки эффективности инвестиций в инновационные энергетические технологии

Исходя из имеющихся возможностей информационного и вычислительного обеспечения предлагается использовать следующий алгоритм при проведении оценки эффективности инвестиций в инновационные энерготехнологии (рис. 2.1).

1. На основе анализа прогнозных исследований перспектив развития производительных сил страны для рассматриваемого района определяются потребности общества в энергоресурсах и возможности их удовлетворения на основе традиционных технологий производства и использования топлива.

2. Анализируется экологическая обстановка в рассматриваемом районе.

3. Для инновационных энерготехнологий подготовки топлива прогнозируются технико-экономические показатели, дается экологическая оценка и проводится расчет предотвращенного экологического ущерба.

4. По результатам оптимизации энергетической модели России исходя из показателей эффективности технологии, полученных на предыдущем этапе, оценивается потенциальный эффект от замены традиционных технологий новыми, т.е. проводится оценка общественной эффективности.

5. Проводится оценка коммерческой эффективности для конкретных инвестиционных проектов реализации энерготехнологии с учетом комплексной оценки риска.

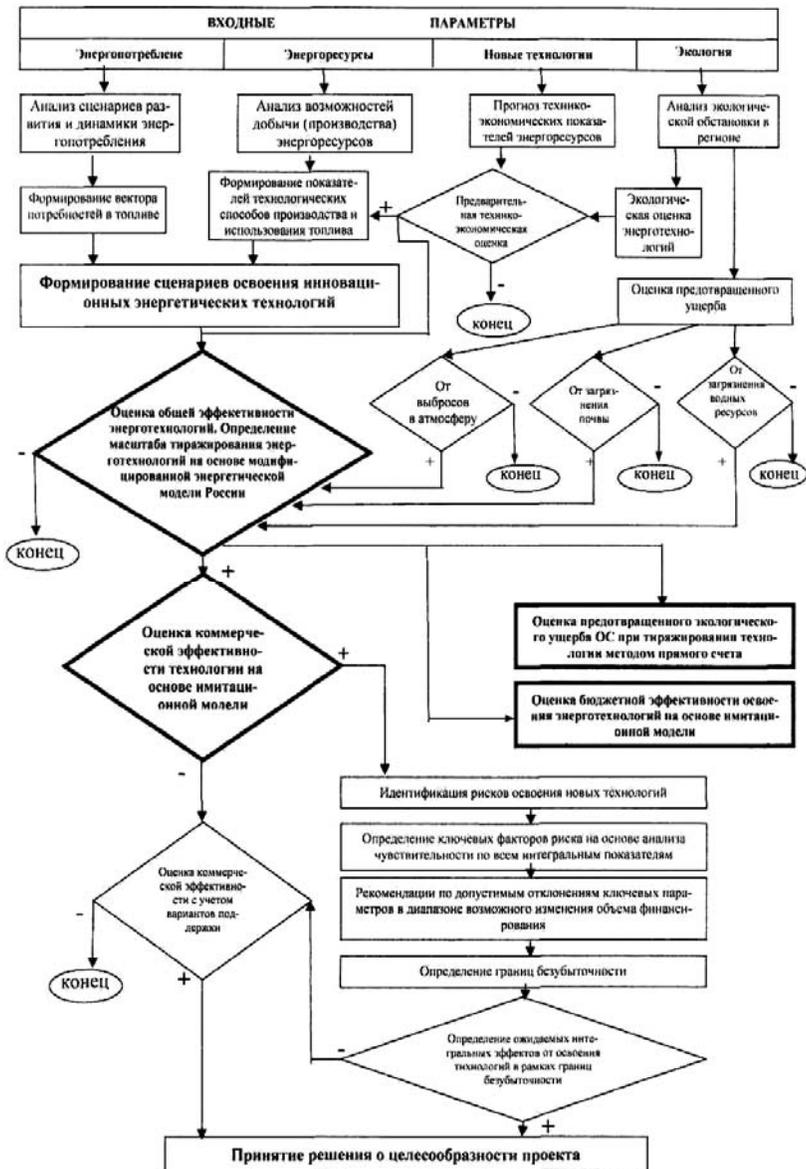


Рис. 2.1. Алгоритм проведения исследования по оценке эффективности инвестиций в инновационные энергетические технологии

6. Осуществляется расчет бюджетной эффективности проектов при освоении и тиражировании энергетических технологий.

7. Оценивается предотвращенный экологический ущерб окружающей среде при тиражировании технологий по регионам России.

В системных расчетах по эколого-экономической оценке эффективности технологии термической подготовки топлива используются блок прямых расчетов предотвращенного экологического ущерба от вредных выбросов, оптимизационная модель топливно-энергетического баланса, имитационные финансово-экономические модели оценки эффективности инвестиционных проектов.

Определение предотвращенного ущерба окружающей среде в результате применения энерготехнологии

Показатели экологической эффективности описаны в ГОСТ Р ИСО 14031-2001 «Экологический менеджмент – оценивание экологической эффективности. Общие требования».

Экологический результат реализации инновационных энергосберегающих проектов заключается в снижении отрицательного воздействия на окружающую среду и улучшении ее состояния и проявляется в уменьшении объемов поступающих в среду загрязнений либо в снижении уровня загрязнения окружающей среды в целом, увеличении количества и улучшении качества пригодных к использованию земельных, лесных, водных и других ресурсов.

Экономическим результатом являются:

1. Предотвращенный экономический ущерб от загрязнения окружающей среды, т.е. предотвращенных благодаря снижению загрязнения окружающей среды затрат в материальном производстве, непродуцированной сфере и соответствующих расходов населения.

2. Прирост денежной оценки природных ресурсов, сберегаемых (улучшаемых) благодаря реализации энергосберегающих проектов.

3. Прирост денежной оценки реализуемой продукции, получаемой благодаря более полной утилизации топливно-энергетических ресурсов в результате осуществления проектов.

Применение специализированной модели межотраслевого комплекса – Энергетической модели России

Для определения общесистемного эффекта от реализации новых энерготехнологий в качестве базовой использовалась разработанная в ИЭ и ОПП СО РАН Энергетическая модель России.

Традиционно задача формулируется следующим образом.

При выполнении ограничений по ресурсам (возможности развития добычи и производства), по условиям транспортировки и по потребности и при минимизации приведенных затрат на добычу (производство), переработку, транспортировку и использование топлива необходимо определить:

1. Объемы добычи (производства) различных энергоресурсов по отдельным месторождениям (пунктам, нефтеперерабатывающим заводам).
2. Объемы переработки различных видов топлива по отдельным пунктам.
3. Распределение энергоресурсов между отдельными экономическими районами с предварительным распределением их внутри районов между основными категориями потребителей.
4. Объемы и направления перевозок различных видов топлива магистральным железнодорожным транспортом, газопроводами, передача электроэнергии по линиям электропередачи (ЛЭП).
5. Рациональные виды топлива для тепловых электростанций и котельных, работающих на органическом топливе.
6. Объемы производства электроэнергии и теплоэнергии на новых, реконструируемых и действующих электростанциях и в котельных.

Структура эксплуатируемой в ИЭОПП Энергетической модели России представлена на рис. 2.2.

Для проведения сравнительного анализа эффективности термической подготовки канско-ачинских углей и других перспективных энерготехнологий с традиционными технологиями была произведена модернизация модели (табл. 2.1).

Для изучения эффективности применения технологии безмазутной растопки котельных агрегатов (БМРК) в региональные блоки модели топливно-энергетического баланса (ТЭБ), описывающие топливоиспользование на ТЭС, введены переменные, уравнения и ограничения, отражающие условия производства электроэнергии и тепла с применением этих технологий.

В Энергетической модели отражен этап использования топлива на примере условной группы действующих ТЭС, работающих на буром угле. Для отражения возможности использования технологии термической подготовки КАУ модель была модифицирована следующим образом:

- вводится дополнительное ограничение на использование топлива для подсветки факела, позволяющее выбирать между традиционной мазутной технологией и новыми безмазутными технологиями;

Таблица 2.1

**Фрагмент модификации Энергетической модели России,
отражающий возможность использования технологии БМРК**

Условия	Способы сжигания топлива по видам				Значения правых частей
	уголь бурый рядовой	мазут	СПВ	БМРК	
1. Приведенные затраты, руб/тут	d_{ink}^y	d_{ink}^m	d_{ink}^c	d_{ink}^B	
2. Баланс бурого рядового угля, млн тут	-1		-1	-1	≥ 0
3. Баланс мазута, млн тут		-1			≥ 0
4. Ограничения на потребление топлива, млн тут	λ_{in}^y	λ_{in}^m	λ_{in}^y	λ_{in}^y	$\geq P_{nk}$
5. Ограничения снизу на интенсивность использования способа, млн тут		λ_{in}^m			$\geq (0,05 - g) P_{nk}$
6. Ограничение на подсетку топлива, млн тут		λ_{in}^m	λ_{in}^y	λ_{in}^y	$\geq 0,05 P_{nk}$

- в целевой функции, помимо затрат на подготовку и сжигание угля, учитываются затраты на создание и эксплуатацию систем безмазутного розжига.

Условные обозначения, принятые в модифицированной модели:

n - индекс потребителей топлива;

N_k - множество индексов потребителей топлива в районе k ;

N_k^1 - подмножество индексов потребителей топлива в районе k , производящих электроэнергию и тепло;

b_{nk}^e, b_{nk}^h - коэффициенты выработки из 1 т условного топлива соответственно электроэнергии и тепла на объекте n в регионе k ;

d_{nk} - удельные приведенные затраты на производство электроэнергии и тепла (без топливной составляющей) на объекте n в районе k .

Π_k^e - потребность в электроэнергии в районе k ;

Π_k^h - потребность в тепловой энергии в районе k .

$d_{kk'}^e$ - стоимость электроэнергии, поставляемой из района k в ОЭС.

$d_{k'k}^e$ - стоимость электроэнергии, поставляемой из ОЭС в район k .

Z_{kk}^e - объем поставки электроэнергии из ОЭС в район k ;

$Z_{kk'}^e$ - объем поставки электроэнергии из района k в ОЭС;

U_{nk} - объем топлива, расходуемый на объекте n в районе k ;

$$\lambda_{in}^y U_{ink}^y + \lambda_n^m U_{nk}^m + \lambda_n^n U_{nk}^n + \lambda_n^r U_{nk}^r - U_{nk} = 0, \quad n \in N_k^1, k \in K$$

- условие удовлетворения потребности в топливе объектов n , производящих электроэнергию и тепло в районе k ;

$$\sum_{k^1} Z_{k^1 k}^e + \sum_{n \in N_k^1} b_{nk}^e U_{nk} - \sum_{k^1} Z_{kk^1}^e \geq \Pi_k^e$$

- условие удовлетворения потребности в электроэнергии в районе k ;

$$\sum_{n \in N_k^1} b_{nk}^h U_{nk} \geq \Pi_k^h$$

- условие удовлетворения потребности в тепле в районе k .

В целевую функцию задачи добавляются слагаемые:

$$\sum_{k \in K} \sum_{n \in N_k^1} (d_{nk} U_{nk} + d_k^e Z_k^e) \rightarrow \min$$

Отдельные блоки Энергетической модели России представлены на рис. 2.2 – 2.6.

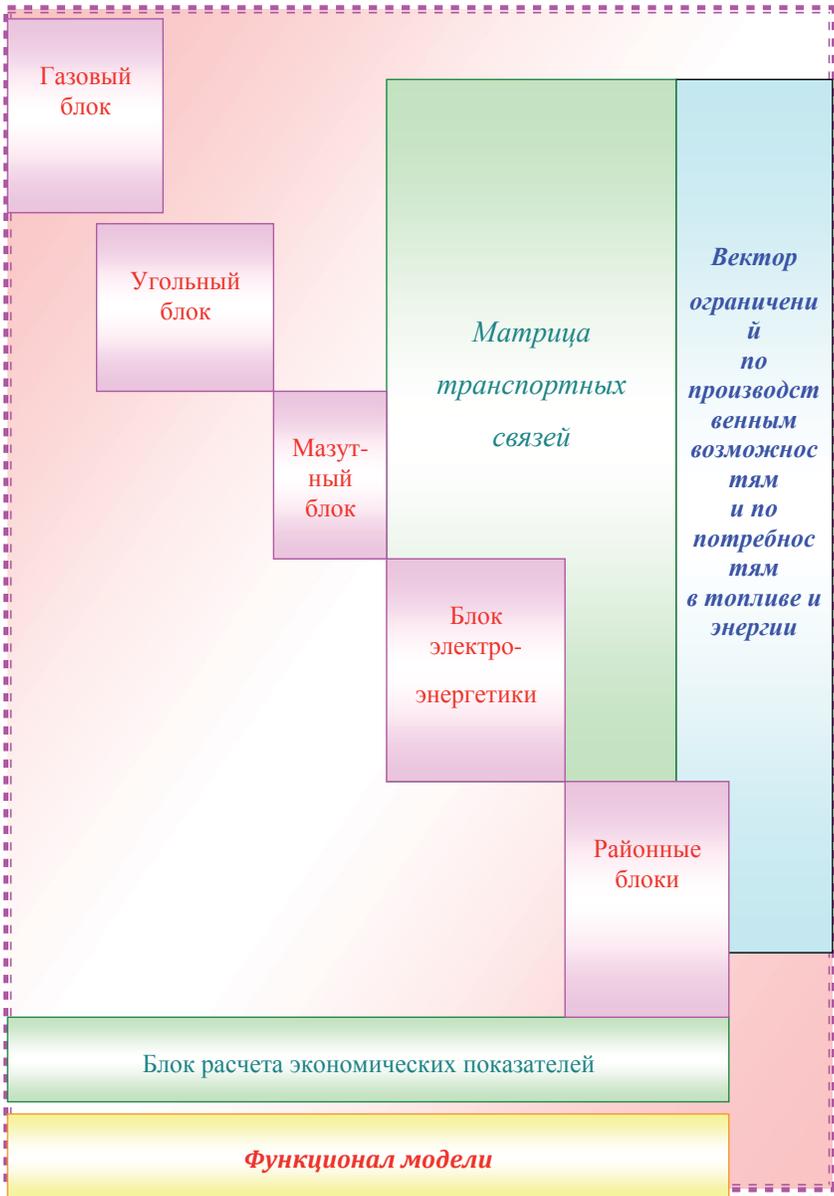


Рис. 2.2. Структура Энергетической модели России

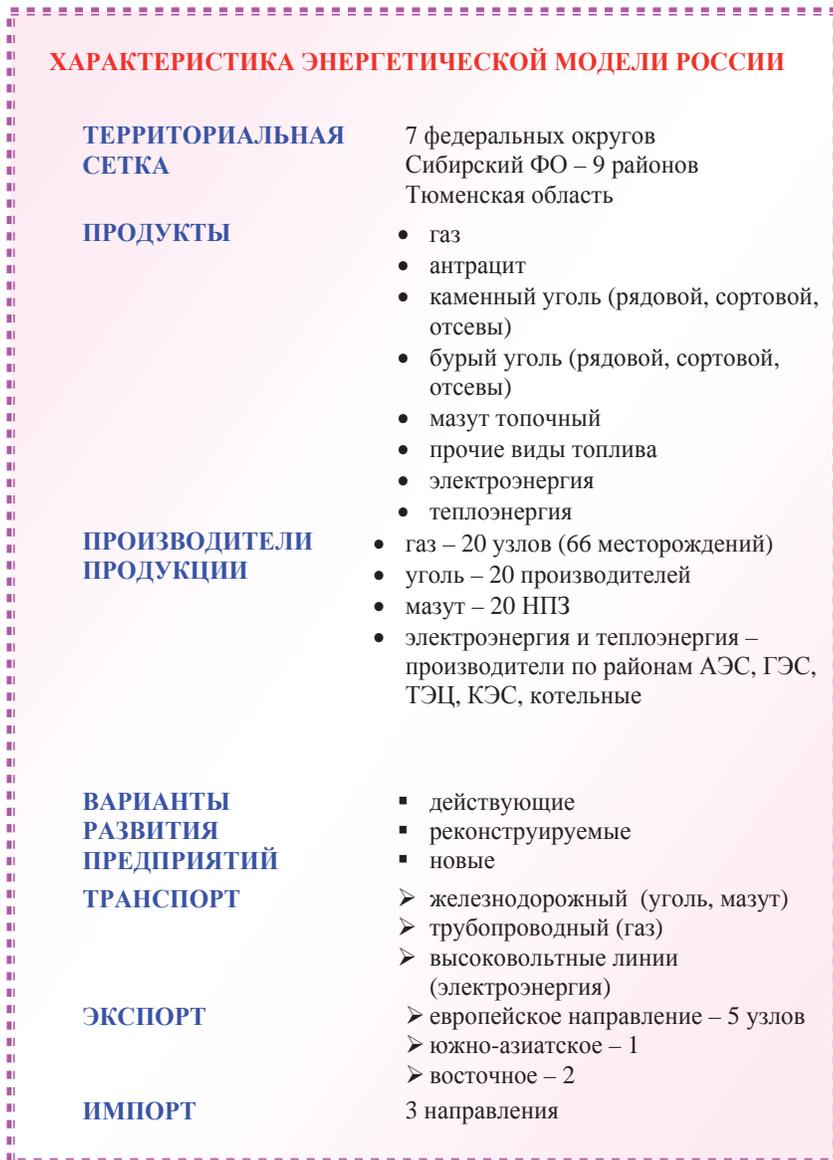


Рис. 2.3. Характеристика энергетической модели России

БЛОК ПОТРЕБЛЕНИЯ

Районные блоки потребления

- Северо-Западный
- Центральный
- Приволжский
- Южный
- Уральский (без Тюменской области)
- Тюменская область
- Сибирский
 - Алтайский край и Республика Алтай
 - Кемеровская область
 - Новосибирская область
 - Томская область
 - Омская область
 - Красноярский край, Республика Хакасия и Республика Тыва
- Дальневосточный
 - Иркутская область
 - Читинская область
 - Республика Бурятия

Экспортные направления и узлы

- Среднеазиатское
- Северо-Западное (Санкт-Петербург, Клайпеда, Мурманск)
- Тихоокеанское (Владивосток)
- Черноморское (Севастополь, Новороссийск)
- Европейское (Минск)
- Северо-Восточная Азия (Иркутск, Алтай)
- Кавказское

Направления импорта

- ✓ Казахстан (уголь)
- ✓ Туркмения (газ)

Рис. 2.4. Блок потребления

ПОТРЕБИТЕЛИ ТОПЛИВА В РАЙОНАХ					
	Уголь каменный	Уголь бурый	Газ	Мазут	Прочие виды топлива
ТЭЦ действующие					
каменноугольные					
буроугольные					
газомазутные					
ТЭЦ новые					
ТЭЦ реконструкция					
КЭС действующие					
каменноугольные					
буроугольные					
газомазутные					
КЭС новые					
КЭС реконструкция					
Котельные действующие					
Котельные новые					
Прочие потребители					
Потери					
Запасы					

ПРОИЗВОДИТЕЛИ ЭЛЕКТРО-, ТЕПЛОЭНЕРГИИ В РАЙОНАХ		
	Электроэнергия	Теплоэнергия
ТЭЦ		
КЭС		
Котельные	X	
АЭС		X
ГЭС		X

Рис. 2.5. Потребители ресурсов в районах

ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ ДОБЫЧИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАНСКО-АЧИНСКИХ УГЛЕЙ	
ПОТРЕБИТЕЛИ	<p>ЭНЕРГЕТИКА</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ОАО «Красноярская генерация» – ТГК-13 ➤ ГРЭС РАО ЕЭС: <ul style="list-style-type: none"> ▪ ОАО «Березовская ГРЭС» – «ОГК-4» ▪ ОАО «Красноярская ГРЭС-2» – ОГК-6 ➤ ТЭЦ других ведомств <p>ПРОЧИЕ СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Промышленность ➤ Тепловые котельные ➤ Бытовой сектор ➤ Прочие сектора
ПРОИЗВОДИТЕЛИ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ КАбасс – 12 угледобывающих компаний <ul style="list-style-type: none"> ▪ Красноярский филиал компании ▪ ОАО «СУЭК» ▪ ОАО «Красноярсккрайуголь» ▪ 10 малых предприятий
ПРОДУКЦИЯ	<p>БУРЫЙ УГОЛЬ МАРКИ 2БР КАМЕННЫЙ УГОЛЬ МАРКИ Д</p>
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	<p>ВЭКА БМРК СПВ</p>
ВАРИАНТЫ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ действующие ➤ реконструируемые ➤ новые
ТРАНСПОРТ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ железнодорожный
ЭКСПОРТ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Венгрия, Чехия, Румыния ➤ Молдавия, Украина
ПОСТАВКИ ЗА ПРЕДЕЛЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ	<p>7 НАПРАВЛЕНИЙ: Центральная Россия Новосибирская область Алтайский край Хакасия Республика Бурятия Иркутская область Дальний Восток</p>

Рис. 2.6. Характеристика условий добычи и использования КАУ

Учет неопределенности и риска при оценке эффективности инновационных проектов

Важной особенностью финансирования инновационных проектов является вероятностный характер получения дохода, так как при проведении прединвестиционных исследований на всех стадиях существует фактор неопределенности и риска. Исходя из этого неотъемлемой частью технико-экономических обоснований инновационных проектов должен быть риск-анализ инвестиций в инновационные проекты.

Риски, которые могут быть выявлены с использованием методов качественного анализа по стадиям инновационного проекта в результате освоения новой энерготехнологии термической подготовки углей в условиях ТЭС, представлены в табл. 2.2.

На **прединвестиционной стадии** к наиболее значимым факторам относятся следующие: обеспечение энергоресурсосбережения, экологичность, соответствие определенным потребностям рынка и возможные объемы тиражирования технологии. В силу того что технология термической подготовки углей находится на стадии промышленного освоения и защищена 40 патентами, такие факторы, как: техническая новизна, патентная чистота, наличие научно-технических ресурсов и экспериментальной базы являются малозначимыми.

На инвестиционной стадии наиболее значимыми факторами рисков выступают объемы капитальных вложений в освоение технологии и наличие доступных источников финансирования. Эти факторы приобретают особую актуальность для предприятий при ограниченном бюджете капиталовложений.

На стадии эксплуатации к наиболее значимым факторам рисков следует отнести цены на энергоресурсы, изменения в налогообложении, изменение штрафов по экологическим платежам, влияние внедрения технологии на технико-экономические показатели предприятия.

Учитывая характер предсказуемости наиболее значимых факторов риска, необходимо сделать вывод о возможности их оценки и учета методами статистического анализа и сценарного подхода.

Для оценки уровня риска используются различные методы. Выбор метода зависит от масштаба и сложности объекта инвестирования, уровня подверженности данного типа объектов риску, наличия необходимых исходных данных и ресурсов: времени, компьютеров и математического обеспечения, финансовых возможностей идущего на риск инвестора, отношения к риску лица, принимающего решение.

Таблица 2.2

**Матрица рисков по стадиям инновационного проекта
освоения инновационных энерготехнологий
(термической подготовки угля на ТЭС)**

Основные факторы рисков по стадиям инновационного проекта	Классификационный признак видов риска ИП						
	По степени значимости			По отношению к проекту как к замкнутой системе		По степени предсказуемости	
	Значимые	Средне-значимые	Малозначимые	Внешние риски	Внутренние риски	Внешние непредсказуемые	Внешние предсказуемые
1	2	3	4	5	6	7	
Прединвестиционная стадия (ПИ, ОКР)							
1. Обеспечение энергоресурсосбережения данной технологией	+				+		+
2. Экологичность технологии	+				+		+
3. Совместимость освоения технологии с инновационной стратегией:							
• предприятия;		+			+		
• отрасли		+		+			+
• региона;		+		+			+
• государства		+		+			+
4. Соответствие технологии определенным потребностям рынка	+			+			+
5. Возможный объем тиражирования технологии	+			+			+
6. Наличие конкурентных технологий		+		+			+
7. Техническая новизна			+		+		
8. Патентная чистота			+		+		
9. Наличие научно-технических ресурсов			+		+		
10. Наличие экспериментальной базы			+		+		
11. Возможность дальнейших разработок по совершенствованию технологии		+			+		
12. Согласованность с другими ИП предприятия			+		+		

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	
Инвестиционная стадия (Ос)							
1. Величина требуемых капитальных вложений в освоение технологий	+				+		
2. Изменение величины капитальных вложений, в том числе из-за инфляции		+		+		+	
3. Качество проведения проектно-исследовательских работ			+		+		
4. Соответствие численности и квалификации производственного персонала предприятия для реализации инновационного проекта по освоению технологии			+		+		
5. Наличие доступных источников финансирования проекта	+			+		+	
6. Наличие финансовых средств в необходимые сроки		+		+		+	
7. Наличие государственной поддержки проекта по освоению технологии			+	+		+	
8. Соблюдение сроков выполнения работ по освоению инвестиций		+			+		
Эксплуатационная стадия							
Финансово-экономические риски							
1. Неустойчивость объемов спроса и тарифов на энергию	+			+			+
2. Изменения в налогообложении	+			+			+
3. Изменение штрафов по экологическим выбросам	+			+			+
4. Изменение стоимости используемых энергоресурсов (мазут, уголь)	+			+			+
Технические риски							
1. Зависимость использования технологии от качества энергоресурсов (мазута, угля)			+	+			+
2. Реальные объемы энергоресурсосбережения	+				+		+
3. Надежность и безопасность внедряемой технологии			+		+		
4. Влияние внедрения технологии на технико-экономические показатели предприятия	+				+		+
Социальные риски							
1. Соответствие квалификации персонала по технически грамотной эксплуатации технологии		+			+		
Экологические риски							
1. Экологические показатели предприятия при освоении технологии		+			+		

В последнее время произошли заметные изменения в попытках повысить надежность расчетов инвестиций. Разрабатываются специальные методы, которые уменьшают риск тем, что позволяют лицу, принимающему решение, изучить многовариантную картину возможных последствий (эффектов) в зависимости от изменения условий – входных параметров анализируемых систем. Иначе говоря, предполагается, что риск может быть уменьшен при более основательном понимании действия механизма формирования прибыли и учете различных влияний, зависимостей и т.д. Это усложняет алгоритм принятия решений, но позволяет учесть значительно большее число факторов и условий реализации проекта.

Все подобные методы можно объединить в три группы: расчет критических точек (анализ безубыточности), вероятностный анализ (статистические методы); анализ чувствительности.

Анализ безубыточности (расчет критических точек)

Смысл метода заключается в определении минимально допустимого (критического) уровня производства (продаж), при котором проект остается безубыточным. Чем ниже будет этот уровень, тем более вероятно, что данный проект будет жизнеспособен в условиях непредсказуемого рынков сбыта, и, следовательно, тем ниже будет риск инвестора.

Ряд параметров проекта влияет на затраты и результаты проекта не на одном, а на нескольких шагах или даже в течение всего расчетного периода. Если такой параметр постоянен в течение расчетного периода (например, ставка налога и др.), то для него определяется **граница эффективности (предельное значение)**, при достижении которой чистая текущая стоимость (NPV) проекта обращается в нуль. Предельные значения обычно определяются для наиболее важных параметров проекта, проектные значения которых установлены с известной долей неопределенности. Наиболее часто в этом качестве используется IRR, отражающий предельное значение нормы дисконта.

В то же время существенный недостаток этого метода заключается в том, что сценарии с измененными параметрами проекта оцениваются только по какому-то одному показателю (прибыли или NPV). К тому же эти сценарии не проверяются на финансовую реализуемость, а при их формировании не учитывается имеющаяся информация о том, в каких пределах реально могут изменяться тарифы, цены на топливо и т.п. Эти недостатки устраняются при использовании метода вариации параметров (вероятностный анализ).

Вероятностный анализ

Наиболее очевидным способом учета фактора неопределенности является вероятностный анализ (probability analysis), который базируется на использовании довольно сложного математического аппарата теории вероятностей. Суть этого подхода заключается в изучении статистики потерь, имевших место на данном производстве, или на аналогичных. При этом устанавливается вероятность отдачи и определяется средняя величина риска, после чего составляется прогноз на будущее.

При вероятностной неопределенности по каждому сценарию считается известной (заданной) вероятность его реализации. Вероятностное описание условий реализации проекта оправданно и применимо, когда эффективность проекта обусловлена прежде всего неопределенностью природно-климатических условий (погода, характеристики грунта или запасов полезных ископаемых, возможность землетрясений или наводнений и т.п.) или процессов эксплуатации и износа основных средств (снижение прочности конструкций зданий и сооружений, отказы оборудования и т.п.).

В случае, когда имеется конечное количество сценариев и вероятности их заданы, ожидаемый интегральный эффект проекта рассчитывается по формуле математического ожидания:

$$Э_{ож} = \sum Э_k \times P_k, \quad (2.1)$$

где $Э_{ож}$ - ожидаемый интегральный эффект проекта;

$Э_k$ - интегральный эффект (NPV) при k -м сценарии;

P_k - вероятность реализации этого сценария.

На рис. 2.7 представлена последовательность оценки проектов в условиях неопределенности.

При этом риск неэффективности проекта ($Pэ$) и средний ущерб от реализации проекта в случае его неэффективности ($Уэ$) определяются по формулам.

$$Pэ = \sum P_k; Уэ = (\sum_k |Э_k| \times P_k) / Pэ, \quad (2.2)$$

где суммирование ведется только по тем сценариям (k), для которых интегральные эффекты (NPV) $Э_k$ отрицательны.

Интегральные эффекты сценариев $Э_k$ и ожидаемый эффект $Э_{ож}$ зависят от значения нормы дисконта (E). Премия (g) за риск неполучения доходов, предусмотренных основным сценарием проекта, определяется из условия равенства между ожидаемым эффектом проекта $Э_{ож}$ (E), рассчитанным при безрисковой норме дисконта E , и эффектом основного



Рис. 2.7. Схема оценки проектов в условия неопределенности

сценария $\mathcal{E}_{oc}(E + g)$, рассчитанным при норме дисконта $E + g$, включающей поправку на риск:

$$\mathcal{E}_{ож}(E) = \mathcal{E}_{oc}(E + g) \quad (2.3)$$

В этом случае средние потери от неполучения предусмотренных основным сценарием доходов при неблагоприятных сценариях покрываются средним выигрышем от получения более высоких доходов при благоприятных сценариях.

Размер премии g зависит от того, какой сценарий принят в качестве базисного. Основная рекомендация об использовании в этом сценарии умеренно пессимистических, а не средних оценок доходов и расходов обеспечивает снижение премии за риск, упрощая оценку

эффективности при отсутствии информации о вероятностях отдельных сценариев.

Указанные формулы целесообразно применять и в том случае, когда проект предусматривает получение государственной гарантии. В этом случае в число сценариев должны быть включены и такие, когда заемные средства полностью не возвращаются, и государству (федеральному или региональному бюджету) приходится расплачиваться по выданной гарантии. По таким сценариям при расчете общественной, бюджетной и региональной эффективности в состав затрат включаются выплаты непогашенных сумм по гарантии. Математическое ожидание указанных выплат может быть использовано для оценки альтернативной стоимости государственных гарантий.

Интервальная неопределенность

В том случае, когда какая-либо информация о вероятностях отдельных сценариев отсутствует (или известно, что реализация любого из этих сценариев вообще не является случайным событием и не может быть охарактеризована случайным событием), в литературе нередко можно встретить рекомендацию использовать формулу математического ожидания и в этом случае (поскольку входящие в формулу вероятности неизвестны) определять их экспертным путем либо считать соответствующие вероятностные распределения равномерными, нормальными и т.п. Что касается экспертного установления вероятностного распределения, то такой метод представлялся бы хорошим, если бы набор сценариев был одинаков или почти одинаков для всех проектов. Однако в современных российских условиях совокупность сценариев реализации для каждого из реальных инвестиционных проектов обычно своя, конкретные виды рисков по каждому проекту свои, прогнозы параметров внешней среды все время меняются, а мониторинг реализации инвестиционных проектов практически не ведется, т.е. каждому проекту присуща своя «внутренняя» неопределенность, требующая как бы индивидуального учета. В этих условиях не существует ни исходной статистической базы для экспертных оценок, ни достаточного числа экспертов, которые могли бы высказать согласованное мнение о вероятностях реализации отдельных сценариев конкретного проекта.

В последнее время экономисты все чаще приходят к выводу о том, что не всякая неопределенность носит вероятностный характер. Серьезно говорить о вероятностях можно лишь применительно к повторяющимся, массовым явлениям, обладающим статистической устойчиво-

стью. Применительно же к новым технологиям говорить о вероятностях просто нельзя. Например, не являются случайными запасы угля в данном месторождении или показатели надежности данного оборудования, хотя разные специалисты могут давать разную оценку этим параметрам. Чаще всего на практике возникают ситуации, когда имеется n возможных сценариев реализации проекта, обеспечивающих получение эффектов соответственно $\mathcal{E}_1, \mathcal{E}_2, \dots, \mathcal{E}_n$, о вероятностях которых ничего не известно. Это приводит к двум важным следствиям:

1) в общем случае число возможных сценариев бесконечно. Тот факт, что при оценке проектов учитывается конечное число сценариев, обуславливается либо ограниченностью «наших» расчетных возможностей, либо тем, что мы рассматриваем только в известном смысле «крайние» сценарии, подразумевая, что если при «крайних» сценариях проект реализуем и эффективен, то он будет таким же и в «промежуточных» сценариях;

2) возможные эффекты проекта не всегда образуют дискретный ряд чисел, они могут заполнять и некоторый интервал на числовой оси и даже несколько непересекающихся интервалов (например, если принятая технология окажется подходящей, то возможные эффекты проекта будут лежать в одном интервале, если же выяснится ее непригодность – в другом).

На этом основании данный вид определенности может быть назван интервальной неопределенностью. Здесь «степень возможности» неопределенных параметров устроена просто – все значения параметра в соответствующем интервале считаются возможными («степень возможности» равна единице), все остальные – невозможными («степень возможности» равна нулю).

Наиболее общая расчетная формула для определения ожидаемого интегрального эффекта в случае интервальной неопределенности предложена Л. Гурвицем [38]. Она известна под названием «критерий оптимизма-пессимизма»:

$$\mathcal{E}_{\text{ож}} = \lambda \times \mathcal{E}_{\text{max}} + (1-\lambda) \times \mathcal{E}_{\text{min}}, \quad (2.4)$$

где \mathcal{E}_{max} и \mathcal{E}_{min} — наибольший и наименьший интегральный эффект (NPV) по рассмотренным сценариям;

$0 \leq \lambda \leq 1$ — специальный норматив для учета неопределенности эффекта, отражающий систему предпочтений соответствующего хозяйствующего субъекта в условиях неопределенности. На практике удовлетворительные результаты получают $\lambda = 0,3$ (существуют также несколько иные рекомендации в [39], где рассмотрены и некоторые другие

вопросы, связанные с применением формулы Гурвица при оценке эффективности проектов в условиях неопределенности).

Критерий ожидаемого эффекта в формуле Гурвица удовлетворяет аксиомам согласованности, монотонности и независимости от дополнительных проектов и, следовательно, обладает свойством аддитивности. Формула Гурвица учитывает только экстремальные значения эффекта. И варьируя диапазонами изменения параметров, можно практически изменить эффект проекта как угодно.

Анализ чувствительности

Анализ чувствительности заключается в получении с помощью финансовой модели инвестиционного процесса расчетных оценок эффекта и эффективности для широкого диапазона возможных условий, в выявлении на этой базе наиболее важных (чувствительных) входных параметров модели. Он позволяет выявить закономерности динамики результатов функционирования анализируемой системы в зависимости от изменения каждого из этих параметров.

Анализ чувствительности следует проводить в предлагаемой последовательности (рис. 2.8).

Метод анализа чувствительности является хорошей иллюстрацией влияния отдельных исходных показателей на результат. Он также показывает направления дальнейших исследований. В результате анализа чувствительности лицу, принимающему решение, предоставляется не единственная оценка эффективности, а развернутая картина (в виде таблиц и графиков) возможных значений эффективности для разнообразных возможных ситуаций. Если установлена сильная чувствительность результирующего показателя к изменениям некоторого исходного, последнему следует уделить особое внимание.

Вместе с тем данный метод обладает и рядом недостатков, наиболее существенными из которых являются:

- жесткая детерминированность используемых моделей для связи ключевых переменных;
- метод не позволяет получить вероятностные оценки возможных отклонений исходных и результирующих показателей;
- предполагает изменение одного исходного показателя, в то время как остальные считаются постоянными величинами.

Однако на практике между показателями существуют взаимосвязи, и изменения одного из них автоматически приводит к изменениям остальных.



Рис. 2.8. Схема алгоритма проведения анализа чувствительности

Следует отметить, что использование различных методов анализа проектных рисков дает более точную и многостороннюю оценку проекту с точки зрения устойчивости по отношению к факторам внешней и внутренней среды предприятия, но при этом необходимо первоначально определить эти значимые факторы, которые в наибольшей степени оказывают влияние на результаты экономической эффективности проекта. Поэтому один из важнейших этапов проведения анализа проектных рисков – это выделение основных факторов, наиболее существенно влияющих на эффективность реализации инвестиционного проекта с точки зрения степени неопределенности и предсказуемых рисков. Для объектов, в том числе новых технологий в электроэнергетике, наиболее важными факторами являются объем инвестиций, тарифы на электроэнер-

нергию и тепло, цены на энергоресурсы доля собственного и заемного капитала, налоги.

Кроме того, могут рассматриваться технические факторы (так называемые внутренние факторы), которые оказывают сильное влияние на результаты оценки эффективности инновационного, величины которых самым непосредственным образом зависят от успешной реализации рассматриваемых энерготехнологий. Они могут быть заданы диапазоном, в котором находятся ожидаемые значения, так как не могут быть оценены точно.

Таким образом, можно делать выводы о степени инвестиционной привлекательности проектов только анализируя полученные результаты в совокупности, так как это позволит учесть максимально возможное число факторов как внешней, так и внутренней среды для поддержки принятия управленческих решений.

И кроме того, необходимость применения их в совокупности в отечественной финансовой практике обусловлена особенностями российского рынка, характеризующегося субъективизмом, зависимостью от внеэкономических факторов и высокой степенью неопределенности инновационных проектов.

2.2. Экологическая оценка технологии безмазутной растопки котельных агрегатов (БМРК)

В рамках проведения расчетов по блоку предотвращенного экономического ущерба от снижения вредных выбросов по предлагаемой схеме оценки эффективности новых энерготехнологий определим величину снижения платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и оценим предотвращенный экономический ущерб, вызванный снижением этих выбросов при сжигании КАУ на ТЭС при условии использования перспективной энергосберегающей технологии. В проводимых расчетах были использованы методики определения предотвращенного ущерба и определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котлов тепловых электростанций.

Расчет снижения платы за выбросы загрязняющих веществ

При переводе котлов на безмазутную растопку резко увеличивается эффективность работы котлов за счет снижения выбросов оксидов серы.

Объясняется это тем, что в настоящее время при растопке котлов используют высокосернистый мазут ($S = 1,3 - 1,4 \%$, по данным Красноярской ТЭЦ-2), в то же время ирша-бородинский уголь имеет $0,2 \%$ серы.

Кроме того (по данным ВТИ) более 50% серы при сжигании Канско-Ачинских углей связывается в потоке дымовых газов летучей золой, имеющей высокое содержание оксидов кальция и магния. Расчет выбросов оксидов серы выполнен в соответствии с РД 34.02.305 98. Суммарное количество оксидов серы M_{SO_2} (т/с, т/год, т/мес. И т.д.), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами, вычислено по формуле:

$$M_{SO_2} = 0,02 * B * S^r * (1 - \eta'_{SO_2})(1 - \eta''_{SO_2})(1 - \eta^c_{SO_2} * \frac{n_0}{n_k})$$

где B - расход топлива на рассматриваемый период, г/с (т/год и т.д.);

S^r - содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

η'_{SO_2} - доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле;

η''_{SO_2} - доля оксидов серы, улавливаемых в мокром золоуловителе с твердыми частицами;

$\eta^c_{SO_2}$ - доля оксидов серы, улавливаемых в сероулавливающей установке;

n_0 и n_k - длительность работы сероулавливающей установки и котла соответственно, ч/год.

На Красноярской ТЭЦ-2 установлены сухие золоуловители, поэтому величина $\eta''_{SO_2} = 0$. Сероулавливающая установка на ТЭЦ-2 отсутствует, в связи с этим $\eta^c_{SO_2} = 0$.

Количество угля, замещающего одну тонну мазута:

$$n_{\text{замещен}} = 2,48 \text{ т/т};$$

Количество серы в замещающем количестве угля:

$$G_{\text{замещен}} = (n_{\text{замещен}} * S_{\text{л}}^p) 100 = (2,48 * 0,2) / 100 = 0,005 \text{ т} = 4,96 \text{ кг};$$

Для оксидов серы, связываемых летучей золой в котле при сжигании ирша-бородинского угля (по данным ПИ СФУ и СибВТИ), составляет $\eta'_{SO_2} = 0,2$.

Полное количество серы в замещающем количестве ирша-бородинского угля:

$$G_{\text{замещен}} = G_{\text{замещен}} (1 - \eta'_{SO_2}) = 4,96 * 0,8 = 3,97 \text{ кг};$$

Содержание серы в мазуте: $S_n^p = 1,57 \%$ (данные Красноярской ТЭЦ-2).

При сжигании одной тонны мазута в топочную камеру котла поступает

$$G_s = (S_s^p / 100) \times 1000 = (1,57/100) \times 1000 = 15,7 \text{ кг/т};$$

Уменьшение количества сжигаемой серы при замещении мазута ирша-бородинским углем

$$G_{ym} = 15,7 - 3,97 = 11,732 \text{ кг/т мазута};$$

Годовой расход мазута – 896 т. (данные Красноярской ТЭЦ-2). При сжигании 1 кг серы образуется 2 кг SO₂.

Годовые выбросы оксидов серы при растопке мазутом составляют

$$G_{SO_2} = 15,7 \times 2 \times 896 / 1000 = 28,13 \text{ т.}$$

Сокращение годовых выбросов оксидов серы при переводе котлов на растопку с муфельными предтопками составит

$$\Delta G_{SO_2 \text{ сокp}} = 11,732 \times 2 \times 896/1000 = 21,024 \text{ т.}$$

Ежегодная экономия в издержках в результате снижения выбросов SO₂ в атмосферу в пределах ПДК и сверх установленных лимитов может составить:

1) $\Pi = 40 \times 1,68 \times 21,024 \times 1,21 = 1709,5 \text{ руб.}$

2) $\Pi = 40 \times 5 \times 1,68 \times 21,024 \times 1,21 = 8547,4 \text{ руб.}$

3) $\Pi = 40 \times 25 \times 1,68 \times 21,024 \times 1,21 = 42737,1 \text{ руб.}$

Для одного котла она составит, соответственно, в три раза меньше.

Таким образом, при растопке котлов, оборудованных муфельными предтопками, происходит снижение выбросов оксидов серы на 74,4 %.

$$G_{SO_2 \text{ сокp}} = (21,024/28,26) \times 100 \% = 74,4 \%.$$

Расчет предотвращенного экологического ущерба при освоении технологии БМРК

Реализация технологии на отдельной электростанции на трех котлах дает предотвращенный ущерб:

$$U_{np}^a = 36,3 \times (21,024) \times 20 \times 1,1 \times 1,65 \times 1,21 = 33,5 \text{ тыс. руб.}$$

Предотвращенный ущерб от реализации технологии на отдельной электростанции на одном котле составит:

$$U_{np}^a = 36,3 \times (21,024/3) \times 20 \times 1,1 \times 1,65 \times 1,21 = 11,2 \text{ тыс. руб.}$$

Удельный предотвращенный ущерб на 1 туг составит 26,88 руб.

Таблица 2.3

Возможный абсолютный предотвращенный экологический ущерб окружающей среде от тиражирования технологии БМРК, млн руб.

Регион	Текущее состояние	2010г.	2020г.
Красноярский край	16,1	16,1	16,1
Дальний Восток	12,6	12,6	12,6
Томская область	1,9	1,9	1,9
Алтайский край	11,8	11,8	11,8
Омская область	2,42	2,42	2,42
Новосибирская область	9,95	9,95	9,95
Урал	18,28	18,28	18,28
Приволжский	24,19	24,19	24,19
Центральный	6,45	6,45	6,45

Данные о возможном абсолютном предотвращенном экологическом ущербе окружающей среде от освоения и тиражирования технологии БМРК по выбранным регионам России представлены в табл. 2.3.

Наибольший предотвращенный ущерб от тиражирования технологии БМРК прогнозируется в Приволжском регионе (24,2 млн руб.), на Урале (18,3 млн руб.) и в Красноярском крае – 16,1 млн руб.

2.3. Определение перспектив тиражирования технологии термической подготовки КАУ на пылеугольных ТЭС России

2.3.1. Формирование исходных параметров для определения масштабов тиражирования технологий

Энергетическая стратегия России учитывает два варианта социально-экономического развития России (умеренный и оптимистический, различающиеся темпами реализации основных реформ, динамикой цен естественных монополий, различной комбинацией внешних и внутренних условий, конъюнктурой на международных энергетических рынках)

[42]. При формировании значений правых частей ограничений и показателей технологических способов производства топлива в Энергетической модели за основу был взят благоприятный вариант социально-экономического развития регионов из Энергетической стратегии России.

Важным фактором оптимизации ТЭБ и экономики в целом станет рост экспорта энергоресурсов в соответствии с динамикой мировых цен и изменением продуктовой структуры поставок. В целях поддержания энергетической и экономической безопасности Россия будет стремиться диверсифицировать направления экспорта энергоресурсов с развитием северного, восточного и южного направлений экспортных потоков российских энергоносителей (прежде всего в страны Азиатско-Тихоокеанского региона, куда к 2020 г. будет направляться до 25-28 % российского экспорта энергоресурсов) и последующим увеличением удельного веса этих направлений в географической структуре экспорта энергоресурсов.

Расчеты проводились по трем временным точкам. Временные точки предполагают использование различных новых энерготехнологий – технологии термической подготовки КАУ (ВЭКА и БМРК) и технологии плазменного воспламенения на пылеугольных ТЭС (СПВ). Технология БМРК распространяется по всей территории России на электростанции и котельные во всех трех временных точках. Технология ВЭКА от первой временной точки к третьей увеличивает географию своего распространения.

Первая соответствует текущему состоянию экономики и энергетики. Технология термической подготовки КАУ – ВЭКА (высокоэффективный экологически чистый котельный агрегат) тиражируется на котлы ТЭС Красноярского края (Красноярская ТЭЦ-2 (2 шт.), Минусинская ТЭЦ) и Иркутской области (Ново-Иркутская (3 шт.), Усть-Илимская (2 шт.), Томская ТЭЦ-3 (2 шт.)).

Вторая соответствует состоянию на краткосрочную перспективу. Она предусматривает существенную корректировку проводимого курса макроэкономической политики в сторону активизации внутреннего производства и потребления продукции, исходит из благоприятных условий, при которых не будет дальнейших негативных изменений внутриэкономической ситуации или других неблагоприятных факторов. Технология ВЭКА распространяется на 10 ТЭС (43 котлах) по Сибирскому региону:

ОАО «Алтайэнерго» – Барнаульская ТЭЦ – 3 (5 шт.),

ОАО «Иркутскэнерго» – Новозиминская ТЭЦ (4 шт.), Ново-Иркутская (4шт.), Усть-Илимская ТЭЦ (5шт.),

ОАО «Омскэнерго»– Омские ТЭЦ – 4 –5 (15шт.),

ОАО «Красноярскэнерго» – Минусинская ТЭЦ (1шт.), Красноярская ТЭЦ-2 (3шт.), а также Красноярская ГРЭС – 2 (4шт.),

ОАО «Хакасэнерго» – Абаканская ТЭЦ (3шт.)

Томская ТЭЦ – 3 (2 шт.).

Третья соответствует состоянию на долгосрочную перспективу (2020 г.) и предусматривает возможность распространения технологии ВЭКА по всем регионам России, в которых используются канско-ачинские угли.

Выполненные расчеты показали, что наибольший интерес представляют следующие сценарии:

1. *Базовый сценарий*. Применяются только традиционные технологии энергетического использования угля с учетом строительства новых и реконструирующихся станций.

2. *Сценарий «БМРК»*. Наравне с традиционными применяется только технология БМРК.

3. *Сценарий «ВЭКА»*. Совместно с традиционными применяется технология термической подготовки КАУ (ВЭКА) на базе котлов Е-500 – как на действующих, так и на реконструирующихся станциях.

4. *Сценарий «БМРК, ВЭКА и СПВ»*. Применяются традиционные и новые технологии энергетического использования угля на действующих, новых и реконструирующихся станциях (БМРК, ВЭКА, СПВ).

2.3.2. Экономические последствия тиражирования технологии термической подготовки КАУ на пылеугольных ТЭС

Проанализируем результаты по базовому сценарию. Из результатов расчетов видно, что они не противоречат выводам Энергетической стратегии России, но уточняют некоторые прогнозы по структуре использования топлива, его территориальному распределению.

Базовый сценарий. Анализ полученных результатов по оптимизационной модели показывает некоторое увеличение уровня энергетического потребления канско-ачинского угля электростанциями России (47,25 – 52,9 млн т.у.т.) по сравнению с прогнозами по Энергетической стратегии России до 2020 года (36 – 38 млн т.у.т.).

Канско-Ачинский бассейн усиливает свое федеральное значение. Из общего объема добычи 60 % используется электростанциями. В перспективе канско-ачинский уголь будет конкурентоспособен не только на сибирских рынках топлива, но и в Европейской части России (Центральном, Приволжском районах) на новых ТЭЦ (6,5 млн т.у.т.), в Центральном

районе на реконструирующихся КЭС (0,9 млн т.т.), а также на Дальнем Востоке на действующих ТЭЦ и КЭС (3,68 и 1,2 млн т.т.) и реконструирующихся ТЭЦ (0,2 млн т.т.). Таким образом, почти до 24 % от общей добычи энергетических углей в бассейне будут направляться за пределы Сибири (прирост на 11 % в сравнении с существующими поставками), направления этих поставок между Европейской частью и Дальним Востоком распределяются примерно 60 и 40 % соответственно.

Рассмотрим, каким образом реализация технологий термической подготовки КАУ (ВЭКА, БМРК) и системы плазменного воспламенения (СПВ) могут повлиять на структуру топливоиспользования.

По **сценарию «БМРК»** при переходе угольных ТЭС на безмазутную растопку котельных агрегатов доля использования канско-ачинских углей значительно увеличивается, вытесняя мазут и уже в первом временном периоде выходит на максимальный объем бурых углей (3,83 млн т.т.), сохраняя его во всех трех временных периодах.

Технология БМРК распространяется на ТЭЦ и КЭС в пропорции 62 и 38 % соответственно. При этом 31 % идет на действующие станции, 40 % – на новые, 28 % – на реконструирующиеся. По регионам БМРК распространяется преимущественно в Европейскую часть России (30 %), Западную Сибирь (24 %), на Урал (18 %), на Дальний Восток (12 %) и в Красноярский край (16 %).

Возможное потребление КАУ при тиражировании БМРК по регионам России и удельная экономия приведенных затрат от использования технологии на 1 т.т. показано на рис. 2.9.

Из рисунка видно, что наиболее выгодно тиражировать технологию БМРК на Алтай, в Красноярский край и в Омскую область.

Сценарий «ВЭКА». Для каждой временной точки предусмотрены предельные возможности тиражирования данной технологии по регионам России. В ближайший период для ТЭС Красноярского края и Иркутской и Томской областей (5 станций, 10 котельных агрегатов) потребление КАУ может составить 0,27 млн т.т., которые будут использоваться на угольных ТЭЦ с распределением по трем регионам: Красноярский край (26 %), Иркутская область (57 %) и Томская область (17 %).

По второй временной точке, когда технология тиражируется на 10 станций (43 котла) Сибири и объем использования КАУ с применением этой технологией составит 1,29 млн т.т., снижается доля Иркутской области (35 %) и Томской области (3,9 %), практически сохраняется доля Красноярского края (25 %), кроме того, идет распространение технологии в Омскую область (27 %) и на Алтай (9,3 %).

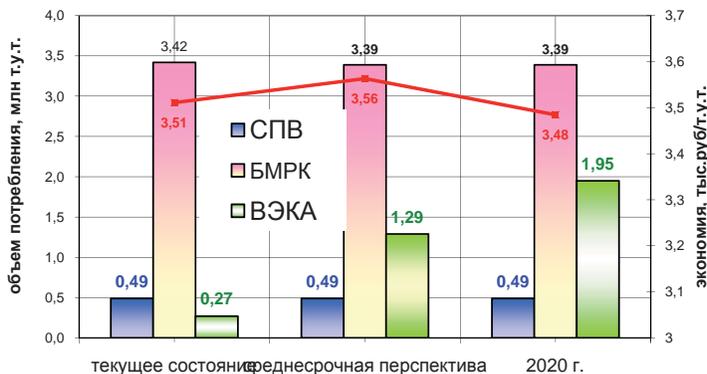


Рис. 2.11. Объемы тиражирования технологий и удельная экономия по трем временным точкам по сценарию «БМРК, ВЭКА и СПВ»

Распределение потребления КАУ по регионам России при использовании технологии ВЭКА и удельная экономия от ее использования на одну тонну условного топлива по трем рассматриваемым периодам представлена на рис. 2.10.

Как видно, наиболее эффективно использование этой технологии в Красноярском крае (экономия 3,8 тыс. руб/т.у.т) и на Алтае (3,1 тыс. руб/т.у.т), наименьшая удельная экономия достигается в Томской области (0,6 тыс. руб/т.у.т).

Сценарий «БМРК, ВЭКА и СПВ». Технология СПВ выбирается по остаточному принципу, пропуская вперед БМРК, которая используется по максимальному объему. Технология ВЭКА по всем временным точкам выбирается соответственно заложенному числу тиражирования и количеству потребления угля (рис. 2.11).

Ранжирование сценариев по величине экономии суммарных приведенных затрат по сравнению с базовым сценарием позволило сформировать следующую их предпочтительность: на первом месте – сценарий «БМРК, ВЭКА и СПВ», затем «БМРК» и «ВЭКА».

По относительной эффективности на 1 т.у.т. используемых канско-ачинских углей предпочтительность сценариев другая – «БМРК, ВЭКА и СПВ», «ВЭКА» и «БМРК» (табл. 2.4).

Таким образом, проведенные расчеты показывают высокую эффективность технологии термической подготовки бурых углей БРМК по сравнению с традиционными энергетическими технологиями на всех

Таблица 2.4

**Удельная экономия и объем использования углей
инновационными энергетическими технологиями**

Сценарии	«БМРК, ВЭКА и СПВ»	«БМРК»	«ВЭКА»
Первая временная точка – текущее состояние			
Удельная экономия приведенных затрат, руб/т.у.т.	3511,2	2858,2	3447,4
Объем использования углей новыми техноло- гиями, млн т.у.т.	4,17	3,83	0,27
Вторая временная точка – краткосрочная перспектива			
Удельная экономия приведенных затрат, руб/т.у.т.	3563,2	2858,2	2863,1
Объем использования углей новыми техноло- гиями, млн т.у.т.	5,17	3,83	1,29
Третья временная точка – долгосрочная перспектива (2020 г.)			
Удельная экономия приведенных затрат, руб/т.у.т.	3484,6	2858,2	3397,2
Объем использования углей новыми техноло- гиями, млн т.у.т.	5,83	3,83	1,95

ТЭС, которые используют или будут использовать канско-ачинские угли. Приоритетными регионами тиражирования технологии являются Красноярский и Алтайский края и Омская область.

2.4. Экономическая оценка целесообразности внедрения системы безмазутной растопки котлов (БМРК)

2.4.1. Финансово-экономическая оценка коммерческой эффективности инвестиционного проекта БМРК

Финансово-экономическая оценка инвестиционного проекта выполнена в соответствии с «Практическими рекомендациями по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов

в электроэнергетике» (которые разработаны в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования», утвержденными Госстроем России, Минэкономки России, Минфином России и Госпромом России и адаптированы к условиям электроэнергетической отрасли).

Оценка проводилась с применением программного продукта, разработанного ведущими специалистами отрасли, РАО «ЕЭС России» и ОАО «Научный центр прикладных исследований (НЦПИ)» и предназначенного для оценки эффективности и разработки инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике.

Для оценки экономической эффективности проекта выбран приростной метод. В таблице 2.5 приведен состав работ и расчетов, предусмотренных Методическими рекомендациями для выполнения инвестиционной оценки проекта, а также отмечены работы и расчеты, включенные в финансово-экономическую оценку проекта БМРК с учетом его особенностей и выбранного метода оценки экономической эффективности.

Оценка изменения издержек производства, капитальных вложений и дополнительных годовых поступлений от реализации проекта

По приростному методу при экономической оценке учитываются только дополнительные капитальные вложения, связанные с внесением изменений в конструкцию котла в соответствии с проектом на один и три (в зависимости от варианта) котла Е-420 на момент монтажа, принятый в расчете с учетом фактических и ожидаемых индексов текущих цен.

Изменения в котле могут быть осуществлены в форме модернизации на месте установки.

В соответствии с расчетной стоимостью единовременные капитальные вложения с учетом НДС на 1 котел составляют по предварительной оценке 3 млн. руб.

При тиражировании рассматриваемой системы безмазутной растопки котлов на другие котлы капитальные вложения снижаются на каждый последующий котел за счет экономии единовременных затрат на проектирование и соответственно могут составить около 1,3 млн руб. на котел.

Это и было предусмотрено в другом варианте (базовый вариант), где система БМР устанавливается в три котла. При этом эффект от внедрения системы предусматривался сразу после ввода первого котла.

В целом реализация проекта должна обеспечивать снижение себестоимости единицы тепловой и электрической энергии и соответствующее увеличение прибыли.

Таблица 2.5

Содержание финансово-экономической оценки проекта БМРК

Вид работ, расчетов	Состав работ и расчетов		Примечание
	По МР	По проекту	
1. Оценка издержек производства	+	+	Оценка изменений производственных издержек
2. Расчет капитальных вложений	+	+	Расчет дополнительных капитальных вложений
3. Расчет годовых поступлений от деятельности предприятия	+	+	Расчет прироста выручки от снижения текущих издержек производства и от снижения платы за выбросы в окружающую среду
4. Проектируемые и рекомендуемые источники финансирования.	+	+	-
5. Условия инвестирования. Выбор конкретного инвестора, оформление соглашения	+	-	-
6. Планирование сроков осуществления проекта	+	+	-
7. Оценка коммерческой эффективности проекта в целом	+	+	-
8. Анализ проектных рисков	+	+	-
9. Формулирование условий прекращения проекта	+	-	-

При проведении расчетов учитывались следующие изменения затрат и налогов, которые произойдут на предприятии в связи с внедрением БМРК на Красноярской ТЭЦ-2:

- снижение затрат на топливо на технологические цели в результате замены мазута углем при растопках;
- возникновение дополнительных амортизационных отчислений при вводе нового оборудования;
- возникновение дополнительных затрат на электроэнергию на собственные нужды (размол угля);
- рост налога на прибыль вследствие сокращения текущих затрат;
- рост налога на имущество вследствие ввода нового оборудования.

Расчет снижения затрат на топливо при замещении мазута углем при растопках котла Е-420-140

1. Теплота сгорания мазута – 9813 ккал/кг (данные Красноярской ТЭЦ-2 за 2009 г.)
2. Теплота сгорания канско-ачинского угля – 3957 ккал/кг (данные Красноярской ТЭЦ-2 за 2009 г.)
3. Для замены одной тонны мазута необходимо следующее количество канско-ачинского угля:

$$G_{к.у.} = 9813/3957 = 2,48 \text{ т.}$$

4. Цена мазута без НДС (данные Красноярской ТЭЦ-2 за 2009 г.):

$$Ц_{м} = 5829,46 \text{ руб/т.н.т.}$$

5. Цена канско-ачинского угля без НДС (по данным Красноярской ТЭЦ-2 за 2009 г.):

$$Ц_{уг} = 458,67 \text{ руб/т.н.т.}$$

6. Снижение затрат на одну тонну замещаемого мазута:

$$\Delta Z = (5829,46 - 2,48 \cdot 458,67) = 4691,96 \text{ руб/т.}$$

7. Годовой расход мазута одного котла Е-420 (данные Красноярской ТЭЦ-2 за 2009 г.)

$$B_{мазута} = 299 \text{ т/год.}$$

8. Годовой расход мазута на растопку трех котлов Е-420 (данные Красноярской ТЭЦ-2):

$$V_{\text{мазута}} = 896 \text{ т/год.}$$

9. Снижение годовых топливных затрат для одного котла Е-420 при максимальном замещении мазута составит

$$\Sigma \Delta Z_{\text{топл}} = \Delta Z \times V_{\text{мазута}} = 4691,96 \times 299 = 1,401 \text{ млн руб/год.}$$

10. Снижение годовых топливных затрат для трех котлов Е-420 при замещении мазута углем на растопку составит

$$\Sigma \Delta Z_{\text{топл}} = \Delta Z \times V_{\text{мазута}} = 4691,96 \times 896 = 4,204 \text{ млн руб/год.}$$

Дополнительный расход электроэнергии на размол угля, замещающего мазут

1. Удельный расход электроэнергии на размол угля – 17,6 кВт·ч/т (данные Красноярской ТЭЦ-2 за 2009 г.)

2. Себестоимость 1 кВт·ч при внедрении БМРК – 40,5 коп/кВт·ч (данные Красноярской ТЭЦ-2 за 2009 г.)

3. Дополнительные затраты на электроэнергию составят:

Для 1-го варианта:

$$\Delta U_{\text{э/г}} = 40,5/100 \times 17,6 \times 299 \times 2,48 \times 10^{-3} = 3,1 \text{ тыс. руб.}$$

Для 2-го варианта:

$$\Delta U_{\text{э/г}} = 40,5/100 \times 17,6 \times 896 \times 2,48 \times 10^{-3} = 4,198 \text{ тыс. руб.}$$

Планирование сроков продолжительности строительства и жизненного цикла проекта

Строительство и монтаж системы БМРК рассматривались при финансово-экономической оценке в зависимости от вариантов:

1-й вариант – на 1 котел – в течение 6 месяцев от начала разработки проекта;

2-й вариант – на 3 котла – в течение 1 года от начала разработки проекта в сроки, предусмотренные нормами продолжительности строительства.

Рассматриваемая продолжительность проекта (жизненный цикл) составляет 10 лет.

Оценка коммерческой эффективности инвестиционного проекта в рамках рассматриваемых вариантов

Для выполнения расчетов финансовой эффективности инвестиций разработаны электронные таблицы для применения приростного метода на основе программного продукта «ENERGY-INVEST», для Windows – Excel, введенного РАО ЕЭС России для расчетов бизнес-планов в энергетике.

При выполнении оценки коммерческой эффективности рассматривались следующие варианты внедрения системы БМР при растопке котлов из холодного состояния:

1-й вариант – внедрение системы БМР на 1 котел при максимальной экономии мазута (полное замещение – 299 т/год);

2-й вариант – внедрение системы БМР на 3 котла Е-420 при замещении мазута углем при растопке (на 896 т/год – данные Красноярской ТЭЦ-2);

Для первого и второго вариантов применялась ставка сравнения в размере 15 %, в которой учтены ставка рефинансирования Центрального банка РФ; поправка на риск проекта в соответствии с целью вложения финансовых средств в инновационный проект [40].

В таблицах 2.6 – 2.7 приведены результаты экономической эффективности проекта за весь период его эксплуатации в рамках рассматриваемых в проекте альтернатив и различных версий сценариев внешней среды.

Таким образом, расчет коммерческой эффективности разных вариантов проекта внедрения БМР показывает, что при внедрении системы на Красноярской ТЭЦ-2 ожидается получение следующих результатов:

1-й вариант – 1 котел при замещении мазута на растопку:

1. «Чистый дисконтированный доход» значительно больше нуля, следовательно, проект эффективный и целесообразно вкладывать деньги

Таблица 2.6

**Показатели коммерческой эффективности инвестиций
в проект внедрения системы БМРК на Красноярской ТЭЦ-2 (1 котел)
(оценка эффективности проекта в целом приростным методом)**

Интегральные показатели по проекту	В текущих ценах
Чистый дисконтированный доход (NPV) за 10 лет при ставке сравнения 15 % годовых без учета остаточной стоимости проекта, млн руб.	2,161
Внутренняя норма доходности (IRR), %	35
Дисконтированный индекс доходности (DPI), доли	1,78
Дисконтированный срок окупаемости (DPP), лет	4,3
Срок окупаемости (PP), лет	3,3
Дисконтированные капитальные вложения, млн руб.	2,8
Дисконтированный доход, млн руб.	5,0

Таблица 2.7

**Показатели коммерческой эффективности инвестиций
в проект внедрения системы БМПК на Красноярской ТЭЦ-2 (3 котла)
(оценка эффективности проекта в целом приростным методом)**

Интегральные показатели по проекту	В текущих ценах
Чистый дисконтированный доход (NPV) за 10 лет при ставке сравнения 15 % годовых без учета остаточной стоимости проекта, млн руб.	8,421
Внутренняя норма доходности (IRR), %	50
Дисконтированный индекс доходности (DPI), доли	2,9
Дисконтированный срок окупаемости (DPP), лет	3,3
Срок окупаемости (PP), лет	2,7
Дисконтированные капитальные вложения, млн руб.	4,4
Дисконтированный доход, млн руб.	12,9

в этот проект, так как при его реализации прибыль предприятия увеличится на 2,167 млн руб.;

2. «Дисконтированный индекс доходности» больше единицы – доказывает высокую устойчивость проекта и нетрудно сделать вывод, что данная система перестает быть привлекательной для инвестора лишь в том случае, если будущие денежные поступления окажутся меньше капитальных вложений в 1,8 раза.

3. Значение «внутренней нормы доходности» свидетельствует о достаточно высоком «резерве безопасности проекта» (20 %), так как она превышает «цену капитала» более чем в три раза.

4. В оцениваемом варианте простой срок окупаемости составляет 3,3 года, а дисконтированный – 4,3 и без учета продолжительности строительства – 2,8 и 3,8 года соответственно.

2-й вариант – 3 котла при замещении мазута на растопку:

1. Положительное значение NPV подтверждает, что проект обеспечивает приемлемый уровень доходности по отношению к желаемому, следовательно, проект эффективный и при его реализации прибыль предприятия увеличится на 8,43 млн руб.;

2. «Дисконтированный индекс доходности» достаточно высокий – на один рубль инвестиций прибыль составляет 1,9 рубля и если будущие денежные поступления окажутся меньше капитальных вложений в 2,9

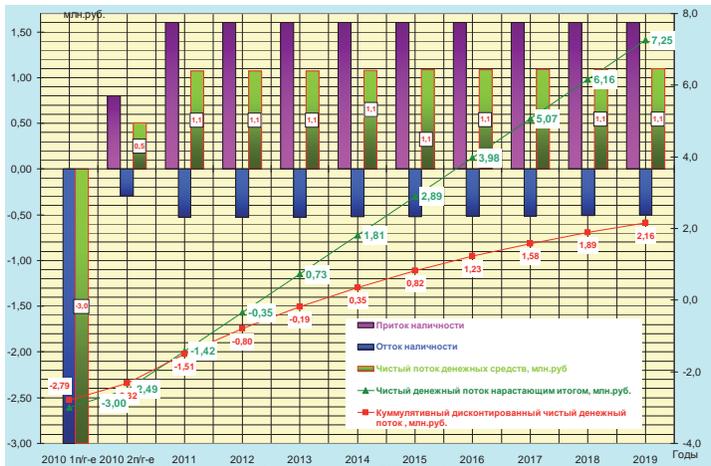


Рис. 2.12. Финансовый профиль проекта БМРК для одного котла при замене мазута на растопку

раза соответственно, то проект перестанет быть инвестиционно привлекательным.

3. «Резерв безопасности проекта» высокий – 35 %.

4. Во втором варианте сроки окупаемости составляют уже 2,7 и 3,3 года, а без учета срока строительства простой и дисконтированный сроки окупаемости составят 1,7 и 2,3 года соответственно.

При сравнении интегральных показателей первого и второго вариантов следует отметить, что значения результатов первого несколько хуже с точки зрения:

- величины «резерва безопасности» по проекту – в первом варианте он ниже на 15 %;
- срока окупаемости – дисконтированный срок окупаемости в первом варианте продолжительнее на 1 год;
- уровня доходов, генерируемых осуществленными инвестиционными затратами, – в первом варианте он существенно ниже на 1,1 руб. на 1 рубль инвестиций.

С точки зрения критерия NPV проект внедрения системы БМР во втором варианте генерирует за 10 лет жизненного цикла проекта намного больший денежный поток (на 6,3 млн руб.), или на 2,2 млн руб. ежегодно.

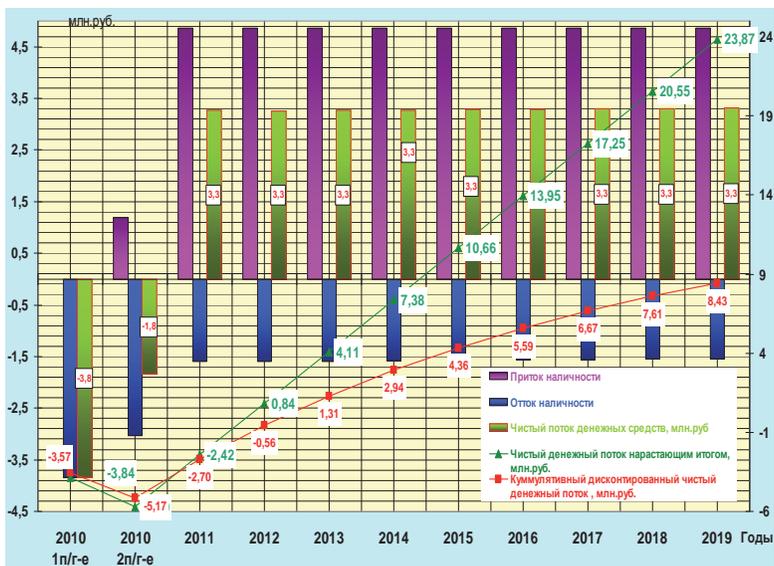


Рис. 2.13. Финансовый профиль проекта БМРК для трех котлов при замене мазута на растопку

Рисунки финансовых профилей проекта внедрения системы БМРК по двум рассматриваемым вариантам наглядно иллюстрируют движение денежных средств по годам, сроки окупаемости и чистую текущую стоимость проекта (NPV) на каждом шаге расчета (рис. 2.12 – 2.13).

2.4.2 Анализ проектных рисков

Вследствие неопределенности исходной информации при расчете коммерческой эффективности проекта проведен анализ его рисков. Анализ проектного риска выполнен в двух аспектах:

- для сравнительной оценки степени влияния отдельных факторов на конечные показатели экономической эффективности проекта методом анализа чувствительности;
- для определения результатов моделирования состояния безубыточности проекта (равенство нулю чистого дисконтированного дохода) при различных сценариях внешней среды.

Анализ чувствительности

Метод анализа чувствительности позволяет определить, как будет изменяться эффективность проекта при перемене значений одного и постоянных значениях остальных параметров.

Экспертным путем были отобраны факторы, влияние которых на интегральные показатели проекта необходимо было выявить. К ним отнесены следующие факторы:

1. Цена на уголь.
2. Цена на мазут.
3. Первоначальные инвестиции (капитальные вложения).
4. Расход мазута на растопки котла.
5. Норма дисконта.
6. Доля заемного капитала

Результаты расчетов, проводимые для второго варианта представлены на рисунках 2.14 – 2.23.

Следует отметить, что при ранжировании исследуемых факторов в порядке убывания по степени влияния на ключевые интегральные показатели по критериям DPP и PP получается практически одна и та же последовательность с той лишь разницей, что норма дисконта не оказывает влияния на критерий PP, что вызвано различием в самой природе этих факторов: один PP является статическим (не учитывает фактора времени), а критерий DPP - динамический критерий, учитывающий фактор времени.

Результаты анализа чувствительности проекта внедрения системы БМРК на три котла приводят к следующим выводам по зависимости критериев эффективности от исследуемых факторов:

Критерий NPV:

1. Цена на мазут.
2. Расход замещаемого мазута (на растопки).
3. Норма дисконта.
4. Первоначальные инвестиции (капитальные вложения).
5. Цена на уголь.
6. Доля заемного капитала.

Критерий IRR:

1. Цена на мазут.
2. Расход замещаемого мазута (на растопки).
3. Первоначальные инвестиции (капитальные вложения).
4. Цена на уголь.
5. Доля заемного капитала.

2.4. Экономическая оценка целесообразности внедрения системы безмазутной растопки...

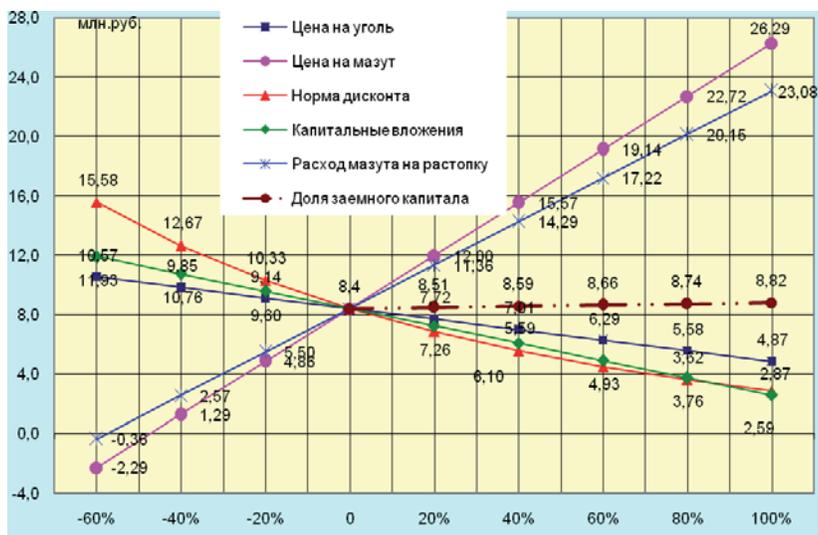


Рис. 2.14. Анализ чувствительности критерия NPV, млн руб.

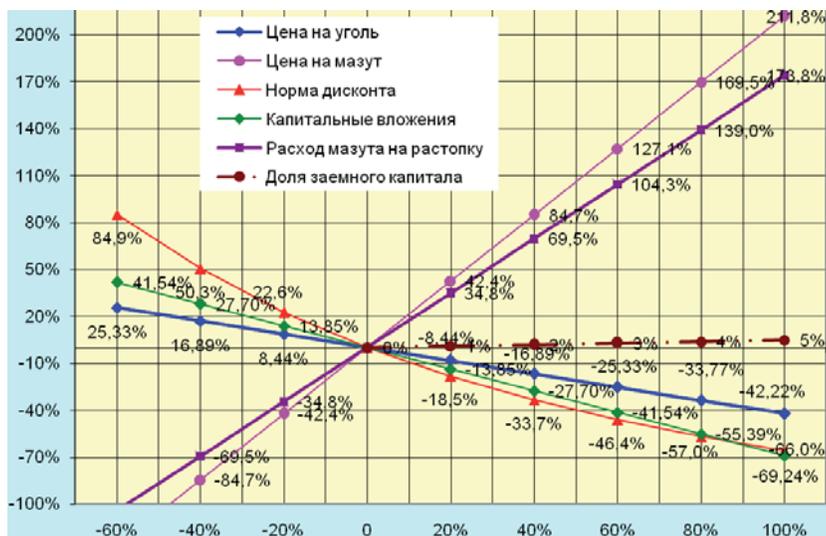


Рис. 2.15. Анализ чувствительности критерия NPV, %

2. Системная оценка эффективности технологии термической подготовки углей кабасса...

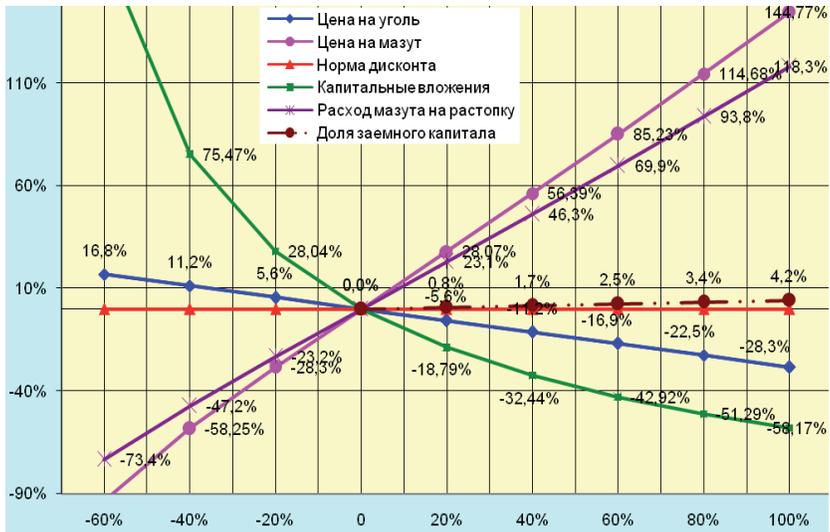


Рис. 2.16. Анализ чувствительности критерия IRR, %

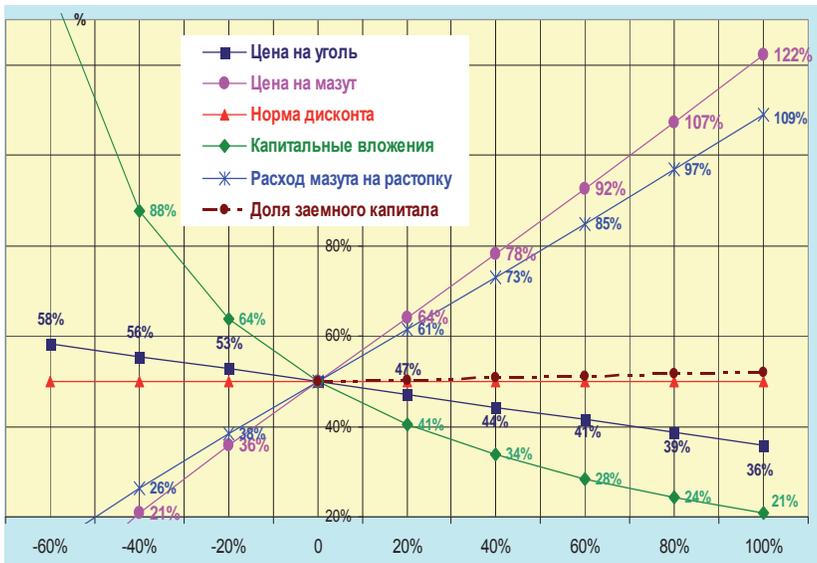


Рис. 2.17. Анализ чувствительности критерия IRR, %

2.4. Экономическая оценка целесообразности внедрения системы безмазутной растопки...



Рис. 2.18. Анализ чувствительности по критерию DPI, %

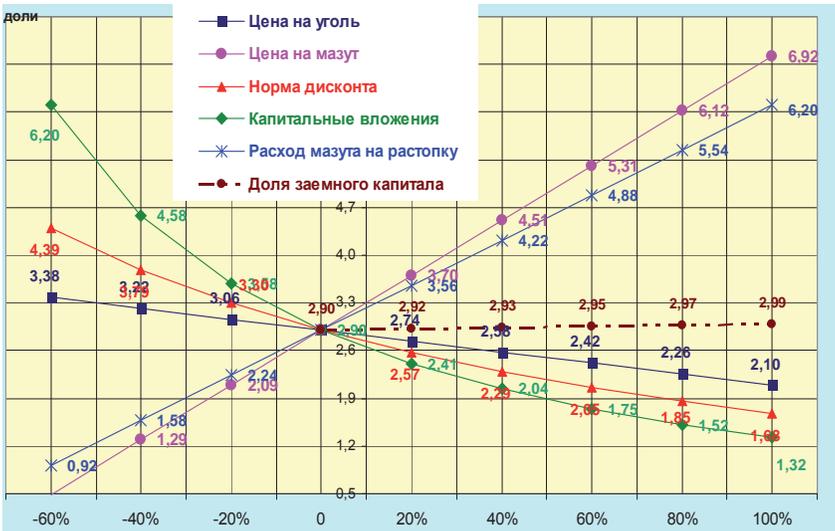


Рис. 2.19. Анализ чувствительности по критерию DPI, доли

2. Системная оценка эффективности технологии термической подготовки углей кабасса...



Рис. 2.20. Анализ чувствительности по критерию PP, %

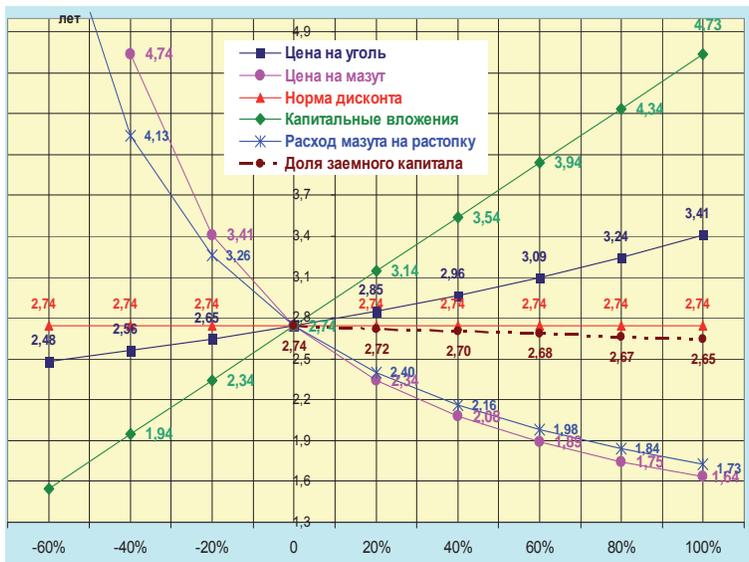


Рис. 2.21. Анализ чувствительности по критерию PP, лет

2.4. Экономическая оценка целесообразности внедрения системы безмазутной растопки...

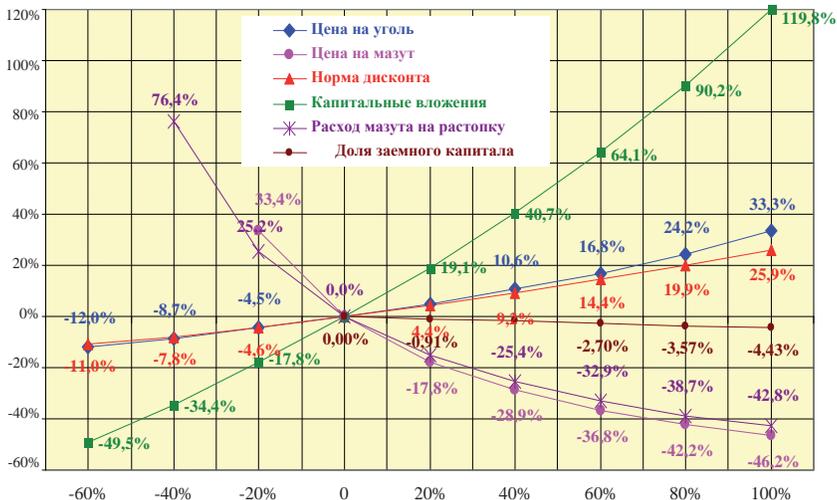


Рис. 2.22. Анализ чувствительности по критерию DPP, %

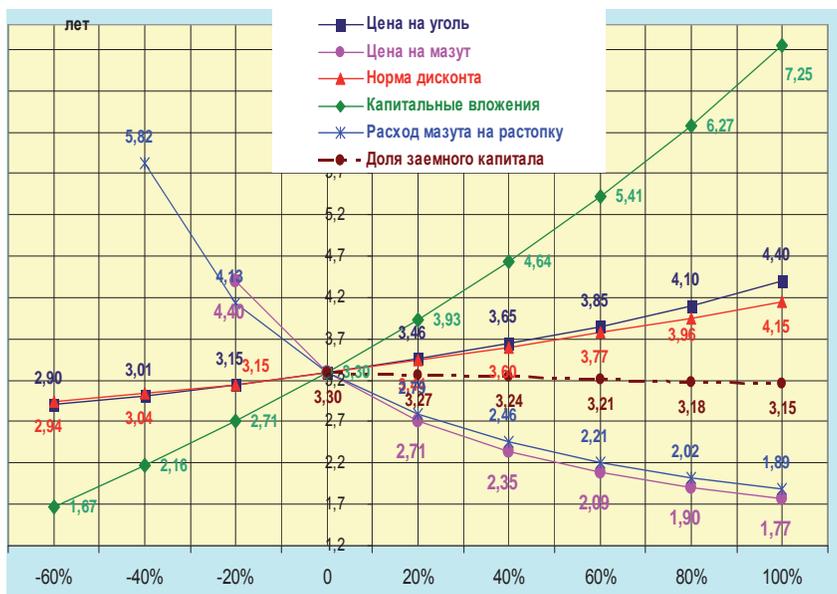


Рис. 2.23. Анализ чувствительности по критерию DPP, лет

6. Норма дисконта.

Критерий DPI:

1. Цена на мазут.
2. Расход замещаемого мазута (на растопки).
3. Первоначальные инвестиции (капитальные вложения).
4. Норма дисконта.
5. Цена на уголь.
6. Доля заемного капитала.

Критерий PP:

1. Первоначальные инвестиции (капитальные вложения).
2. Цена на мазут.
3. Расход замещаемого мазута (на растопки).
4. Цена на уголь.
5. Доля заемного капитала.
6. Норма дисконта.

Критерий DPP:

1. Первоначальные инвестиции (капитальные вложения).
2. Цена на мазут.
3. Расход замещаемого мазута (на растопки).
4. Цена на уголь.
5. Норма дисконта.
6. Доля заемного капитала.

Прокомментируем некоторые полученные результаты проведенного анализа чувствительности по второму варианту. По критерию NPV (рис. 2.14 – 2.15) некоторые факторы оказывают практически одинаковое влияние на NPV.

Самым значимым из исследуемых факторов на критерий NPV оказывается цена на мазут и расход мазута на растопки котла, замещаемого углем. Влияние исследуемых параметров *нормы дисконта* и *капитальных вложений* на результат «чистой текущей стоимости» практически одинаковое и при увеличении факторов до 100 % различается лишь на несколько процентов (в пределах 5 %), при этом норма дисконта оказывает чуть большее влияние, чем капитальные вложения.

Меньше всего на NPV влияет цена на уголь и доля заемного капитала (рис. 2.14 – 2.15).

Норма дисконта не оказывает никакого влияния на PP и IRR.

Результаты анализа чувствительности критериев DPP и PP показывают, что влияние факторов *цены на мазут* и *расхода на растопку* на

Таблица 2.8

**Установление ранга значимости факторов,
влияющих на интегральные показатели по 2-му варианту –
замена мазута только на 3 котлах Е-420 140 (896 т/год)**

Факторы	NPV	IRR	DPI	DPP	PP	Σ	Ранг значимости
1. Цена на мазут	1	1	1	2	2	7	1
Капитальные вложения (инвестиции)	3	3	3	1	1	11	2
3. Цена на уголь	4	5	5	4	4	22	4
4. Норма дисконта	3	4	4	5	6	22	4
5. Расход замещающего мазута (на растопки)	2	2	2	3	3	12	3
6. Доля заемного капитала	5	6	6	6	5	28	5

сроки окупаемости тоже практически одинаковое и различается в пределах 3 – 4 %.

По критерию PP складывается картина, показывающая отсутствие влияния нормы дисконта на критерий, а вот влияние цены угля и капитальных вложений намного ниже, чем на критерий DPP. Так, при увеличении капитальных вложений в два раза по сравнению с базовым вариантом срок окупаемости увеличивается на 73 % или достигает 4,3 лет (2,7 года в базовом варианте), тогда как дисконтированный срок окупаемости увеличивается на 120 % и достигает 7,3 года (2,7 года в базовом варианте) (рис. 2.20 – 2.21).

Для обобщения оценки анализа чувствительности выполнено суммирование рангов факторов по всем критериям. Результаты ранжирования факторов в порядке убывания влияния на интегральные показатели проекта представлены в таблице 2.8.

В предпоследней колонке таблицы 2.8 показано общее количество баллов, просуммированное по всем интегральным показателям. Наименьшее число баллов соответствует фактору, оказывающему наибольшее влияние на изменение экономических результатов проекта. В последней колонке табл. 2.8 каждому фактору присваивается ранг значимости.

В малой степени суммирование рангов факторов по различным критериям приводит к искаженным результатам по некоторым критери-

ям, поэтому более целесообразным представляется выявление наиболее значимых факторов в зависимости от чувствительности одного выбранного критерия (NPV, IRR, DPP, PP, DPI), выбор которого зависит от преследуемых целей инвесторами и участниками проекта.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что тремя самыми значимыми факторами, оказывающими существенное влияние на результаты проекта, являются цена на мазут, капитальные вложения и расход мазута на растопки.

Причем показатели проекта могут существенно измениться даже при незначительном увеличении цены на мазут (это увеличение оказывает положительное влияние на результаты финансово-экономических расчетов), при завышении против расчетной капитальных вложений (этот фактор оказывает естественное отрицательное влияние на интегральные показатели проекта), а также при снижении расхода мазута растопки по сравнению с базовым вариантом (ухудшающий фактор).

Анализ безубыточности

Вследствие того, что к настоящему времени отсутствуют точные прогнозные значения цен на мазут и уголь проведенные расчеты и выбор базового варианта, относительно которого и проводились основные расчеты, в некотором смысле носят условный, предварительный, характер и справедливы в рамках принятых гипотез и аналогов.

Смоделируем изменение наиболее чувствительных параметров проекта (расход мазута на растопки, капитальные вложения, цена на уголь и цена на мазут) в зависимости от нормы дисконтной ставки, принимаемой в расчетах оценки коммерческой эффективности. Значение дисконтной ставки можно ассоциировать со степенью рискованности инвестиционных вложений в осуществление проекта. При высокой степени риска реализации проекта инвестор, как правило, повышает ставку дисконтирования, чтобы гарантировать возврат инвестиций в максимально сжатые сроки.

Кривые изменения основных параметров проекта в зависимости от изменения дисконтной ставки в состоянии безубыточности при различных сценариях внешней среды приводятся для 2-го варианта (3 котла) – рис. 2.24 – 2.25.

Анализ безубыточности в абсолютных единицах измерения приведен на рисунке 2.24. На рисунке 2.25 – в относительных, где показано предельно допустимое изменение фактора (в процентах) от исходного значения для сохранения безубыточности проекта.

2.4. Экономическая оценка целесообразности внедрения системы безмазутной растопки...

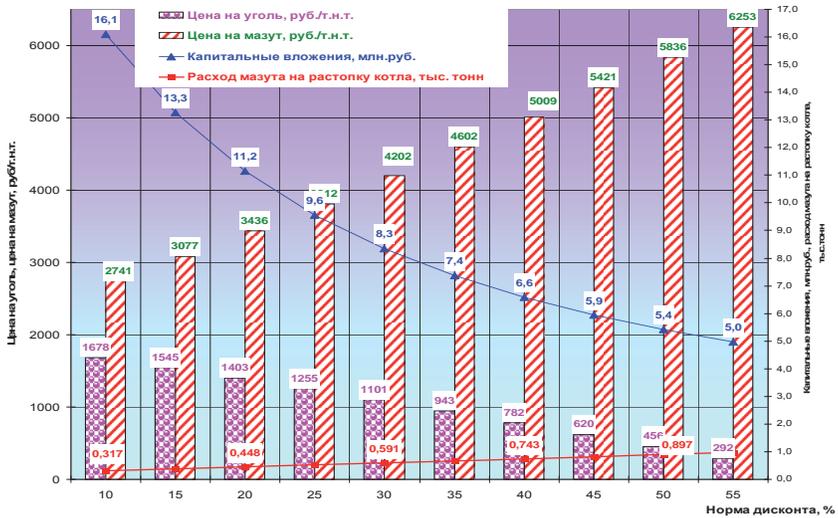


Рис. 2.24. Анализ безубыточности проекта БМРК для трех котлов при экономии мазута на растопки котлоагрегатов

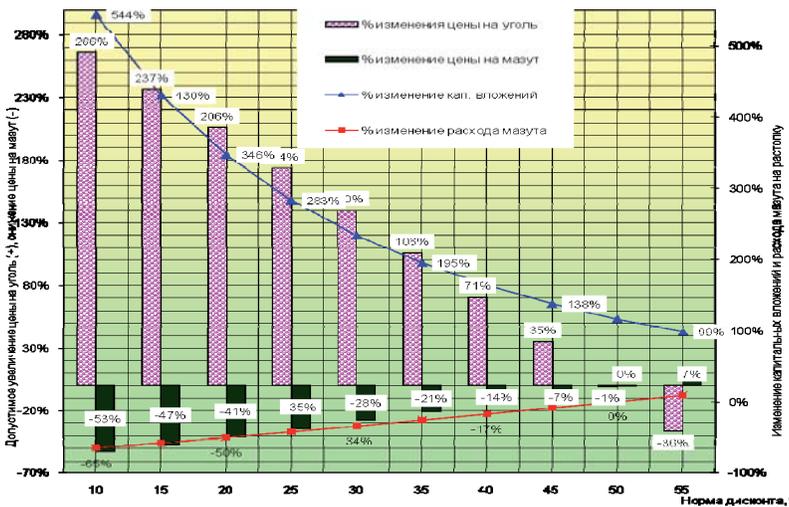


Рис. 2.25. Анализ безубыточности проекта БМРК для трех котлов при экономии мазута на растопки котлоагрегатов, %

Таблица 2.9

Предельное значения факторов, оказывающие существенное влияние на проект по 1-му варианту – один котел Е-420 при годовой экономии мазута на растопки котлов

Факторы, оказывающие существенное влияние на проект	Допустимое значение фактора (точка безубыточности) (NPV=0)	Допустимый процент изменения от базового варианта “+” - увеличение “-” - снижения
Цена на уголь, руб/т.н.т.	1249,1	+ 172,3
Цена на мазут, руб/т.н.т.	3808,6	- 34,7
Капитальные вложения, млн руб.	5,3	+ 76,6
Расход замещаемого мазута, тонн	173,6	- 41,9

Таблица 2.10

Предельное значения факторов, оказывающие существенное влияние на проект по 2-му варианту – 3 котла Е-420

Факторы, оказывающие существенное влияние на проект	Допустимое значение фактора (точка безубыточности) (NPV=0)	Допустимый процент изменения от базового варианта “+” - увеличение “-” - снижения
Цена на уголь, руб/т.н.т.	1545,1	+ 237
Цена на мазут, руб/т.н.т.	3077,44	- 47
Капитальные вложения, млн руб.	13,257	+ 430
Расход замещаемого мазута, т	380,47	- 58

Проведенный анализ позволяет определить предельные значения факторов и их допустимое изменение (увеличение или снижение), а следовательно, и состояние безубыточности проекта при различных значениях факторов внешней и внутренней среды.

Найденные допустимые значения характеризуют достаточно высокий уровень устойчивости проекта к изменениям таких факторов как рост цены на уголь и увеличение капитальных вложений (табл. 2.9 – 2.10).

Для 2-го варианта без риска для проекта факторы могут отклониться от базового значения до следующих величин (табл. 2.10)

Таким образом, будет соблюдаться безубыточность проекта и при меньшей замене мазута углем, чем в заложено в базовом варианте. критическое значение цены на уголь при этом составит 1545 руб/т.н.т., т.е. допустимое повышение цены для сохранения безубыточности проекта возможно на 237 %.

Критическое значение цены на мазут находится ниже базового значения на 47 % (т.е. цена мазута может составлять 3077,44 руб/т.н.т. без ущерба для проекта), а капитальные вложения могут быть увеличены в 4,3 раза также без ущерба для проекта.

2.5. Оценка бюджетной эффективности освоения технологии БМРК

В результате экономической оценки рассчитана бюджетная эффективность проекта, отражающая влияние результатов реализации проекта на доходы и расходы бюджета соответствующего уровня (федерального, регионального и местного). Определены чистый дисконтированный доход бюджета (NPV бюджета).

Для учета фактора времени при определении бюджетного эффекта рассчитывается коэффициент дисконтирования в соответствии с Положением об оценке эффективности инвестиционных проектов при размещении на конкурсной основе централизованных инвестиционных ресурсов Бюджета развития Российской Федерации от 20.05.1998 г.

Находится коэффициент дисконтирования (d_i) без учета риска проекта как отношение ставки рефинансирования (r), установленной Центральным банком Российской Федерации, и объявленного Правительством Российской Федерации на текущий год темпа инфляции (i).

$$1 + d_i = \frac{1 + \frac{r}{100}}{1 + \frac{i}{100}}$$

Коэффициент дисконтирования, учитывающий риски при реализации проектов, определяем по формуле

$$d = d_i + \frac{P}{100}$$

где $P/100$ - поправка на риск [66].

Таблица 2.11

Показатели бюджетной эффективности проекта БМРК

Показатели	Значения показателей	
	Для одного котла	Для трех котлов
NPV бюджетов всех уровней, млн руб.	1,212	3,71
NPV федерального бюджета, млн руб.	0,71	2,132
NPV регионального бюджета, млн руб.	0,4	1,21
NPV местного бюджета, млн руб.	0,11	0,377

Результаты расчета бюджетной эффективности по уровням бюджета представлены в таблице 2.11.

Таким образом, при оценке бюджетной эффективности, учитывая оба варианта и все уровни изъятия, значения чистого дисконтированного дохода являются величинами положительными.

Научные результаты проведенных исследований могут быть сформулированы следующим образом.

1. Системные особенности электроэнергетической отрасли требуют рассмотрения инвестиционного проекта одновременно с двух позиций: общесистемной – как элемента единой системы и индивидуальной – как самостоятельного конкурентоспособного проекта на рынке Единой электроэнергетической системы, а также путем применения комплексного подхода к оценке инвестиционного проекта – всестороннего изучения непосредственных затрат и полученных результатов, его влияние на экономику, природную и социальную среду.

2. Для экономической оценки энергетических объектов может быть использован методический аппарат, разработанный в отечественной экономической науке в рамках так называемого *системного подхода*. В соответствии с ним каждый энергетический объект рассматривается как часть (подсистема) одной или нескольких систем более высокого иерархического уровня, имеет сложные горизонтальные и вертикальные связи и, в свою очередь, состоит из подсистем иерархических уровней. Такое представление о реальной действительности локализует влияние каждого объекта в рамках включающей его энергетической системы, выводя за пределы системы лишь наиболее существенные изменения.

3. Предложенная в работе схема, использующая оптимизационные, производственно-транспортные, имитационные финансово-

экономические и эколого-экономические модели различного типа и назначения и модели прямого счета, является адекватным инструментарием для эколого-экономической оценки общественной, коммерческой и бюджетной эффективности направлений развития энерготехнологий и позволяет оценивать их применение одновременно с двух позиций: локальной – как самостоятельные инвестиционные проекты и общесистемной – как элементы системы топливообеспечения энергетики страны.

4. С помощью модифицированной Энергетической модели России определены объемы добычи КАУ и объемы поставок из КАБасса в районы потребления, рациональные масштабы тиражирования энерготехнологии термической подготовки канско-ачинских углей на действующие, реконструирующиеся и новые ТЭС на перспективу до 2020 г. и выявлены приоритетные регионы внедрения этих технологий.

5. В результате проведенных вариантных расчетов на основе модифицированной модели топливно-энергетического баланса страны показано, что происходит вытеснение мазута на ТЭС технологией БМРК, доля угля в потреблении топлива по этой группе потребителей должна увеличиться и уже в первом периоде выйдет на максимальный объем использования бурых углей (3,83 млн т), сохраняя его во всех трех временных периодах. При этом данная технология распространяется на ТЭЦ и КЭС – 62 и 38 % соответственно. По регионам БМРК распространяется преимущественно в Европейскую часть России, Западную Сибирь, на Урал и в Красноярский край. На Дальнем Востоке дополнительное потребление КАУ технологией БМРК составляет 12 % от общего расхода КАУ. В первую очередь следует тиражировать технологию БМРК на Алтай, в Красноярский край и Омскую область.

6. Оценка коммерческой эффективности различных вариантов инновационных проектов БМРК свидетельствует о высокой инвестиционной привлекательности системы термической подготовки КАУ. Это подтверждается положительными значениями NPV, высокими значениями внутренней нормы доходности, которые могут составлять 35 – 50 % в зависимости от реализации той или иной технологической альтернативы, высокой величиной прибыли (дохода) на единицу инвестиций (1,8–2,9) и достаточно небольшим сроком окупаемости для энергетических проектов (3,3–4,3 года).

7. Проведенная комплексная оценка проектных рисков показывает незначительный риск при реализации проектов.

Анализ чувствительности свидетельствует о слабом влиянии ухудшающих факторов на интегральные показатели проектов. Результаты анализа чувствительности проекта для трех котлов Е-420 при замеще-

нии мазута углем на растопки приводят к следующим выводам по зависимости критериев эффективности от исследованных факторов. Тремя самыми значимыми факторами, оказывающими существенное влияние на результаты проекта, являются цена на мазут, капитальные вложения и годовой расход замещаемого мазута. Причем показатели проекта могут существенно измениться даже при незначительном увеличении цены на мазут (это увеличение оказывает положительное влияние на результаты финансово-экономических расчетов), при завышении против расчетной капитальных вложений (этот фактор оказывает отрицательное влияние на интегральные показатели проекта), а также при снижении экономии мазута при его замене на уголь по сравнению с базовым вариантом (ухудшающий фактор). Наибольшее влияние на проект оказывает цена мазута, используемого на растопки котлов.

На срок окупаемости проектов большое влияние оказывает величина капитальных вложений. Превышение инвестиций в проект, к примеру в два раза (т.е. до 6 и 13 млн руб. соответственно по вариантам) по сравнению с базовым вариантом, сроки окупаемости удлинятся: для одного котла – до 6,1 лет (по PP); 7,3 лет (по DPP), для трех котлов – до 4,3 (по PP); 9,6 лет (по DPP).

На снижение сроков могут положительно повлиять второй и третий по значимости факторы – цена на мазут и расход мазута на растопки.

Результаты анализа безубыточности показывают достаточно высокие пороговые значения факторов. Таким образом, по результатам анализа безубыточности второй вариант (внедрение системы БМРК на три котла) показывает более высокие пороговые значения факторов по сравнению с первым, т.е. более устойчив к рискам.

8. Наибольший предотвращенный экологический ущерб от тиражирования технологии БМРК составит в Приволжском регионе (24,2 млн руб.), на Урале (18,3 млн руб.) и в Красноярском крае – 16,1 млн руб.

9. В условиях опережающего темпа роста цены на мазут по сравнению с темпом роста цены на уголь внедрение предлагаемой высокоэффективной эколого-ресурсосберегающей системы безмазутной растопки котельных агрегатов является еще более актуальной и высокоэффективной задачей для всех энергетических предприятий Красноярского края.

10. Перспективными направлениями развития исследований по этой проблеме могут быть: анализ схем финансирования инвестиционных проектов реализации энерготехнологий, оценка эффективности участия в подобных проектах, организационно-экономические вопросы освоения новых энерготехнологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Энергетическая эффективность использования топливно–энергетических ресурсов – это один из важнейших стратегических ориентиров долгосрочной государственной энергетической политики России. В Энергетической стратегии–2020 придается особое значение решению вопроса энергоресурсосбережения в России.

При этом, суммарный потенциал технологического и организационного энергосбережения по оценкам специалистов, достигает 45 % всего энергопотребления России.

Однако для реализации этого потенциала необходимо осуществить меры по повышению экономической заинтересованности потребителей топлива и энергии в энергосбережении, о чем указано в новой редакции Федерального закона «Об энергосбережении». Кроме того, важнейшим условием реализации имеющегося технологического потенциала энергосбережения является инвестирование в эту сферу деятельности, для чего в указанном законе предусмотрены меры по соответствующему стимулированию инвесторов.

Практической реализацией результатов исследований, проведенных в лаборатории «Термическая подготовка углей» кафедры «Тепловые электрические станции» Политехнического института Сибирского федерального университета, послужила разработка технологических схем и устройств по предварительной термической подготовке канско-ачинских углей в условиях тепловых электростанций.

Из предлагаемых систем термической подготовки наибольшего внимания заслуживают технические решения по безмазутной растопке и подсветке факела топочных камер котлов.

Разработанная эколого-энергосберегающая технология сжигания КАУ с использованием предварительной термической подготовки (газификации) КАУ для организации безмазутной растопки и подсветки факела топочных камер внедрена на котлах БКЗ-420-140-ПТ1 Красноярских ТЭЦ-2, ГРЭС-2 и ПК-40 Томь-Усинской ГРЭС ОАО «Кузбассэнер-

го» энергоблока 200 МВт. Намечено тиражирование этой технологии на других тепловых электростанциях России и за рубежом.

Системные особенности электроэнергетической отрасли требуют рассмотрения инвестиционного проекта одновременно с двух позиций: общесистемной – как элемента единой системы и индивидуальной – как самостоятельного конкурентоспособного проекта на рынке Единой электроэнергетической системы, а также путем применения комплексного подхода к оценке инвестиционного проекта – всестороннего изучения непосредственных затрат и полученных результатов, его влияние на экономику, природную и социальную среду.

Для экономической оценки энергетических объектов может быть использован методический аппарат, разработанный в отечественной экономической науке в рамках так называемого системного подхода. В соответствии с ним каждый энергетический объект рассматривается как часть (подсистема) одной или нескольких систем более высокого иерархического уровня, имеет сложные горизонтальные и вертикальные связи и, в свою очередь, состоит из подсистем иерархических уровней. Такое представление о реальной действительности локализует влияние каждого объекта в рамках включающей его энергетической системы, выводя за пределы системы лишь наиболее существенные изменения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1210001 СССР, МКИ F 23 D 1/00. Пылеугольная горелка /Н. А. Сеулин, Л. Г. Осокин, В. К. Шнайдер и др. (СССР). - № 3635118/24-06; заявл.18.08.83; опубл. 07.02.86, Бюл. № 5.
2. Сеулин Н. А., Иванников В. М., Видин Ю. В. и др. Выбор запальных устройств для безмазутной растопки и стабилизации горения пылеугольных котлов// Энергетические станции – 1994. – № 11. – С. 39–41.
3. Вербовецкий Э. Х., Котлер В.Р. Замена мазута углем при растопке и подсветке факела в пылеугольных котлах// Энергохозяйство за рубежом. – 1984. – № 1. – С. 16–17.
4. Сеулин Н.А., Видин Ю.В. Модернизация муфельных горелок.// Промышленная энергетика. – 1988. – № 10.– С. 71–74.
5. Сеулин Н.А., Иванников В.М., Видин Ю.В. Перевод на безмазутную растопку котла БКЗ-420-140.// Электрические станции. – 1989.– №7.– С. 65–69.
6. Сеулин Н.А. Выбор запальных устройств для безмазутной растопки и стабилизации горения пылеугольных котлов.// Электрические станции. – 1994. – № 11. – С. 39–41.
7. Видин Ю.В. Безмазутная растопка котлов.// Наука производству. – 2000. – № 3. – С. 29.
8. Сеулин Н.А., Иванников Ю.В. Проблемы внедрения безмазутной растопки котлов, сжигающих канско – ачинские угли // Электрические станции / – 2000. – № 6. – С. 51–54.
9. Жуйков А.В., Видин Ю.В. Модернизация безмазутной растопки и подсветки котельных агрегатов на Красноярской ТЭЦ-2// Промышленная энергетика – 2006. – №5. – С. 20–22.
10. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е. Плазменно-энергетические технологии топливоиспользования. – Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1988. – 320 с.
11. Буянтуев С.Л., Елисафенко А.В., Легостаев С.М. Применение плазменных пылеугольных горелок на котле ТПЕ – 185 Улан – Удэнской ТЭЦ // Энергетик. – 2003. – № 3. – С. 13–15.

12. Карпенко Е. И., Мессерле В.Е., Коногоров Н.М. Плазменно – энергетические технологии использования угля для эффективного замещения мазута и природного газа в топливном балансе ТЭС // Теплоэнергетика. – 2004. – № 10. – С. 53–60.

13. Карпенко Е.И., Мессерле В.Е., Чурашев В.Н. Эколого-экономическая эффективность технологий переработки твердых топлив. –Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма РАН, 2000. – 194 с.

14. Плазменная безмазутная растопка пылеугольных котлов и подсветка факела / М. Ф. Жуков, Е. И. Карпенко, В. С. Перегудов и др. – Новосибирск: Наука, 1995. – 304 с.

15. Мессерле, В. Е. Состояние и перспективы освоения плазменных технологий безмазутного воспламенения углей в энергетике / В. Е. Мессерле // Материалы 2-го международного симпозиума по теоретической и прикладной термохимии (15 ТАРС-95). – Иваново: ИГХТА, 1995. – С. 17–21.

16. Карпенко, Е. И. Плазменно-энергетические технологии топливо использования / Е. И. Карпенко, В. Е. Мессерле. – Новосибирск: Наука; Сиб. предприятие РАН, 1998. – 385 с.

17. А. с. № 1732119, РФ МКИ E23 K 1/00. Устройство для воспламенения пылеугольного топлива / В. В. Булгаков, А. Н. Волобцев, Л. И. Пугач и др. Опубл. 20.10.93, Бюл. № 14.

18. Утович, В. А. Исследование плазменного розжига и стабилизации горения пылеугольного факела / В. А. Утович, Н. Л. Новиков, В. С. Перегудов и др. // Теплоэнергетика. – 1990. – № 4. – С. 20–23.

19. Карпенко, Е. И. Введение в плазменно-энергетические технологии использования твердых топлив / Е. И. Карпенко, В. Е. Мессерле. – Новосибирск: Наука, 1997. – 118 с.

20. Эффективность пылеугольных ТЭЦ с новыми эколого-обеспечивающими технологиями / В. Е. Томилов, П. А. Щинников, Е. В. Ноздренко и др. – Новосибирск: Наука; Сиб. изд. фирма РАН, 1999. – 97 с.

21. Грачев С. П. Технология SONOX для снижения выбросов оксида серы и азота на тепловых электростанциях // Энергохозяйство за рубежом. – 1992. – № 2. – С. 11–15.

21. Берг Б.В., Батхишиг А., Микула В.А. Растопка пылеугольных котлов с пониженным расходом мазута: Материалы всесоюзной конференции // Сборник трудов 3-й научно-практ. Конф. Т. 2. – Благовещенск, 2003. – С. 284–290.

22. Родатис К.Ф., Ромм Э.И., Семенов Н.А. и др. Котельные установки. Т. 2. – М.-Л: Госэнергоиздат, 1946. – 471 с.

23. Дубровский В.А. Повышение эффективности энергетического использования углей Канско-Ачинского бассейна: монография. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 184 с.
24. Пат. 2294484 Российская Федерация, МПК F 23 C 5/08. Топка / В. А. Дубровский, М. В. Зубова, Ю. В. Видин и др.; заявитель и патентообладатель КГТУ, опубл. 27.02. 07, Бюл. № 6.
25. Пат. 2310125 Российская федерация, МПК F 23 C 5/08. Топка / В. А. Дубровский, М. В. Зубова, Г. М. Анохин и др.; заявитель и патентообладатель КГТУ, опубл. 10.11. 07, Бюл. № 31.
26. Пат. 2313034 Российская федерация, МПК F23C 5/08. Топка / В. А. Дубровский, Ж. Л. Евтихов, Г. М. Анохин и др.; заявитель и патентообладатель КГТУ, опубл. 20.12.07, Бюл. №35. – 5 с.: ил.
27. Пат. 2317485 Российская федерация, МПК F 23 C 5/08. Топка / В. А. Дубровский, Ж. Л. Евтихов, Г. М. Анохин и др.; заявитель и патентообладатель СФУ, опубл. 20.02.08, Бюл. №5. – 5 с.: ил.
28. Пат. 95072. Российская федерация, МПК F23 K 3/16. Горелочное устройство /В.А.Дубровский., Р.М. Христинич., С.А Михайленко и др.; заявитель и патентообладатель СФУ. Оpubл. 10.06. 10. Бюл. №16.
29. Замена мазута пылью бурого угля при растопке котлов ТЭС Нидерауссом // Теплоэнергетика за рубежом. – Экспресс-информация. – 1985. – Вып. 16. – С. 12–17.
30. Системные исследования в энергетике в новых социально-экономических условиях. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1995.– 188 с.
31. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике / Л.А. Мелентьев. – М.: Наука. – 1983. – 456 с.
32. Моделирование взаимодействия многоотраслевых комплексов в системе народного хозяйства. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1992. – 192 с.
33. Региональные энергетические программы: методические основы и опыт разработки. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1995. – 245 с.
34. Воропай Н.И. Проблемы обоснования развития электроэнергетики Дальнего Востока в новых условиях / Н.И. Воропай, В.М. Малич, А.Ю. Огнев., А.М. Тришечкин // Изв. вузов РАН. Энергетика и транспорт. – 1994. –№ 2. – С. 8–16.
35. Основные положения программы развития энергетики Дальнего Востока. – Иркутск; Хабаровск, 1994. – 35 с.
36. Актуальные проблемы развития топливно-энергетического комплекса Сибири. – Новосибирск: ИЭиОПП, 1991. – 164 с.

37. Чурашев, В.Н., Ноздренко, Г.В., Чернова, Г.В. Технико-экономическая целесообразность применения плазменных процессов в энергетике // Технико-экономические оценки плазменных процессов переработки углей и углеводородов. — Иркутск: СЭИ СО РАН, 1989. — С. 11–21.

38. Hurwicz L. Optimality Criteria for Decision Making under Ignorance // Cowles commission papers/ No 370, 1951.

39. Комплексная методика по оценке эффективности общественного производства и отдельных хозяйственных мероприятий. М.: ГКНТ СССР, АН СССР, 1983.

40. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: / авт. кол: Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. — М.: ОАО «НПО «Изд-во «Экономика», 1999. — 290 с.

41. Практические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике (с типовыми примерами). — М., 2000. — 290 с.

42. Энергетическая стратегия России на период до 2020 года. Распоряжение Правительства России от 28.08. 2003 № 1234-Р, 2003. — 118с.

Научное издание

Дубровский Виталий Алексеевич
Зубова Марина Витальевна

**Энергосберегающие системы растопки
и подсветки факела
растопочных камер котлов**

Редактор Е.Г. Иванова

Компьютерная верстка И.В. Гревцовой

Подписано в печать . . . 2012. Формат 60x84/16.

Бумага тип. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 11,7. Тираж экз. Заказ .

Выходные данные издательства и типографии