

ТОО «Алтайэнергоналадка»

ТОО «Степногорская ТЭЦ»

Технико-технологический раздел

к проекту: Система транспорта пыли высокой концентрации
(ПВК) с реконструкцией горелочных устройств котлоагрегатов
БКЗ-160-100

ТОО «Степногорская ТЭЦ»

Директор
ТОО «Алтайэнергоналадка»

Технический директор
ТОО «Алтайэнергоналадка»



В. Колесников

Е. Колесников

г. Усть-Каменогорск

АННОТАЦИЯ

В связи с возросшим производством и выбросами в атмосферу, резко увеличилось загрязнение окружающей среды. Этот аспект заставил ужесточить требования по максимально допустимым выбросам предъявляемым со стороны Министерства экологии и биоресурсов Республики Казахстан, что послужило толчком к созданию новых, более совершенных методик по снижению выбросов в атмосферу от ТЭЦ.

Целью данного проекта является разработка системы подачи пыли высокой концентрации с целью снижения выбросов окислов азота от котлоагрегатов ТЭЦ, выбор конкретного метода и предложения к его применению.

В процессе выполнения работы был произведен обзор специальной и методической литературы, рассматривались различные методы снижения выбросов окислов азота в мировой практике, рассматривался опыт внедрения различных технологий на отдельных промышленных предприятиях.

В результате анализ имеющихся данных была выбрана и рекомендована методика подачи пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд) для котлов БКЗ-160-100, установленных на Степногорской ТЭЦ, ТОО «Степногорская ТЭЦ». Снижение окислов азота в результате применения этого метода составит 20-25%. В проект включены также вопросы монтажа и условий эксплуатации системы ПВКд: рассмотрены основные мероприятия, проводимые при эксплуатации и ремонте, правила пожарной безопасности, обязательные правила промышленной санитарии и техники безопасности при обслуживании оборудования.

ВВЕДЕНИЕ

Централизованное теплоснабжение с комбинированной выработкой теплоты и электроэнергии привлекло развитые западные страны одним неоспоримым преимуществом, отвечающим их современному менталитету, - большим потенциалом энергосбережения (только топлива экономится до 30%) и, следовательно, возможностью существенного снижения вредного воздействия теплоэнергетики на окружающую среду.

Энергетика является основным движущим фактором развития отраслей промышленности, транспорта, коммунального и сельского хозяйства. Доминирующим источником получения тепловой и электрической энергии пока остаётся органическое топливо – уголь, нефть, газ.

Быстрый рост потребления энергии сопровождается увеличением вредных выбросов, загрязняющих окружающую среду. Тепловые электростанции и котельные, потребляя огромное количество твердого топлива, выбрасывают в атмосферу продукты сгорания, содержащие золу, оксиды серы и азота, а также оксиды углерода и группу органических соединений.

При сооружении новых и расширении действующих ТЭС основной проблемой становится обеспечение установленных санитарными органами предельно-допустимых концентраций газообразных примесей, в первую очередь оксид азота в атмосферном воздухе. После введения ГОСТ 17.2.3.02-78 (правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями) проблема ограничения выбросов азота приобретает большую остроту и для эксплуатационного персонала ТЭС, обязанного соблюдать нормы предельно допустимых или временно согласованных выбросов по оксидам азота. Учитывая важность этой проблемы, резко увеличен объем исследований, связанных с разработкой способов снижения образования оксидов азота в котлах или с очисткой от них дымовых газов.

Оксиды азота классифицируют в зависимости от степени окисления азота. В проблеме охраны атмосферного воздуха практическое значение имеют оксид и диоксид азота, сумму которых обозначают NO_x .

Оксид азота NO – малоактивный в химическом отношении бесцветный газ, без запаха и плохо растворимый в воде.

Диоксид азота NO_2 более активен, он красно-бурого цвета и с резким запахом.

В результате бурного развития промышленности и транспорта антропогенный выброс оксидов азота увеличивается год от года, удваиваясь каждые 20-25 лет.

При сгорании органического топлива в котлах ТЭС образуется главным образом оксид азота NO . Это было установлено при анализе дымовых газов за котлами. Другие исследования, в которых осуществлялось отдельное измерение оксидов и диоксидов азота, свидетельствуют о том, что в продуктах сгорания котельных установок доля диоксида азота NO_2 составляет обычно 2-5% суммарного содержания оксидов азота NO_x . Однако в шлейфе дымовых газов происходит доокисление NO до NO_2 . Процесс этот имеет немаловажное значение, так как токсичность диоксида азота в несколько раз выше токсичности NO .

Мероприятия по сокращению выбросов оксида азота требуют усложнения конструкции горелок или топочного устройства, а в некоторых случаях- установки дополнительного оборудования.

Технические удельные нормативы эмиссии в атмосферу твердых частиц

Таблица №1

Тепловая мощность котлов Q, МВт (паропроизводительность котла D, т/ч)	Приведенное содержание золы А, % при кг/МДж	Массовые выброс твердых частиц на единицу тепловой энергии, г/МДж	Массовые выброс твердых частиц, кг/т.у.т	Массовая концентрация частиц в дымовых газах при альфа=1,4, мг/м ³
До 229 (до 420)	0,6-2,5	0,06-0,10	1,76-2,93	150-500

Технические удельные нормативы эмиссии в атмосферу оксидов серы

Таблица №2

Тепловая мощность котлов Q, МВт (паропроизводительность котла D, т/ч)	Приведенное содержание серы S, % при кг/МДж	Массовые выброс SO _x на единицу тепловой энергии, г/МДж	Массовые выброс SO _x , кг/т.у.т	Массовая концентрация SO _x в дымовых газах при альфа=1,4, мг/м ³
До 199 (до 320)	0,045 и менее	0,5	14,7	1200

Технические удельные нормативы эмиссии в атмосферу оксидов азота

Таблица №3

Тепловая мощность котлов Q, МВт (паропроизводительность котла D, т/ч)	Массовые выброс NO _x на единицу тепловой энергии, г/МДж	Массовые выброс NO _x , кг/т.у.т	Массовая концентрация NO _x в дымовых газах при альфа=1,4, мг/м ³
До 199 (до 320)	0,5	14,7	1200
До 229 (до 420)	0,17	4,98	470

Виды загрязнений и методы их устранения.

Одним из основных источников загрязнения атмосферы вредными (газообразными и твердыми) выбросами и их трансграничного переноса на большие расстояния являются электростанции, работающие на твердом топливе. К числу основных вредных выбросов в атмосферу относятся оксиды азота (NO_x), серы (SO_x), летучие органические составляющие (ЛОС), окись углерода (CO) и твердые частицы.

В состав органической массы твердого топлива входят углерод, водород, азот и сера. Структура азотосодержащих соединений твердого топлива может быть названа только предположительно, т.к. все сведения получаются только путем анализа продуктов разложения материнских азотосодержащих соединений. Азотосодержащие соединения в углях состоят на 35% из производных мочевины, аминокислот и пептидов, на 23% - из аминов в виде длинных цепочек, на 10% - из карбозольных структур, разлагающихся с выделением азота. При термическом разложении угля вместе с другими летучими выходят смолистые основания (пиридины, хинолины и др. гетероциклические компоненты), аммиак и свободный азот, что составляет половину топливного азота.

Под снижением выбросов NO_x в атмосферу понимается суммарное ограничение выбросов оксида азота (NO) и диоксида азота (NO_2), выраженных в виде NO_2 . Для определения наилучших из экономически оправданных технологий, которые могли бы лечь в основу национальных норм выбросов и мер по борьбе с загрязнением окружающей среды, предлагаются различные способы модификации схемы сжигания угольной пыли, в том числе, горелки, обеспечивающие низкий выход NO_x . Выбор мер борьбы с загрязнением в каждом конкретном случае зависит от ряда факторов, в том числе от соответствующих законодательных и нормативных требований, структуры источников первичной энергии, промышленной инфраструктуры и экономических условий страны, а в случае стационарных источников - и от

условий работы конкретного предприятия. В некоторых эпизодах применение методов сокращения выбросов NO_x может привести также к сокращению выбросов CO_2 , SO_2 и других загрязняющих веществ в атмосферу.

Процесс образования NO_x идет одновременно с процессом восстановления его в N_2 . При этом скорость реакции восстановления зависит от наличия продуктов неполного горения в факеле, таких как CO и H_2 . В связи с этим, наиболее эффективным способом подавления топливных NO_x является стадийная подача воздуха, т.е. организация процесса горения на начальном участке факела с коэффициентом избытка воздуха в горелках меньше стехиометрического. В этом случае воздух, необходимый для полного сгорания топлива, подается в топку соплами так называемого «третичного» дутья. Подача третичного дутья выше основных горелок несколько усложняет проблему. По мере уменьшения избытка воздуха в зоне расположения горелок увеличивается вероятность шлакования топки и тенденция интенсификации коррозии экранов. Увеличиваются при этом также потери тепла от механического недожога. Последнее можно компенсировать утончением пыли и увеличением избытка воздуха в топке, что, естественно, приведет к некоторому увеличению потерь тепла с уходящими газами. В связи с этим необходимо максимально использовать возможности горелочных устройств с целью уменьшения перечисленных негативных последствий для выбранной схемы сжигания, а также изменить способ подачи третичного дутья.

В факеле вихревых или плоско-факельных горелок скорость прогрева топлива и выхода летучих, а также их воспламенения и стабилизация горения зависят от теплосодержания (энтальпии) высокотемпературных топочных газов, рециркулирующих в его приосевой области. Теплосодержание последних зависит от аэродинамической структуры факела, условий формирования зоны осевых обратных токов, её размеров (продольных и поперечных), уровня скоростей и температуры, расходов газов в ней и др. Эти характеристики факела, в свою очередь, зависят от конструкции горелочного устройства. При ступенчатом сжигании топлива горелочное устройство

должно обеспечивать устойчивое (без подсветки факела мазутом) горение и повышенную полноту выгорания топлива на горизонтальном участке факела. Применяемая, при этом, схема сжигания должна обеспечить догорание продуктов неполного горения в объеме топки. При этом схема сжигания должна способствовать исключению появления восстановительной среды вблизи экранов с тем, чтобы исключить вероятность высокотемпературной коррозии и их шлакования. Выбросы NO_x в атмосферу при сжигании углей можно уменьшить двумя методами: путем изменения технологии сжигания или очисткой дымовых газов на «хвосте» котла. Очистка дымовых газов после сжигания – дорогостоящее мероприятие, осуществляющееся с помощью селективного каталитического восстановления (СКВ) или селективного некаталитического восстановления (СНКВ). Стоимость применяемого при этом оборудования сопоставима со стоимостью самого котла. Технологические методы подавления NO_x являются малозатратными мероприятиями, позволяющими снизить уровень выбросов NO_x от 1000...1200 до 300...400 мг/нм³ при содержании кислорода $\text{O}_2 = 6\%$. Технология сжигания с низким выходом NO_x должна обеспечивать условия для снижения скорости реакции окисления азота топлива и повышения скорости реакции восстановления образовавшихся NO_x в N_2 . Эти условия в достаточной степени могут обеспечить так называемый метод ступенчатого сжигания. Есть еще метод «нестехиометрического» сжигания. Этот метод возможен в том случае, когда количество ярусов горелок не меньше двух. Фирма «Бабкок-Вилкокс» (Б-В) на котлах, оборудованных так называемой «сдвоенной горелкой», организовала ступенчатое сжигание. Сдвоенная горелка представляет собой две вихревые горелки, расположенные в блоке касательно одна к другой. Опыт заключался в том, что в нижнюю горелку подавалась аэрозоль (смесь угольной пыли с воздухом) с частью вторичного воздуха, а в верхнюю горелку подавался только вторичный воздух. Таким образом, верхняя горелка использовалась, как сопло третичного дутья (OFA). Уровень NO_x был снижен на 50 %.

При этом с целью повышения экономичности и экологичности их работы необходимо повысить газоплотность топок котлов и плотность газового тракта, оптимизировать схему сжигания и конструкцию горелочных устройств. При этом в Казахстане имеются собственные разработки, не уступающие западным, особенно в области сжигания многозольных углей. Эти мероприятия существенно повысят эффективность топочного процесса, снизят его вредное воздействие на человека и окружающую среду. Следует еще раз повторить, что мероприятия, направленные на повышение экологичности топочного процесса, предлагаемые в данной работе, повышают и его экономичность. При этом, эти мероприятия малозатратные и позволят снизить выход NO_x до 300...400 мг/нм³. Если в дальнейшем встанет вопрос о более глубоком (до нуля) снижении выхода NO_x , то затраты на очистку дымовых газов с 300...400 мг/нм³ будут существенно ниже, чем с 1000...1200 мг/нм³. Технологические методы являются менее затратными и обладают более высокой эффективностью. Наиболее распространенными из них являются:

- ступенчатое сжигание топлива;
- рециркуляция дымовых газов;
- впрыск пара и воды в корень факела;
- сжигание угля в кипящем слое;
- подача угольной пыли высокой концентрации в топку котла.

Существующие в мировой и отечественной практике методы снижения окислов азота.

В мировой практике применяются химические и технологические методы снижения выбросов оксида азота в атмосферу. Очистка газов от окислов азота химическими методами требует значительных капитальных затрат и ведет к увеличению эксплуатационных расходов предприятия теплоэнергетики на 15-20%. Технологические методы менее затратны и обладают достаточно высокой эффективностью. Одним из таких методов является подача угольной пыли высокой концентрации в топку котла (ПВК).

При сжигании твердого топлива образование окислов азота в топочной камере тем больше, чем больше избыток воздуха и температура в ядре факела. Подача пыли высокой концентрации в топку котла ведет к снижению величины этих параметров.

Образование окислов азота при этом уменьшается на 20-25%.

Пыль высокой концентрации подается в горелку котла в транспортирующем агенте. В качестве агента применяется пар или сжатый воздух. Такой способ подачи угольной пыли позволяет уменьшить температуру в факеле ее горения до 1500° С.

При реализации способа подачи ПВК происходит одновременное распыление, прогрев и воспламенение топлива при более высоких, по сравнению с типовыми схемами концентрации.

В результате применения ПВК коэффициент избытка первичного воздуха снижается с 1,1-1,2 до 0,5-0,8 долей от теоретически необходимого количества.

В проекте описаны два варианта системы подачи ПВК: под давлением и под разрежением. Проектом решается система подачи пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд).

Транспортирующим агентом в системе ПВКд является воздух. Принципиальная схема ПВКд заключается в следующем:

Пыль из бункера поступает в вертикальный пылепровод, наполняя его до определенного уровня и образуя пылевой столб. При подаче сжатого воздуха в смеситель столб пыли создает в нем давление, под действие которого пыль транспортируется к горелке. Таким образом, система ПВК транспортирует в каждый данный момент столько пыли, сколько поступает ее из питателя.

Система ПВКд включает воздуходувки, воздухопроводы, пылепитатели котла, вертикальные пылепроводы, смесители пыли.

В проекте приведены аналоги внедрения проектируемой системы на Томь- Усинской ГРЭС и УКТЭЦ.

После перевода котлов Томь-Усинской ГРЭС на подачу ПВК концентрация окислов азота в дымовых газах снизилась на 20-30%.

На Усть-Каменогорской ТЭЦ ПВКд смонтирована на 3-х котлах ЦКТИ-75-39Ф, на 4-х котлоагрегатах БКЗ 320-140 (ст.№ 11-14), на котле ТПЕ 430-А была применена система подачи пыли высокой концентрации под разрежением, разработанная ЦКТИ (Центральный котлотурбинный институт имен Ползунова). Испытания, выполненные на котлах ЦКТИ 75-39 Ф, БКЗ-320-140 и на котле ТПЕ 430-А показали, что содержание окислов азота в дымовых газах снизилось в среднем с 600 до 500 мг/н.м³(на 20-30%).

Методы подавления окислов азота в топках котлов.

Из анализа влияния основных факторов на образование окислов азота вытекают методы их подавления в топочной камере.

- Подача пыли высокой концентрации, описание метода приведена выше.

- Рециркуляция дымовых газов в топочную камеру. Для организации рециркуляции дымовые газы обычно после водяного экономайзера при температуре 300-400⁰С отбираются специальным рециркуляционным дымососом и подаются в топочную камеру. При этом большое значение имеет способ ввода газов в топочную камеру: через щели под горелками,

через кольцевой канал вокруг горелок и подмешивание газов в дутьевой воздух перед горелками.

Как следует самым эффективным является последний способ, при котором в наибольшей степени происходит снижение температуры в ядре факела. Как следует, подмешивая до 20-25% дымовых газов, удастся снизить содержание окислов азота на 40-50%.

Рециркуляция газа наряду с уменьшением температуры горения приводит к некоторому снижению концентрации кислорода, уменьшению скорости горения и растягиванию зоны горения и вследствие этого более эффективному охлаждению этой зоны топочными экранами.

Следует иметь в виду что организация рециркуляции связаны с некоторыми дополнительными осложнениями. Транспортировка запыленных газов повышенной температуры требует установки специальных дымоходов рециркуляции и связана с затратой дополнительной энергии на собственные нужды. Рециркуляция дымовых газов повышает сопротивление газового тракта и может вызвать некоторое ухудшение условий горения.

Рециркуляция дымовых газов оказывает влияние на широкое применение именно для этих целей. Путем некоторой переделки можно использовать рециркуляцию, установленную для регулирования перегрева, имеющееся на ряде котлов, для целей снижения образования окислов азота в топочной камере.

Двух стадийное сжигание топлива- наиболее радикальный способ снижения образования окислов азота. По этому методу в первичную зону горения подается воздух меньше, чем это теоретически необходимо для сжигания топлива($\alpha_1=0,8-0,95$).

В первичной зоне происходит неполное горение топлива с частичной его газификацией при понижении температуре и, следовательно, сниженном содержании окислов азота.

Во вторичную зону подаётся чистый воздух или обедненная топливом смесь для дожигания продуктов неполного сжигания, Теплоотвод в первичной зоне горения снижает температуру газов настолько, что заключительная стадия процесса горения происходит при более низкой температуре.

Наиболее полно этот процесс происходит, когда основные горелки работают при избытке воздуха менее 1, а недостающий воздух вводится через фурмы воздушного дутья, расположенные над ними. Может использоваться и промежуточный вариант, когда нижние ярусы горелок работают с недостатком воздуха ($\alpha_1 < 1$), а верхний ярус со значительным избытком ($\alpha_2 > 1$).

Опыты на газомазутных котлах ТГМ-96 показали, что прекращение подачи топлива в третий по высоте ярус горелок приводит к снижению генерации окислов азота при сжигании мазута снижение α_1 в горелках нижнего яруса менее 1 привело к уменьшению генерации окислов азота примерно на 25%. На других котлах на мазуте получено снижение генерации окислов азота за счет двухстадийного сжигания на 35%.

Получившие широкое распространение турбулентные (вихревые) горелки с интенсивной закруткой воздушного потока повышают концентрацию окислов азота в продуктах сгорания в связи с более высокой интенсивностью выгорания и близким расположением от горелки ядра пламени.

Исследования, проведенные на горелке, показали, что увеличение подачи части воздуха по внутренней трубе без закрутки в количестве 40% общего позволяет снизить образование окислов азота на 40% по сравнению с подачей всего воздуха закрученным в межтрубное пространство.

При выдвижении в сторону топki внутренней трубы первичный воздух не принимает участия в начальной стадии горения и получается двухстадийное горение топлива.

Одним из типов горелочно-топочных устройств, в которых осуществляется двухстадийное сжигание топлива, является предкамерная горелка. Горелка имеет трубу-камеру, состоящую из отдельных обечаек, между которыми оставлены щели для прохода воздуха. В горелку газ подводится по коллектору и подаётся в камеру горения через коническую насадку. Мазутная форсунка расположена внутри газового коллектора. Через щели между обечайками камеры подается 60% необходимого для горения воздуха. Дожигание продуктов газификации CO, H₂ производится в топочной камере. Температура стенок трубы-камеры лежит в пределах 400-700°C.

На котле паропроизводительностью 270 т/ч концентрация окислов азота находилась на уровне 0,20-0,30г/м³ вместо 0,30-0,49г/м³ на таких же котлах, оборудованных вихревыми горелками.

Подача воды и пара в зону горения приводит к некоторому снижению образования окислов азота. В настоящее время ещё нету достаточно апробированных материалов о количественной стороне этого влияния применительно к котлам, хотя в газотурбинных установках получен некоторый положительный эффект. Ввод воды или водяного пара в количестве 5-10% всего количества воздуха несколько снижает температурный уровень в топке, как это имеет место и при вводе рециркулирующего газа.

Ввод воды или пара может несколько ухудшать процесс горения топлива в топочной камере.

Могут использоваться и некоторые другие методы снижения генерации окислов азота. К ним относятся уменьшение избытка воздуха в топке, снижение температуры подогрева воздуха.

При снижении до $\alpha=1,03\div 1,07$ происходят уменьшение концентрации кислорода и соответствующее уменьшение C_{NO}. Это мероприятие возможно в ограниченных пределах и в основном для природного газа и мазута, поскольку снижение избытка воздуха на твердом топливе приводит к

увеличению механического недожога. Условиями работы с низким избытком воздуха являются точная дозировка топлива и воздуха в каждую горелку, высокая плотность топочной камеры (в частности, в котлах под наддувом).

Снижение теплового напряжения в топочной камере приводит к уменьшению температурного уровня в топке, но связано с увеличением габаритов и стоимости котла.

Увеличение степени экранирования топочной камеры приводит, как и предыдущее мероприятие, к снижению температуры в топке. Снижение температуры подогрева воздуха возможно в ограниченных пределах, так как при этом может ухудшаться процесс горения и осложняться процесс глубокого охлаждения уходящих газов, необходимого для повышения к. п. д. котлов.

Перечисленные способы при комплексном их использовании могут существенно снизить образование окислов азота. При производстве новых котлов необходимо, чтобы основные мероприятия по снижению генерации окислов азота были заложены в их конструкцию. Вместе с тем следует отметить, что реализация перечисленных мероприятий возможна не во всех случаях.

Наиболее полно перечисленные способы снижения NO_2 могут быть применены к котлам на природном газе, где они позволяют снизить концентрацию окислов азота в несколько раз. Определенные результаты могут быть получены в котлах, сжигающих мазут. Применение перечисленных мероприятий для твердых топлив связано с рядом ограничений. Так, снижение избытка воздуха и температуры в топке может привести к неполному выгоранию частиц топлива.

Цель проекта.

Целью данного проекта является разработка системы ПВКд применимой для котлоагрегатов БКЗ-160-100 ст. № 2,3,4 Степногорской ТЭЦ ТОО «Степногорская ТЭЦ».

В процессе выполнения работы был произведен обзор специальной и методической литературы, рассматривались различные методы снижения выбросов окислов азота в мировой практике, рассматривался опыт внедрения различных технологий на отдельных промышленных предприятиях.

В результате анализа имеющихся данных была выбрана и рекомендована методика подачи пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд) для котлов БКЗ-160-100, установленных на Степногорской ТЭЦ. Снижение окислов азота в результате применения этого метода составит 20-25%. В данный проект включены также вопросы монтажа и условий эксплуатации системы ПВКд: рассмотрены основные мероприятия, проводимые при эксплуатации и ремонте обязательные.

В разделе «Экологичность проекта» освещены вопросы мероприятий по технике безопасности, оценка внедрения мероприятий по снижению воздействия Степногорской ТЭЦ на окружающую среду.

Для достижения нормативно-допустимых выбросов рационально использовать следующие мероприятия на котлоагрегаты БКЗ-160-100 ст.№ 2,3,4 - ПВКд с применением ступенчатого подвода воздуха и впрыском пара.

Согласно техническому регламенту требованиям к эмиссиям в окружающую среду при сжигании различных видов топлива в котлах тепловых электрических станций, фактический выброс концентраций NO^x в дымовых газах при $\alpha = 1,4$ мг/м^3 на Степногорской ТЭЦ составляет 855 мг/м^3 . По техническому регламенту должно составлять 470 мг/м^3 .

После реконструкций, при среднем снижений концентраций NO^x до 45 % массовая концентрация NO^x составит 470,25 мг/м^3 . При этих факторах

штрафы на загрязнение атмосферного воздуха не последуют или будут минимальными.

Однако химические и физические свойства золы, шлака Экибастузского угля и его низкие реакционные способности могут усложнить эксплуатацию, снизить надежность оборудования, режим горения топлива в топке котлов.

Цель и назначение разработки на проектирование системы транспорта пыли высокой концентрации (ПВК) для котлов БКЗ-160-100-ст.№2,3,4.

В связи с требованием Экологического Кодекса РК, Технического регламента «Требования к эмиссиям в окружающую среду при сжигании различных видов топлива в котлах тепловых электрических станций», утвержденного Правительством Республики Казахстан, требуется проведение технического мероприятия с целью снижения концентрации оксидов азота в дымовых газах. Наиболее доступным и действенным в этом плане является замена системы подачи угольной пыли в горелки первичным воздухом (отработанным сушильным агентом) на транспорт пыли высокой концентрации (ПВК).

Описание котельных установок подлежащих реконструкции при проектировании системы транспорта пыли высокой концентрации (ПВК) и их вспомогательного оборудования:

Котельные установки.

1. Котельный агрегат Таганрогского завода типа БКЗ-160-100 вертикально-водотрубный, с естественной циркуляцией, крупно-блочной конструкции, предназначен для сжигания каменных углей (в пылевидном состоянии) с сухим шлакоудалением. Компановка котлоагрегата выполнена по «П» - образной схеме. Параметры котла следующие:

Производительность	160т/ч
Давление перегретого пара	100ата
Температура перегретого пара	540°C
Температура питательной воды	215°C

Топка является первым восходящим газоходом. В верхнем горизонтальном газоходе расположены конвективные поверхности

пароперегревателя. Во втором (нисходящем) газоходе расположен экономайзер и воздухоподогреватель в рассечку. Котел оборудован двумя замкнутыми индивидуальными системами пылеприготовления с промежуточным бункером пыли и шаровыми барабанными мельницами ШБМ-267/470 (Ш-16) и мельничными вентиляторами ВМ-17. Топка оборудована 8 угловыми прямоточными горелками в 2 яруса. В горизонтальной плоскости горелки направлены тангенциально, по касательной к условной окружности в центре топки Ø1200мм. Пыль из пылевого бункера в пылепровода подается лопастными пылепитателями типа УЛПП-1 производительностью 1,5-5,2 т/ч и транспортируется в топку отработавшим сушильным агентом (мельничным воздухом).

Техническая характеристика существующей системы транспорта пыли:

1 Максимальное количество аэросмеси после мельничного вентилятора

57000м³/ч

2 Температура аэросмеси, пыли

105°С

3 Тонина помола пыли

R₉₀=15%

R₂₀₀=1,7%

4 Давление в коробе мельничного вентилятора

БКЗ-160-100

200-260кг/м²

Техническая характеристика тягодутьевых машин:

1. На котлах БКЗ-160-100 установлены:

дымосос 0,55-40° КЭН (2шт.) Q=170000 м³/ч, H= 316 мм вод. ст.

дутьевой вентилятор 0,7-160° КЭН (2шт.) Q= 110000 м³/ч, H= 260 мм вод. ст.

мельничный вентилятор ВМ-17 (2шт.) Q= 58000 м³/ч, H= 920 мм вод. ст.

Характеристика топлива:

Экибастузский каменный уголь

Влага рабочая	4 - 9%
Зольность рабочего топлива	38 - 43%
Теплотворная способность	3800 - 4300 ккал/кг
Сера рабочая	0,4 – 1,0%

Технические требования к разработке проекта системы транспорта пыли высокой концентрации (ПВК):

- 1 Сохранение основных рабочих параметров котла – производительность, давление и температура перегретого пара.
- 2 Минимальный объем реконструктивных работ с сохранением существующего расположения основных горелок.
- 3 Выбор количества и место ввода сбросного воздуха в топку (по согласованию с ТЭЦ);
- 4 Разводку экранных труб для сбросного воздуха (при необходимости);
- 5 Выполнение рабочих чертежей в соответствии с требованиями НТД.
- 6 Концентрация оксидов азота при $\alpha = 1.4$ – не более 450 мг/нм³
- 7 Концентрация оксида углерода при $\alpha = 1.4$ – не более 50 мг/нм³
- 8 КПД брутто на уровне не ниже существующих до реконструкции

Состав разработки при проектировании системы транспорта пыли высокой концентрации (ПВК):

1. Провести аэродинамический расчет системы транспорта пыли высокой концентрации.
2. Провести тепловой и аэродинамический расчет котла
3. Разработать рабочие чертежи реконструкции системы транспорта пыли, включая малотоксичную горелку с минимальной реконструкцией существующей горелки.
4. Разработать схему пылепроводов, трубопроводов сжатого воздуха от турбовоздуходувки, сброса отработанного сушильного агента в топку, необходимые контрольно-измерительные приборы, запорно-регулирующую арматуру.
5. Разработать пояснительную записку проекта и инструкцию по эксплуатации системы ПВК.
6. Для внесения поправок в проект АСУ ТП указать изменения, связанные с контролем необходимых параметров, необходимыми блокировками и технологическими защитами.
7. Разработка схем защит и блокировок системы ПВК и котлов.

ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В технико-технологической части описываются мероприятия которые могут повлиять на сокращение выбросов количества NO_x для ТОО «Степногорская ТЭЦ». На Степногорской ТЭЦ установлено шесть паровых котлов, три котлоагрегата БКЗ-160-100Ф ст. № 2-4, и три котлоагрегата БКЗ-220-100-4 ст. № 5-7, пять водогрейных котлов КВТМ-100-150 ст. № 1-5, турбогенераторами ПТ-25-90/10 ст. № 1-4 и ПТ-60-90/13 ст. № 5

В данном разделе рассматриваются следующие методы по сокращению количества NO_x в дымовых газах:

Ступенчатое сжигание

Внедрение ПВК

Паровое дутье

Перевод на сжигание в кипящем слое

В разделе были использованы имеющиеся разработки по снижению выбросов оксидов азота в атмосферу и их анализ. Данные мероприятия указаны в перечне наилучших доступных технологий Приказа Министра энергетики Республики Казахстан от 28 ноября 2014года №155. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 29 января 2015года № 10166 и НТД ООС.

В процессе выполнения работы установлено, что содержание окислов азота в отходящих от котлоагрегатов газов зависит от конструкции топки, интенсивности, длины и температуры факела, качества топлива (содержания в нем азота, теплотворной способности), избыточной подачи воздуха на процесс горения, времени нахождения газообразных продуктов сгорания в зоне высоких температур и местных температурных пиков.

Наиболее интенсивное образование окислов азота в процессе горения происходит в зоне высоких температур (от 1600 до 1900 °С) в результате окисления азота, содержащегося в топливе и воздухе (рис.1).

Образование окислов азота из топлива, в основном, происходит при сжигании газов, а из воздуха — при использовании твердого топлива. Нефтепродукты занимают среднее положение.

Азот воздуха реагирует с кислородом с образованием термических оксидов азота :



На выходе из дымовой трубы содержание монооксида азота составляет 85-89% от общего количества его оксидов.

Доокисление 50% NO до NO_2 , в период стабильных атмосферных условий, происходит в течение от 45 минут до нескольких часов. При

нестабильных атмосферных условиях – от 12 до 70 мин. Переход NO в NO₂ осуществляется по реакциям:

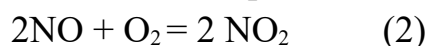


Рисунок 1 Зависимость концентрации образующегося оксида азота от температуры в зоне горения

Конечное преобразование монооксида азота в более токсичный диоксид (среднесуточная ПДК для оксида азота равна 0,06, а диоксида – 0,04 мг/м³) приводит к усилению отрицательного воздействия продуктов сгорания на природу и живые организмы.

Находясь в атмосфере 4-10 суток, диоксид азота соединяется с влагой и выпадает на землю в виде кислоты.

При сжигании твердого топлива образование NO_x в топочной камере зависит от избытка воздуха и температуры. Снизить избыток воздуха и температуру в ядре факела можно ступенчатым сжиганием топлива, применением специальных горелок, впрыском в топку влаги, подачей в котел высококонцентрированной пыли и другими мерами.

Ступенчатое сжигание топлива

На первой ступени в специальные горелки котла подается топливо и вторичный воздух с таким расчетом, чтобы был недостаток кислорода. Затем недостающий воздух направляется в сопло над горелками. Указанное позволяет снизить температуру в ядре факела, и, следовательно, уменьшить образование оксидов азота примерно на 15-30%.

При ступенчатом сжигании топлива горелки в топке котла размещают в несколько ярусов (обычно три-четыре яруса).

Например, при двухступенчатом сжигании нижний ряд горелок получает недостаточное для стехиометрического горения количество воздуха, а верхние ряды горелок, наоборот, получают избыточное его количество. Наилучший эффект дает трехступенчатое сжигание, прежде всего, на котлах с топками с жидким шлакоудалением, и особенно сжигание высокосернистых топлив при обеспечении минимальной газовой коррозии экранных труб.

Усовершенствованный метод двухступенчатого сжигания топлива.

Для снижения выбросов оксида азота на пылеугольных котлах уже многие годы используется метод двухступенчатого сжигания топлива (OFA). Сущность метода OFA состоит в подаче части воздуха, необходимого для полного сгорания, в прямоточную зону факела, где кислород воздуха, поступивший вместе с топливом через горелки, в значительной степени уже израсходованы. Благодаря этому процесс сгорания летучих проходит в атмосфере, обедненной кислородом, и азотосодержащие компоненты летучих (цианиды и амины) переходят главным образом не в NO , а в безвредный молекулярный азот N_2 .

Чем больше продолжается процесс горения при недостатке окислителя (т.е. чем позже в продукты сгорания будет подан дополнительный третичный воздух), тем меньше содержание NO_x за котлом. Однако если говорить о действующих котлах, слишком высокое расположение сопл третичного воздуха неминуемо сокращает время дожигания CO и других продуктов неполного сгорания, образующихся в первой зоне горения. Эмпирические зависимости показывают, что увеличение расстояния от основных горелок до сопл третичного воздуха приводит к росту потерь.

Для преодоления этого препятствия был предложен метод усиленного двухступенчатого сжигания (BOFA). От традиционного двухступенчатого сжигания топлива этот метод отличается наличием

дополнительного (бустерного) дутьевого вентилятора, который создает высоконапорные струи третичного воздуха. Интенсивное перемешивание этих струй с продуктами сгорания позволяет дожечь СО и другие продукты неполного сгорания до выхода дымовых газов из топки даже в тех случаях, когда сопла третичного воздуха располагаются в верхней части топочной камеры.

Впервые метод BOFA был опробован на энергоблоке мощностью 600 МВт ТЭЦ Longannet в Великобритании. В 1997 и 1998 гг. один из ее четырех котлов был реконструирован для внедрения метода трехступенчатого сжигания (по схеме gas reburn, когда для создания восстановительной зоны используется природный газ, а в основных горелках сжигается уголь). Котел паропроизводительностью 2 000 т/ч с параметрами свежего пара 16,9 МПа, 568⁰С был оборудован топкой с 32 вихревыми горелками, расположенными на фронтальной стенке в четыре яруса по высоте. Выше располагались газовые инжекторы. Третичный воздух в верхнюю часть топки подавался бустерным вентилятором.

Испытания, проведенные после реконструкции котла, показали, что подача через газовые инжекторы 15...20% газа (по теплу) снижает коэффициент избытка воздуха в восстановительной зоне до $\alpha_v = 0,925$, в результате чего концентрация NO_x за котлом уменьшается до 350 мг/м³ (в пересчете на NO₂ в сухой пробе дымовых газов при 0⁰С, 101,3 кПа и 6% O₂). При этом содержание СО в уходящих дымовых газах остается незначительным (менее 50 мг/м³), а количество горючих в уносе несколько возрастает (до 5...6%). При дальнейшем уменьшении избытка воздуха в восстановительной зоне (до $\alpha_v = 0,88$) концентрация NO_x за котлом снижается до 330 мг/м³, а содержание СО достигает 100 мг/м³, а количество горючих в уносе при этом увеличивается до 7%.

В опытах с увеличением α_v до 0,95 концентрация NO_x составляла 390...400 мг/м³, но количество горючих в уносе не превышало 5% и содержание СО оставалось близким к нулю. Такой режим устраивал заказчика в отношении соблюдения экологических норм, но высокая стоимость природного газа по сравнению с импортным углем вызвала необходимость изучения режимов двухступенчатого сжигания без использования природного газа. Восстановительная зона в этих опытах создавалась в средней части топочной камеры благодаря работе основных горелок с недостатком воздуха. Оказалось, что без газа, при подаче в верхнюю часть топки только третичного воздуха (фактически метод BOFA), удалось получить достаточно низкую концентрацию NO_x (до 450 мг/м³). Правда, горючие в уносе при этом составляли уже 8...9 %. По мере снижения $\alpha_v = \alpha_{tr}$ до 0,84 удалось даже

уменьшить концентрацию NO_x до 350...400 мг/м³., но содержание горючих в уносе при этом повышалось до 10%, а концентрация CO – до 100 мг/м³.

Следующий опыт использования метода BOFA был получен при реконструкции энергоблока № 9 на ТЭС Kingston в США, топливом для которой служит восточный битуминозный уголь с высоким выходом летучих. Энергоблок мощностью 200МВт оборудован котлом с тангенциальной топкой, разделенной на две части двусветным экраном. На первом этапе было решено внедрить схему BOFA, а для дальнейшего снижения выбросов NO_x смонтировать еще и схему NO_x Star (селективное некаталитическое восстановление с присадкой в зону реагирования кроме аммиака необходимого количества природного газа).

По данным MBEL, использование комплексного технического решения позволило снизить выбросы NO_x на 68%, причем применение только BOFA уменьшило эмиссию NO_x на 40, а только NO_x Star – на 53%. В результате при сжигании битуминозных углей восточных месторождений на энергоблоке № 9 ТЭС Kingston удалось снизить концентрацию NO_x в дымовых газах за котлом до 190 мг/м³.

Еще один котел был переведен специалистами MBEL на технологию BOFA в Португалии, на ТЭС Sines. Здесь установлено четыре энергоблока мощностью по 314 МВт. Каждый котел паропроизводительностью 950т/ч потребляет 106 т/ч импортного каменного угля с высшей теплотой сгорания 27,6 МДж/ кг (6 590 ккал/кг). Параметры пара – 16,2 МПа, 535/535 °С. Каждый котел имеет пять среднеходных мельниц валкового типа с динамическим сепаратором. На фронтальной стене размещаются 20 вихревых горелок в пяти ярусах по высоте. Угольная пыль от каждой мельницы подается на четыре горелки в одном ярусе. В конце 90-х годов была проведена первая реконструкция котлов для снижения выбросов NO_x : 15...20% воздуха стали подавать через четыре сопла, установленные над каждым рядом горелок (по вертикали). Еще около 5% воздуха подавалось через щели между трубами по всему периметру холодной воронки. Однако в итоге не удалось достичь нормы, предписанной Европейским союзом: в соответствии с 2008 EU LCPD эмиссия NO_x на таких котлах не должна превышать 500 мг/м³. В связи с этим владелец электростанции- компания EDP (Португалия) – объявила международный тендер. Победитель тендера (MBEL) обязался снизить концентрацию NO_x до 480 мг/м³. (6% O_2) при сохранении эксплуатационных характеристик, содержание горючих в уносе не более 5,5% и концентрации CO в дымовых газах не выше 200 ppm (250 мг/м³).

До реконструкции котла по схеме BOFA на нем были проведены испытания для оценки эффективности ранее внедренной двухступенчатой

схемы сжигания. При нормальной нагрузке энергоблока с отключенной схемой OFA концентрация NO_x составила 780 мг/м^3 , а горючих в уносе – 4,5%. При умеренной подаче третичного воздуха концентрация NO_x снижалась до 640 мг/м^3 , но содержание горючих в уносе повышалось до 7,5%. При максимально возможной подаче третичного воздуха (определяется давлением в коробке вторичного воздуха) удалось снизить концентрацию NO_x до 480 мг/м^3 , но содержание горючих в уносе, в зависимости от состава угольной смеси, составляло 7...12%. Последнее обстоятельство не устраивало руководство ТЭС, т.к. не только снижало экономичность котла, но и препятствовало получению доходов от продажи уловленной золы.

При проведении реконструкции по схеме, предложенной MBEL, горелки и мельницы остались без изменения, но для монтажа сопл третичного воздуха по новой схеме потребовалось выполнить разводку экранных труб. Это было сделано во время планового останова котла, а бустерный вентилятор присоединили позже – во время останова энергоблока на субботу и воскресенье. В ноябре-декабре 2004 г. специалисты MBEL провели наладку реконструируемого котла, во время которой было определено оптимальное соотношение между потоками третичного воздуха, поступающего в топку через внутренний и периферийный каналы новых воздушных сопел. Затем были проведены гарантийные испытания. При 100% нагрузке энергоблока схема BOFA обеспечивает заданные параметры в любом режиме работы котла (т.е. при включении все пяти ярусов, так же при отключении верхнего или нижнего ярусов горелок в случае вывода мельницы в ремонт). Оптимальный режим (при работе всех пяти мельниц) обеспечивает концентрацию NO_x на уровне 466 мг/м^3 . (6% O_2) и содержание горючих в уносе – 5,45%. Следовательно, 30%-ное снижение выбросов NO_x было получено при допустимом содержании горючих в уносе. номинальная паропроизводительность, давление, температура первичного и вторичного пара остались без изменения, а котел мог работать при любом сочетании включенных горелок.

Суть трехступенчатого сжигания.

Небольшой недостаток для полного сжигания топлива, благодаря чему в этой части топки создается зона с восстановительной средой, в которой продукты неполного горения (CO , H_2 , C_nH_m) восстанавливают уже образовавшиеся окислы азота NO до N_2 . Уменьшение выбросов оксидов азота при ступенчатом сжигании топлива в среднем составляет: при сжигании угля — до 40 %.

I — Зона горения в ядре факела (70—85 % топлива) мазута — до 35 %, при сжигании природного газа — до 45 %. Использование ступенчатого сжигания топлива в топке котла приводит к снижению технико-экономических показателей котла.

Уменьшение выбросов NO_x при использовании данного метода может быть доведено: при сжигании угля до 25 %; при сжигании мазута до 30 %; при сжигании природного газа до 33 %. Эффективность впрыска воды в топку существенно уменьшается, если котел работает с рециркуляцией газов или в режиме ступенчатого сжигания топлива. Показывают, что для теплоэнергетики одной из технологий, направленных на защиту атмосферного воздуха и водного бассейна от выбросов различных ингредиентов (NO_x , CO , сажи, многоядерных углеводородов, нефтепродуктов и других вредных веществ), является сжигание мазута в виде водомазутной эмульсии (ВМЭ), а также природного газа с применением впрыска в топку сбросных вод.

Более глубокого подавления NO_x можно достичь в том случае, если в качестве добавочной влаги вместе со сточными водами использовать растворы азотсодержащих веществ при соответствующей организации процесса сжигания топлива. Для достижения нормы выбросов NO_x при сжигании топлив в топках котлов, как правило, применяют комбинации первичных методов.

В качестве примера могут быть использованы данные полученные по результатам проведенной реконструкции котлоагрегатов БКЗ-420 ст.№ 3,4,5 АО «Астана-Энергия».

Режимно-наладочные испытания котлоагрегата проводились после проведения реконструкции горелочных устройств и установки третичного дутья с целью снижения образования окислов азота. На основании результатов проведенных на первом этапе режимно-наладочных испытаний котлоагрегата, были определены основные характеристики эксплуатационного режима к/а и вспомогательного оборудования, определены пределы регулирования направляющих аппаратов, шиберов, горелок, ТДМ котла;

Испытания проводились при паровых нагрузках котла 320, 345, 370 и 420 т/ч. На каждой паровой нагрузке проведены серии опытов с разными избытками воздуха за котлом, параметры работы и загрузки оборудования приведены ниже, кроме того производилась регулировка по скоростям и расходным характеристикам вторичного и третичного воздуха.

Для более наглядного сравнения все данные, полученные во время проведения испытаний и результаты расчётов представлены в сводных ведомостях результатов испытаний, по которым для удобства проведения анализа составлены таблицы.

Образование окислов азота изменяется в основном за счет снижения расхода воздуха на горелки и увеличения его подачи на третичное дутье, а также значительно зависит от количества работающих мельниц и ВГД. Трех мельничный режим работы котла наиболее экономичен и экологически выгоден.

Так на паровой нагрузке 310 - 320 т/ч при увеличении расхода воздуха на третичное дутье наблюдается значительное снижение образования окислов азота:

Наименование	Обоз.	Р _{изм.}	Значения величин				
Паровая нагрузка	Дк	т/ч	310	310	320	320	333
Положение шиберов 141 и 144	УП	%	98/94	65/64	98/94	82/80	82/86
Положение шиберов 158 и 159	УП	%	95/98	55/55	95/98	60/60	60/61
Окислы азота	NO _x	Мг/м ³	432/439	410/420	360/345	318/321	308/310

При паровой нагрузке 338 - 345 т/ч в трех и четырех мельничном режиме достигнуты следующие показатели:

Наименование	Обоз.	Р _{изм.}	Значения величин				
Паровая нагрузка	Дк	т/ч	338	344	344	344	345
Положение шиберов 141 и 144	УП	%	82/87	82/88	60/62	82/90	82/80
Положение шиберов 158 и 159	УП	%	90/92	60/64	20/20	80/80	60/60
Окислы азота	NO _x	Мг/м ³	428/442	396/430	321/318	388/427	340/348

А при паровой нагрузке 420 т/ч в трех и четырех мельничном режиме достигнуты следующие показатели:

Наименование	Обоз	Р _{изм.}	Значения величин				
Паровая нагрузка	Дк	т/ч	416	420	420	418	418
Положение шиберов 141 и 144	УП	%	98/94	80/78	80/78	60/60	60/60
Положение шиберов 158 и 159	УП	%	95/98	40/40	55/50	40/40	20/20
Окислы азота	NOx	Мг/м ³	462/423	412/386	529/530	486/424	430/398

Содержание горючих в шлаке и уносе является основным фактором потерь тепла с механическим недожогом, оказывает отрицательное влияние на КПД котлоагрегата и свидетельствует о недостаточном взаимодействии кислорода с горючими частицами. При дальнейшем снижении избытка воздуха увеличивается недожог в шлаке и уносе, что свидетельствует о недостатке кислорода.

Содержание горючих в шлаках и уносах, $C_{\text{шл}}$, $C_{\text{ун}}$ %. При этом основные потери и КПД (брутто) котлоагрегата составили:

На нагрузке 310 – 333т/ч:

Наименование	Обозначение	Размерность	Значения величин				
Паропроизводительность	Д _к	т/ч	310	310	320	320	333
Содержание горючих в шлаке	$\Gamma_{\text{шл}}$	%	4,90	4,90	3,20	3,20	6,20
Содержание горючих в уносе	$\Gamma_{\text{ун}}$	%	3,90	3,90	3,20	3,60	5,60
Потери тепла от механического недожога	q_4	%	3,27	3,27	2,95	3,31	4,59
Потери тепла с уходящими газами	q_2	%	6,48	6,25	6,13	5,96	7,73
Коэффициент полезного действия котла (брутто)	$\eta_{\text{к}}^{\text{бр}}$	%	89,43	89,60	89,99	89,84	86,85
Часовой расход натурального топлива	В _{нат}	т/ч	57,84	57,73	62,11	62,22	59,37

Основные ТЭП при нагрузке – 345 т/ч

При этом основные потери и КПД (брутто) котлоагрегата составили:

Наименование	Обозначение	Размерность	Значения величин				
Паропроизводительность	D_k	т/ч	338	344	344	344	345
Содержание горючих в шлаке	$\Gamma_{шл}$	%	4,00	5,50	6,20	4,90	4,90
Содержание горючих в уносе	$\Gamma_{ун}$	%	4,80	6,90	7,80	3,90	4,50
Потери тепла от механического недожога	q_4	%	3,91	5,74	6,44	3,27	3,76
Потери тепла с уходящими газами	q_2	%	8,13	6,74	5,63	5,71	7,11
Коэффициент полезного действия котла (брутто)	$\eta_k^{бр}$	%	87,19	86,72	87,05	90,17	88,32
Часовой расход натурального топлива	$B_{нат}$	т/ч	60,89	62,21	61,19	60,08	61,82

Основные ТЭП при нагрузке – 420т/ч

При этом основные потери и КПД (брутто) котлоагрегата составили:

Наименование	Обозначение	Размерность	Значения величин				
Паропроизводительность	D_k	т/ч	416	420	420	418	418
Содержание горючих в шлаке	$\Gamma_{шл}$	%	4,90	4,90	5,60	4,00	5,50
Содержание горючих в уносе	$\Gamma_{ун}$	%	3,90	4,00	5,10	6,90	9,30

Потери тепла от механического недожога	q_4	%	3,27	3,23	4,14	5,65	7,57
Потери тепла с уходящими газами	q_2	%	5,39	5,29	5,21	5,01	5,00
Коэффициент полезного действия котла (брутто)	$\eta_k^{бр}$	%	90,70	90,78	89,86	88,60	86,73
Часовой расход натурального топлива	$B_{нат}$	т/ч	72,94	72,26	72,99	73,87	73,11

При дальнейшем снижении избытка воздуха на всех нагрузках увеличивается недожог в шлаке и уносе, что свидетельствует о недостатке кислорода и к рассмотрению не предлагается.

При большей загрузке верхнего (третичного) дутья происходит снижение оксидов азота (NO_x).

Наименование	Обоз.	$P_{изм.}$	Значения величин				
Паровая нагрузка	Дк	т/ч	320	344	375	420	420
Положение шиберов 141 и 144	УП	%	82/80	60/62	64/64	60/60	60/60
Положение шиберов 158 и 159	УП	%	60/60	20/20	60/60	40/40	20/20
Окислы азота	NO_x	Мг/м ³	318/321	321/318	420/401	486/424	430/398

При этом содержание кислорода в топке не должен превышать 4-4,5%.

Температура факела в топке на уровне горелок во время испытаний составляла: фронт 1050-1380 °С, тыл 1080-1380 °С, на уровне третичного дутья - 1200-1400°С. На отм.27 фронт 1000-1100 °С, тыл 1000-1100 °С в зависимости от нагрузки.

По оптимальным технико-экономическим показателям достигнутых в процессе испытаний составлена временная режимная карта котла.

В целом необходимо отметить, что проведенная реконструкция положительно отразилась на снижении образования окислов азота. О чем свидетельствуют достигнутые результаты.

Впрыск пара и воды в корень факела

Впрыск пара и воды в корень факела является наиболее простым для подавления образования токсичных продуктов сгорания топлива. Прямоструйный или вихревой аппарат доставляет влагу в количестве 10÷20% от расхода топлива в первую треть факела, где происходит максимальное образование оксидов азота. Впрыск пара и воды в корень факела позволяет снизить уровень образования NO_x в 1,8÷2 раза по сравнению с обычным способом сжигания топлива. Этот метод используется на Новокуйбышевской, Краснодарской, Ташкентской и др. электростанциях.

Одним из эффективных вариантов ввода влаги в факел является сжигание водомазутных эмульсий (ВМЭ), представляющих собой жидкое высокоувлажненное топливо. Для ТЭЦ оптимальная влажность ВМЭ составляет 18÷20%. Использование ВМЭ в качестве топлива позволяет снизить уровень образования NO_x на 35÷40%.

В 1997 году на котлоагрегате Е-50-14 ст. № 4 котельной № 2 Усть-Каменогорских тепловых сетей была внедрена и испытана схема парового дутья в зону воспламенения топлива. Результаты замеров выбросов вредных веществ в атмосферу представлены в таблице.

Таблица.

Наименование выбросов	Схема парового дутья включена	Схема парового дутья выключена
Оксиды азота NO_x ; мг/нм ³	732,48	1180,9
Окислы серы SO_2 ; мг/нм ³	315,44	560,86
Окись углерода CO ; мг/нм ³	88,01	136,93
Зола M_3 ; кг/ч	134,77	233,11

Из таблицы видно, что в результате внедрения схемы парового дутья позволило значительно снизить выбросы вредных веществ в атмосферу

- окислов азота на 37,9%
- окислов серы на 43,75%
- окиси углерода на 35,7%
- золы на 42,2%

Замеры проводились персоналом лаборатории ООС котельных Усть-Каменогорских тепловых сетей.

В настоящее время схемы парового дутья внедрены на всех котла Е-50-14 котельной № 2 УК ТС, испытания показали аналогичные результаты.

В 1998 - 1999 годах была разработана и внедрена схема парового дутья на котлоагрегате БКЗ-160-100 ст. № 1 ТОО “АЭС Согринская ТЭЦ”. Проведенные испытания также показали снижение выбросов вредных веществ. Результаты замеров представлены в таблице.

Таблица

Наименование выбросов	Схема парового дутья включена			Схема парового Дутья отключена		
				а		
Зола $M_{\text{зл}}^1$; кг/ч	1712,5	1721,4	1701,4	1927,3	1951,0	1903,7
Окислы серы SO_2 ; мг/м ³	672,33	618,47	678,81	891,31	910,3	811,72

Внедрение схемы парового дутья на котле ст. № 1 Согринской ТЭЦ позволило снизить выбросы золы на 16-32%,

окислов серы на 10,6-11,7%,

окислов азота на 24,6%

Замеры проводились персоналом хим. лаборатории ТОО “АЭС Согринской ТЭЦ”.

Подача в топку пыли высокой концентрации

Все более широкое применение находит способ подачи угольной пыли к горелкам с высокой ее концентрацией в транспортирующем агенте ($20\div 30$ кг/кг).

В качестве транспортирующего агента может применяться пар или сжатый воздух.

Разработаны два способа подачи пыли высокой концентрации (ПВК) – по системе Всесоюзного теплотехнического института (ВТИ) и системе Центрального котлотурбинного института (ЦКТИ).

В системе ВТИ угольная пыль транспортируется сжатым воздухом, подаваемым воздуходувками под давлением. В системе ЦКТИ пыль транспортируется воздухом, засасываемым в пылепровод за счет разряжения, создаваемого паровыми эжекторами, встроенными в горелки.

Подача в топку пыли высокой концентрации позволяет уменьшить температуру в факеле ее горения до 1500°C и следовательно уменьшить образование оксидов азота на $20\div 25\%$ (до $500\div 600$ мг/м³).

При реализации способа подачи ПВК количество пыли на 1 кг воздуха увеличивается с 0,5 до 20 кг. Опыт эксплуатации систем подачи ПВК в топки котлов на Томь-Усинской ГРЭС и Усть-Каменогорской ТЭЦ показал, что при расположении пылераздающей насадки в устье (на срезе) горелки и подаче ПВК одновременно реализуется принцип ступенчатого сжигания топлива. При этом в ядре факела образуется зона первичного сжигания с коэффициентом избытка воздуха меньше единицы, а вторичный воздух подается через сопло на вторую ступень сжигания.

Принцип работы горелки заключается в следующем. Концентрированный поток, проходя через рассекаТЕЛЬ, приобретает тонкоструйную кольцеобразную форму, его температура повышается с 67°C (в пылепроводе) до 94°C (за рассекателем). Происходит интенсивное перемешивание концентрированного потока с инертными топочными газами с внутренней стороны и воздухом – с внешней стороны. При этом внутренние слои струи воспламеняются непосредственно за рассекателем, а вся пылевоздушная смесь – на расстоянии 0,3-0,6 м от горелки. Таким образом, происходит одновременное распыливание, прогрев и воспламенение топлива при более высоких, по сравнению с типовыми схемами, концентрациях. В процессе перевода котлов ТП-10 и ТП-42 Томь-Усинской ГРЭС на схему подачи ПВК достигнуто снижение концентрации No_x на $100\div 200$ мг/м³, или на $15\div 30\%$. На УК ТЭЦ четыре котлоагрегата ЦКТИ-75-39 переведены на подачу ПВК, что позволило снизить концентрацию No_x дымовых газов на $15\div 20\%$. Изменение диаметра пылепровода с 426 на 76 мм позволило уменьшить металлоемкость

конструкций, улучшить доступ горелочным устройствам, повысить технико-экономические показатели котлов и снизить взрывопожароопасность.

Переход на сжигание высококонцентрированной пыли привел к стабилизации процесса горения на резкопеременном топливе. При этом процесс горения не может возникнуть близко к горелке или внутри ее, поскольку высококонцентрированный поток даже при высокой температуре не способен гореть с генерированием тепла до соединения его с воздухом.

Применение системы подачи пыли высокой концентрации позволяет убрать первичный воздух, доля которого от общего количества воздуха, поступающего в топку через горелки, составляет $30\div 40\%$, плюс избыток воздуха в зоне горения. В результате замены, коэффициент избытка воздуха снизится с $1,1\div 1,2$ до $0,8\div 0,5$ теоретически необходимого количества воздуха. Указанное предопределяет снижение величины образующихся оксидов азота.

Испытания, выполненные на котле №5 УК ТЭЦ показали, что снижение выбросов оксидов азота составило в среднем 20% и находится в пределах $0,5 \text{ г/м}^3$ (н.у.) вместо $0,7\div 0,8 \text{ г/м}^3$ (н.у.) при нагрузке на этом котле $60\div 70 \text{ т/ч}$ пара.

Использование системы ПВКд упрощает обслуживание котлов, облегчает контроль за работой системы, исключает колебания температуры перегретого пара и необходимость сажеобдувки.

Система ПВК под разряжением

С целью снижения расхода электроэнергии на собственные нужды все шире внедряется система подачи пыли высококонцентрированным потоком под разряжением (ПВКр), разработанная ЦКТИ, как развитие созданной ВТИ системы подачи пыли высокой концентрации под давлением (ПВКд). Такая система включает смеситель пыли, пылепровод ПВК и побудитель расхода-паровой эжектор, встроенный в горелочное устройство.

Транспорт пыли в системе ПВКр с концентрацией до 50 кг/кг воздуха, отличающихся от концентрации $\mu=0,5 \text{ кг/кг}$ в традиционных системах пылепитания, осуществляется по пылепроводам диаметром $d=89\cdot 4,5 \text{ мм}$ за счет разряжения, создаваемого паровыми эжекторами, устанавливаемыми непосредственно в горелочных устройствах. В эжекторах используется перегретый пар, а транспорт пыли может осуществляться как атмосферным (из цеха) воздухом, так, и горячим, с температурой $350\div 400 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Выбор тех или иных параметров пара и воздуха зависит от фактического исполнения отдельных элементов, рациональности трассировки пылепроводов и, самое главное, от качества транспортируемой пыли (ее “текучих” свойств), а также разницы в уровнях установки пылепитателей и горелок котла.

Разработанный и применяемый на электростанциях паровой эжектор ЦКТИ позволяет достигнуть напора не более 25кПа (против 40÷60 кПа в системе под давлением). Указанное обуславливает большую зависимость работоспособности и экономичности рассматриваемой системы ПВКр даже от незначительных факторов. Ремонтопригодность обеих систем практически одинакова. Отличительной чертой системы, работающей под разрежением, является ее абсолютная взрывобезопасность (при всех рабочих состояниях системы). Можно выполнить высокоэкономичную систему ПВКр, если обеспечивается перепад высот между питателем и горелкой не менее 15м и расчетное качество пыли. В этом случае трассировку пылепроводов проводят с нарастающим уклоном и выбором оптимальной величины их диаметра. Надежная работа системы при указанных условиях достигается при достаточно низком давлении пара (0,7÷1 МПа). Его расход составит 100-200 кг/ч на одну горелку, а скорость транспортирования пыли 9÷12м/с.

Описание внедренных схем ПВК. Их преимущества и недостатки. Выбор оптимального варианта

Принципиальная схема ПВКд заключается в следующем. Пыль из бункера, дозируемая питателями УЛПП-1 лопастного типа, поступает в вертикальный пылепровод наполняя его до определенного уровня. Образующийся таким образом столб пыли при подаче сжатого воздуха в смеситель создает в нем давление, под действием которого пыль по пылепроводу транспортируется к горелке при концентрации около 25кг/кг.

При увеличении (уменьшении) количества пыли, подаваемой пылепитателем, уровень ее в вертикальном пылепроводе увеличивается (уменьшается), что приводит соответственно к увеличению (уменьшению) давления в его нижней части и в смесителе и увеличению (уменьшению) производительности системы.

Таким образом, система подачи пыли с высокой концентрацией транспортирует в топку в каждый данный момент столько пыли, сколько поступает ее от питателя. При диаметре вертикального столба 82 мм и производительности питателя 1,5 кг/с заполнение вертикального пылепровода пылью происходит за 6-7 с, однако, поскольку пылепровод начинает подавать пыль с самого начала по мере увеличения давления, то стабилизация режима наступает через 15-20 с после пуска питателя в работу. При автоматическом регулировании подачи топлива в топку перестройка после возмущения заканчивается через 3-5 с.

Опыт использования ПВКд на Усть-Каменогорской ТЭЦ

Система ПВКд на Усть-Каменогорской ТЭЦ включает воздуходувки, воздухопроводы с запорной арматурой, пылепитатели котла, вертикальные пылепроводы от питателей пыли до смесителей, смесители пыли, пылепроводы от смесителей пыли до горелок котла.

Транспортирующим агентом в системе ПВКд под давлением является воздух, нагнетаемый воздуходувками типа ТВС-175 изготавливаемые Чирчикским заводом “Узбекхиммаш”. Производительность воздуходувки 1000 м³/ч. Одна воздуходувка полностью обеспечивает воздухом все котлы среднего давления. В работе находится одна воздуходувка, вторая в автоматическом резерве, с открытым шибером на нагнетании. На ней был сконструирован и установлен обратный клапан, препятствующий попаданию воздуха из магистрали. Общий коллектор сжатого воздуха имеет секционные шибера позволяющие отключать котлы для ремонта.

Принцип работы горелки заключается в следующем. Концентрированный поток, проходя через рассекатель, приобретает тонкоструйную кольцеобразную форму, его температура повышается с 67°С (в пылепроводе) до 94°С (за рассекателем). Происходит интенсивное перемешивание концентрированного потока с инертными топочными газами с внутренней стороны и воздухом – с внешней стороны. При этом внутренние слои струи воспламеняются непосредственно за рассекателем, а вся пылевоздушная смесь – на расстоянии 0,3-0,6 м от горелки. Таким образом, происходит одновременное распыливание, прогрев и воспламенение топлива при более высоких, по сравнению с типовыми схемами, концентрациях. В процессе перевода котлов ТП-10 и ТП-42 Томь-Усинской ГРЭС на схему подачи ПВК достигнуто снижение концентрации No_x на $100 \div 200 \text{ мг/м}^3$, или на $15 \div 30\%$. На УК ТЭЦ четыре котлоагрегата ЦКТИ-75-39 переведены на подачу ПВКд, что позволило снизить концентрацию No_x дымовых газах на $15 \div 20\%$. Изменение диаметра пылепровода с 426 на 76 мм позволило уменьшить металлоемкость конструкций, улучшить доступ горелочным устройствам, повысить технико-экономические показатели котлов и снизить взрывопожароопасность.

Переход на сжигание высококонцентрированной пыли привел к стабилизации процесса горения на резкопеременном топливе. При этом процесс горения не может возникнуть близко к горелке или внутри ее, поскольку высококонцентрированный поток даже при высокой температуре не способен гореть с генерированием тепла до соединения его с воздухом.

Применение системы подачи пыли высокой концентрации позволяет убрать первичный воздух, доля которого от общего количества воздуха,

поступающего в топку через горелки, составляет 30÷40%, плюс избыток воздуха в зоне горения. В результате замены, коэффициент избытка воздуха снизится с 1,1÷1,2 до 0,8÷0,9 теоретически необходимого количества воздуха. Указанное предопределяет снижение величины образующихся оксидов азота.

Испытания, выполненные на котле УК ТЭЦ на котлах ЦКТИ 75-39 показали, что снижение выбросов оксидов азота составило в среднем 20% и находится в пределах 0,5 г/м³ (н.у.) вместо 0,7÷0,8 г/м³ (н.у.) при нагрузке на этом котле 60÷70 т/ч пара.

Также отмечены положительные результаты внедрения системы ПВКд на котлоагрегатах БКЗ-320-140 ст.№11,12,13,14 и Е-500 ст.№15.

Содержание NO_x в уходящих газах, приведенное к избытку воздуха 1,4 на Майкубенском буром угле в оптимальных режимах составило 435 – 460 мг/нм³. Для Семипалатинского каменного угля эти значения несколько выше и составляют 455 – 475 мг/нм³. При работе одной пылесистемы на всех нагрузках концентрации NO_x ниже.

С изменением системы транспорта пыли к горелкам, при останове пылесистемы в резерв появилась возможность остановки мельничного вентилятора, что в свою очередь позволяет экономить до 160 кВт электроэнергии в час. В зависимости от нагрузки экономия СН составляет от 1 до 3,5 МВт в сутки.

Использование системы ПВКд упрощает обслуживание котлов, облегчает контроль за работой системы, исключает колебания температуры перегретого пара и наиболее подходящий вариант для котлов БКЗ-160-100 и БКЗ-220-100 Степногорской ТЭЦ.

Проект ПВКд предусматривает обеспечение двух основных технических требований к транспорту пыли с высокой концентрацией:

- а) стабильность скорости выхода аэросмеси из пылепровода высокой концентрации в горелки во времени, недопустимость пульсации подачи пыли;
- б) обеспечение расчетного пропуска пыли через пылепровод

ПВКд и возможность его регулирования;

При выборе вариантов реконструкции необходимо исходить из ожидаемого срока эксплуатации. При выборе метода снижения тех или иных выбросов потребуется учитывать не только объем инвестиций, но ожидаемое изменение эксплуатационных характеристик и длительность проведения реконструкций. Способы снижения выбросов NO_x в атмосферу, которые необходимо внедрить на угольных котлоагрегатах, приведены в ТЭО, в большинстве случаев они могут быть реализованы ремонтными предприятиями за счет некоторого увеличения стоимости и сроков проведения

капитального ремонта. Для пылеугольных котлов, рассчитанных на давление пара до 13,2 МПа, со сроком остаточной эксплуатации более 10 лет необходимо реализовать малозатратные мероприятия, направленные на повышение эффективности золоулавливания, и упрощенные схемы сероочистки (при сжигании высокосернистых углей).

В разделе были определены оптимальные варианты методов снижения вредных выбросов в атмосферу, произведена привязка к оборудованию составлен перечень работ необходимых для реконструкций.

Основным негативным фактором является низко реакционное топливо сжигаемое на ТЭЦ. Что может оказать отрицательное воздействия на эффективность проводимых мероприятий.

В целях уточнения, применения возможных способов снижения выбросов в атмосферу, были произведены замеры на котлоагрегатах «Степногорской ТЭЦ», рассмотрены наработки режимной группы «Степногорской ТЭЦ», инвентаризационных замеров и в сочетании с приведенным анализом использования методов снижения выбросов в атмосферу и их результатов для простоты сравнения предложены к рассмотрению следующие таблицы.

Таблица

Снижения вредных выбросов в атмосферу.

Метод	Эффек- тивность по NO_x %	Влияние на др. показат.	Ограничение применимости	Примечание
Кипящий слой, ЦКС, ПСКС.	30...40	Практич ески отсутств уют	Неполнота сгорания топлива, Повышение содержания горючих в уносе.	Отсутствие реализованных проектов и опыта эксплуатации в странах бывшего СНГ
Паровое дутьё	18...24	Снижен ие SO_2 , CO и запылен	Стабильность факела; при сжигании влажных углей возможна	Подача пара через сопла над горелками; или вместе с первичным воздухом.

		ности	коррозия хвостовых поверхностей нагрева	
Двухступенчатое сжигание	15..35	Практически отсутствуют	Повышение содержания горючих в уносе, коррозия нижней радиационной части. Появление СО.	При сжигании серосодержащего топлива появляется опасность высокотемпературной коррозии топочных экранов
ПВК	20..35	Практически отсутствуют	Появление СО и рост содержания горючих в уносе	При сжигании низкореакционных углей нестабильный режим горения

При использовании ступенчатого сжигания топлива возможно добиться снижения выбросов в атмосферу по NO_x на 15-25%, однако при сжигании низкореакционных углей может наблюдаться нестабильный режим горения ухудшения выгорания топлива на выходе из горелок, возможно появление следов СО и как следствие увеличение потерь с химическим недожогом и снижением кпд.

При условии относительно не высокой стоимости реализации ступенчатого сжигания (не более 30 млн. на один котлоагрегат, с возможным снижением стоимости на следующие однотипные).

Данный метод может быть рекомендован для всех котлов Степногорской ТЭЦ.

Как видно из данной таблицы, не все мероприятия предлагаемые и проводимые в целях снижения выбросов в атмосферу, могут гарантировать необходимое снижение по всем необходимым параметрам и ингредиентам, а так же положительно влиять на стабильность режима горения топлива в топке котла и в целом на его технико-экономические показатели.

Поэтому были рассмотрены различные варианты возможного совмещения с непосредственной привязкой к установленному оборудованию.

Так как снижение вредных выбросов от применения ступенчатого сжигания может сказаться не достаточно для достижения требуемых нормативов, как и других возможных мероприятиях, предлагаем к

рассмотрению возможность совмещения мероприятий по снижению вредных выбросов в атмосферу.

Таблица

Возможных наиболее рационального совмещения методов снижения вредных выбросов в атмосферу.

	КС	ступенчатое	ПВК	Паровоздушное дутьё
КС	Экономически не целесообразно.	-	-	-
Ступенчатое	-	+	Возможен	Возможно применение на всех к/а
ПВК	-	Возможен	+	Возможно применение на всех к/а
Паровоздушное дутьё	-	Возможно применение на всех к/а	Возможен	+

Применение ступенчатого сжигания в комплексе с паровоздушным дутьем теоретически позволит снизить выбросы вредных веществ в атмосферу без глобальных материальных затрат 25-36 млн.тенге и приблизить выбросы и требуемым нормативам.

На котлоагрегатах БКЗ-160-100 ст.№2,3,4 и БКЗ-220-100 ст.№5,6,7, с ШБМ, возможно применение ПВК со ступенчатым подводом воздуха, как наиболее эффективное.

Данное совмещение этих мероприятий позволит максимально снизить выбросы вредных веществ в атмосферу до требуемых нормативов.

Таблица

Ожидаемых минимальных процентов снижения NO^x

Наименование к/а	% снижения NO _x			
	При внедрений ПВК	Ступенчатое сжигание	Сжигание в кипящем слое	Паровое дутье
ТП-46 ст. № 1-5	20-25	15-30	-	20-30
БКЗ-220 ст. №6,7,12 с (ШБМ)	20-25	15-30	-	20-30
БКЗ-220 ст. №8-11 с (ММА)	-	15-30	-	20-30

Обобщая все выше изложенное, можно сделать вывод, что для достижения нормотивно-допустимых выбросов рационально использовать следующие мероприятия на котлоагрегата БКЗ-160-100 ст.№ 2,3,4 - ПВКд. Согласно техническому регламенту требованиям к эмиссиям в окружающую среду при сжигании различных видов топлива в котлах тепловых электрических станций, фактический выброс концентраций NO^x в дымовых газах при альфа =1,4 мг/м³ на Степногорской ТЭЦ составляет 855 мг/м³. По техническому регламенту должно составлять 470 мг/м³.

После реконструкций, при среднем снижении концентраций NO^x до 45 % массовая концентрация NO^x составит 470,25 мг/м³. При этих факторах штрафы на загрязнение атмосферного воздуха не последуют или будут минимальными.

Поэтому в настоящее время перевод котлов на систему ПВК рассматривается как первостепенное мероприятие при планировании экологических программ снижения вредных выбросов (см., например, статью «Технология сжигания топлива в высококонцентрированном потоке аэросмеси – залог эффективного снижения NO_x» в журнале «Энергетик» №7 за 2006г., а так же в журнале «Топливные ресурсы Казахстана» № 15 за 2005 год), и мероприятий указанных в перечне наилучших доступных технологий Приказа Министра энергетики Республики Казахстан от 28 ноября 2014года №155. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 29 января 2015года № 10166 и НТД ООС.

. Кроме того, такое снижение NO_x не связано с ухудшением экономичности, которое закономерно сопровождает традиционные методы снижения: ступенчатое сжигание, снижение избытков в ядре горения, подачи

инертных газов в ядро и т. д., является более эффективным, не усложняет и не ухудшает эксплуатационные характеристики котла.

С этих позиций перевод котлов на ПВК является актуальным, своевременным и обоснованным и не требует значительных переделок и реконструкции котла.

Рекомендуемая система подачи пыли высокой концентрации под давлением для котлов БКЗ-160-100 ст.№ 2,3,4

ТОО «Степногорская ТЭЦ»

В системе ПВКд для транспорта угольной пыли к горелкам используется сжатый воздух под давлением 40 кПа, нагнетаемый воздухоудувками типа ТВ-80-1,4.

Одной воздухоудувки достаточно на три котла типа БКЗ-220-100, однако должно быть две воздухоудувки, одна резервная. При этом обеспечивается высокая надёжность; при отключение одной из воздухоудугов оставшаяся в работе полностью берёт на себя нагрузку.

При работе одного котла загрузка воздухоудувки недостаточна, что приводит к возникновению колебаний давления в коллекторе сжатого воздуха (явление помпажа). Для его исключения необходимо открывать сброс в атмосферу. Система ПВКд устойчиво работает при давлении воздуха 30 и даже 20 кПа, дальнейшее снижение может привести к забиванию пылепровода.

Из бункера угольная пыль, дозируемая пылепитателями (8) лопастного типа, поступает в вертикальный пылепровод (4), наполняя его до определенного уровня. Образующийся таким образом столб пыли при подаче сжатого воздуха открытием вентиля в смеситель (7) создает в нем давление, под действием которого пыль перемещается в пылепровод и транспортируется к горелке (5).

В корпус горелки вместо трубы $d = 320$ мм заведен пылепровод $d = 76$ мм подачи высококонцентрированной пыли с рассекателем, установленным на выходе из горелки. За рассекателем происходит интенсивное перемешивание концентрированного потока с топочными газами с внутренней стороны и с горячим воздухом с внешней стороны. За

рассекателем создается несколько расходящийся в пространстве конус, переходящий в цилиндр, стенками которого является тонкая кольцевидная в сечении струя одновременно прогревающейся и смешивающейся с воздухом и воспламеняющийся высококонцентрированной пыли. Вследствие большой потери лучистой энергии и малой толщины излучающего слоя температура внутри цилиндра невысока: у рассекателя 800-1000⁰С.

Воспламенение и горение частиц пыли внутри цилиндра происходит при глубоком недостатке кислорода, так как воздух для горения в этот поток не попадает.

Воспламенение при низких температурах и в условиях недостатка окислителя при повышенных концентрациях благоприятно сказывается на уменьшении содержания окислов азота в уходящих газах за котлом. Одновременный прогрев и распыление концентрированного потока приводит к повышению устойчивости воспламенения, при этом фронт воспламенения более стабилен по местоположению: на низкокалорийном топливе отдалается от рассекателя незначительно, а на высококалорийном угле остается за рассекателем, так как высококонцентрированный поток до его распыливания и понижения концентрации не способен гореть с выделением тепла как бы сильно прогрет он ни был. Таким образом, амплитуда колебания положения фронта воспламенения на резкопеременном топливе значительно уменьшена, что стабилизирует процесс.

Наличие вертикального пылепровода является неотъемлемой частью системы ПВК под давлением. При включении питателя пыли первые порции пыли падают вниз по вертикальному пылепроводу под действием собственной тяжести и разрежением за соплом, где подхватываются потоком воздуха и увлекаются им в горизонтальный пылепровод. Высота столбца пыли в вертикальном пылепроводе равна 2,3м при плотности пыли 660 кг/кг. Столб пыли при работе котла сверху подпрессовывается пылепитателем, что делает невозможным протечку воздуха в питатель и бункер пыли./3/

Принципиальная схема системы ПВКд

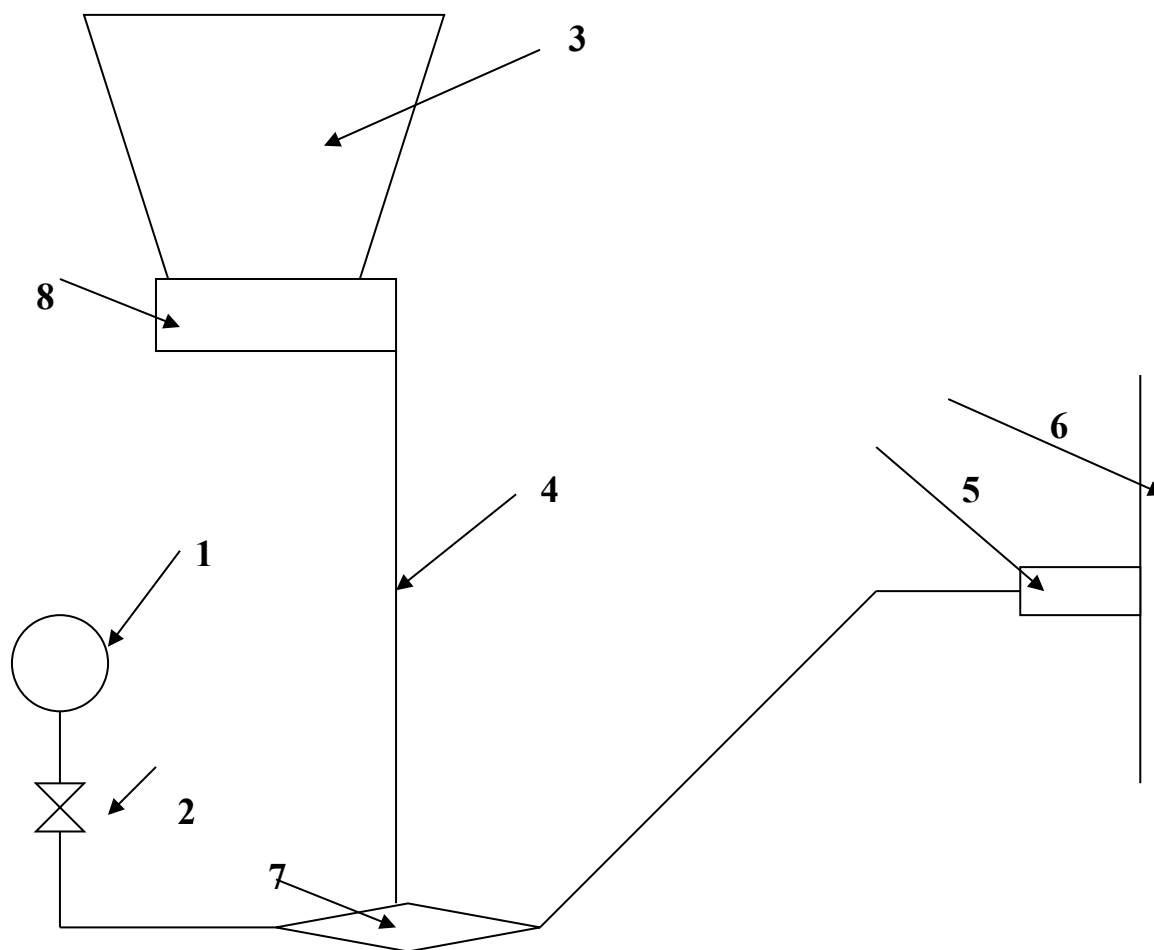


Рисунок № 3 Принципиальная схема системы ПВКд.

1. коллектор сжатого воздуха
2. отсечной клапан по воздуху
3. бункер угольной пыли
4. стабилизатор (вертикальный отсек)
5. горелка
6. топка котла
7. смеситель
8. питатель пыли

Воспламенение при низких температурах и в условиях недостатка окислителя при повышенных концентрациях благоприятно сказывается на уменьшении содержания окислов азота в уходящих газах за котлом.

Одновременный прогрев и распыливание концентрированного потока приводит к повышению устойчивости воспламенения, при этом фронт воспламенения более стабилен по местоположению: на низкокалорийном топливе отдалается от рассекателя незначительно, а на высококалорийном угле остается за рассекателем, так как высококонцентрированный поток до его распыливания и понижения концентрации не способен гореть с выделением тепла как бы сильно прогрет он ни был. Таким образом амплитуда колебания положения фронта воспламенения на резкопеременном топливе значительно уменьшена, что стабилизирует топочный процесс.

Особенности факельного сжигания.

В крупной энергетике основным процессом является факельное сжигание, когда в топочную камеру через горелки подаются прямоточные или закрученные потоки воздуха и топлива или топливовоздушной смеси. Реже применяется циклонный или вихревой метод сжигания, когда часть топлива сгорает на пленке шлака, покрывающей поверхность циклона. В последние годы много внимания уделяется методу сжигания твердого топлива в кипящем (псевдоожиженном) слое инертного материала.

В энергетических котлах газовые горелки устроены так, что только часть воздуха смешивается с топливом до поступления в топочную камеру. В этом случае скорость процесса горения на разных этапах развития факела определяется или кинетикой процесса, или скоростью диффузии окислителя (кислорода воздуха) к фронту пламени.

При факельном сжигании твердого топлива конструкции горелок чрезвычайно разнообразны, т.к. диапазон изменения характеристик углей очень велик. Выход летучих, в значительной степени определяющий реакционные качества топлива, меняется от 2% у метаантрацита до 92% у эстонского сланца. Почти все пылеугольные горелки имеют поток первичного воздуха, который смешивается с топливом до поступления в топку, и поток вторичного воздуха, который смешивается с аэросмесью после выхода из горелки. Выделение первичного воздуха необходимо для улучшения теплового баланса зоны воспламенения, однако такое решение имеет и отрицательные последствия: повышения степени выгорания топлива достигается только за счет специальных мер для организации вторичного смесеобразования в факеле и увеличения коэффициента избытка воздуха в горелке.

Прогрев поступающий в топку смеси угольной пыли с первичным воздухом (аэросмеси) происходит за счет конвекции и лучистого теплообмена.

Роль конвекции, осуществляемой за счет подмешивания к аэросмеси горячих газов из зоны развитого горения, является определяющей для вихревых горелок. Прогрев аэросмеси приводит к выходу летучих и их воспламенению. При сгорании летучих расходуется кислород, содержащийся в первичном воздухе. Горение летучих ускоряет прогрев коксовых частиц и их воспламенение. Горение коксовых частиц происходит за счет кислорода вторичного воздуха.

Изложенная схема развития пылеугольного факела является весьма упрощенной, т.к. в реальных котлах сжигается полидисперсная пыль. Вследствие этого выход летучих и горение коксового остатка протекают последовательно только для каждой отдельной частицы. А для всего факела эти процессы протекают параллельно, т.к. мелкие частицы прогреваются и сгорают значительно быстрее, чем крупные частицы, имеющие максимальный размер в сотни и даже тысячи микрон.

**Краткое описание
основного и вспомогательного оборудования.**

На Степногорской ТЭЦ установлено шесть паровых котлов БКЗ-160-100Ф ст. № 2-4, БКЗ-220-100-4 ст. № 5-7, пять водогрейных котлов КВТМ-100-150 ст. № 1-5, турбогенераторами ПТ-25-90/10 ст. № 1-4 и ПТ-60-90/13 ст. № 5

**Характеристика котлов БКЗ-160100 ст.№ 2,3,4 и
вспомогательного оборудования.**

№ п.п .	Наименование	Обозна чение	Значения величин
1.	Номинальная паропроизводительность, т/ч к/а ст.№2-4	D_k	160
2.	Давление перегретого пара, кг/см ²	$P_{пе}$	100
3.	Температура перегретого пара, °С	$t_{пе}$	540
4.	Способ регулирования температуры перегретого пара		Впрыск «собственного» конденсата в пароохладители
5.	Температура питательной воды, °С	$t_{пв}$	215
6.	Тип горелок		пылеугольные
7.	Количество и расположение горелок		к/а ст.№2-4 щелевые, прямоточные угловое, диагональное 8 шт.
8.	Количество и расположение мазутных форсунок		2шт. фронтное
9.	Способ распыла мазута		Паровое
10.	Система пылеприготовления		Индивидуальная с промбункером
11.	Количество систем пылеприготовления на котел		2 шт.
12.	Тип мельницы мощность эл.двигателя		к/а ст.№1-4 ШБМ-287/410
13.	Мельничный вентилятор производительность, м ³ /ч полный напор, кг/м ²	$Q_{мв}$ $H_{мв}$	к/а ст.№1-4 ВМ - 50/1000 (по 2 шт. на котел) 50000 1090

	мощность эл.двигателя,кВт	N_{MB}	34
14.	Дутьевой вентилятор количество на котел, шт. производительность, м ³ /ч полный напор, кг/м ² мощность эл.двигателя,кВт	Q_{MB} H_{MB} N_{MB}	к/а ст.№1-4 ВД - 20 (по 2 шт. на котел) 127500 417 23
15.	Дымосос количество на котел, шт. производительность, м ³ /ч полный напор, кг/м ² мощность эл.двигателя,кВ		Д - 20х2 (по 2 шт. на котел) 197000 265 23
16.	Золоулавливающая установка		Эмульгаторы 2-го поколения, Панарина.
17	Количество золоуловителей на котел		4
18.	Вид шлакоудаления		ГЗУ
19.	Способ предварительного подогрева воздуха		Рециркуляция горячего воздуха

Котлы – энергетические, однобарабанные, вертикально-водотрубные, с естественной циркуляцией и «П» - образной компоновкой поверхностей нагрева. Котлы предназначены для работы на твердом и жидком топливе - угле и мазуте, мазут служит для растопки и подсветки котлов в периоды технологических неполадок, способ сжигания топлива - камерный.

Котельный пучок состоит из основного барабана внутренним диаметром 1470 мм и толщиной стенки 85 мм, нижней камеры и подъёмных труб. Для осуществления надёжной циркуляции в котельном пучке питательная вода в опусных трубах идёт по не обгораемым вставкам.

Водяной экономайзер состоит из двух ступеней, смонтированных в «рассечку» с воздухоподогревателем.

Воздухоподогреватель разделён водяным экономайзером на холодную и горячую части.

Тяго-дутьевая установка состоит из двух дутьевых вентиляторов и двух дымососов.

Схема пылеприготовления – индивидуальная, «полуразомкнутая», одновентиляторная, с шаровой барабанной мельницей типа ШБМ по одной с каждой стороны.

Сырой уголь из бункера поступает в питатель сырого угля, который обеспечивает равномерную подачу топлива в мельницу.

Мельница загружается шарами диаметром 40 мм, которые используются для измельчения топлива. Сырой уголь через входной патрубок поступает на мельницу, где происходит его измельчение и сушка.

Для сушки топлива используется горячий воздух, отбираемый после второй ступени воздухоподогревателя. Имеется так же аварийная присадка холодного воздуха.

Транспортировка угольной пыли производится мельничными вентиляторами.

Размельчённые частицы угля выносятся из мельницы и поступают в сепаратор, где происходит отделение более крупных частиц угольной пыли от мелкой. Тонина помола угольной пыли регулируется створками сепаратора и вентиляцией мельницы.

Более крупные частицы угольной пыли возвращаются в мельницу, а пылевоздушная смесь с пылью нужной тонины из сепаратора поступает в циклон, где происходит отделение угольной пыли от воздуха. Готовая угольная пыль ссыпается в бункер угольной пыли.

Котлоагрегаты оборудован одной золоулавливающей установкой типа Эмульгатор Панарина 2-го поколения.

Вода на орошение эмульгаторов подаётся специально установленными насосами.

Характеристика топлива:

Экибастузский каменный уголь

Влага рабочая	4 - 9%
Зольность рабочего топлива	38 - 43%
Теплотворная способность	3800 - 4200 ккал/кг
Сера рабочая	0,4 – 1,0%

Техническая характеристика существующей системы транспорта пыли:

3.1 Максимальное количество аэросмеси после мельничного вентилятора

50000 $\text{м}^3/\text{ч}$

3.2 Температура аэросмеси, пыли

105°C

3.3 Тонина помола пыли

$R_{90}=15\%$

$R_{200}=1,7\%$

Образование оксидов азота в факеле прямооточных горелок котлов БКЗ-160-100 ст.№ 2,3,4.

В прямооточном факеле подмешивание высокотемпературных топочных газов к топливовоздушной струе происходит за счет эжектирующих свойств вдуваемой в топку горелочной струи. Для тангенциальных топочных камер можно говорить еще и о «принудительном» подводе горячих топочных газов к корню факела в результате вихревой аэродинамической структуры.

По мере выгорания летучих концентрация кислорода в струе аэросмеси быстро уменьшается, т.к. количество первичного воздуха не превышает 20-40% стехиометрического (в расчете на все топливо, поданное через горелки). Вторичный воздух при использовании прямооточных горелок подмешивается к воспламенившейся аэросмеси недостаточно интенсивно (особенно при не большой поверхности контакта аэросмеси и вторичного воздуха). В результате этого в определенных зонах прямооточного факела создается восстановительная среда с более или менее высокой концентрацией продуктов неполного сгорания: CO_2 , H_2 , а иногда и CH_4 . В дальнейшем по мере смешения с вторичным воздухом происходит почти мгновенное догорание этих компонентов, и при работе топки с нормальным избытком воздуха в уходящих газах наличие оксида углерода можно обнаружить только при помощи очень чувствительных приборов. Но в зоне горения летучих в прямооточном факеле присутствуют газы – восстановители.

При сжигании высокореакционных каменных углей часто применяют прямооточно-вихревые горелки. В этом случае мелкие фракции

воспламеняются быстрее и двигаются вместе с воздухом по линиям тока. Крупные частицы прогреваются медленнее и, двигаясь по инерции, попадают в зону приосевой рециркуляции, где концентрации кислорода значительно выше, чем в первичном воздухе. Этим объясняется влияние гранулометрического состава пыли на выбросы оксидов азота. Таким образом, сжигание пыли грубого помола при прочих равных условиях приводит к небольшому снижению концентрации оксидов азота в продуктах сгорания по сравнению с работой на тонкой пыли.

Конструкция и режимы работы топочно-горелочных устройств.

Предложения по оптимизации горения.

Для организации концентрированной подачи пыли в зону воспламенения пылепровод ПВКд диаметром 76 x 4 мм устанавливается вдоль центральной оси горелки до ее устья с рассекателем на выходе из пылепровода. При этом концентрированный ($\mu = 25..35$ кг/кг) пучок пыли поступает непосредственно в приосевую зону горелочной струи, где за счет наличия высокотемпературных топочных газов приосевого обратного тока, происходит быстрый прогрев пылевого потока, интенсивное выделение летучих и зажигание факела в обедненной кислородом среде. Малое количество вторичного воздуха, подаваемого через центральную трубу и рассекатель на трубе ПВК, способствуют размыканию воздушного и пылевого потока, что позволяет сохранить интенсивность приосевого обратного тока и обеспечить необходимые условия для устойчивого воспламенения факела каждой горелки.

Наличие независимого от системы пылеприготовления транспорта пыли позволяет сохранить в работе все горелки во всем диапазоне нагрузок и при любом количестве работающих мельничных вентиляторов.

Существующие основные горелки демонстрируются полностью в пределах их присоединительных фланцев к коробам подвода вторичного воздуха 600x650.

Горелки устанавливаются горизонтально с существующими углами поворота в плане с сохранением прежних отметок. На каждом углу топки устанавливается двойная горелка – 2 горелки, скомпонованные в одном

воздушном коробе, разделенным листом на верхнюю и нижнюю для верхнего и нижнего яруса, как и ранее. Каждая из этих половин представляет отдельную самостоятельную горелку с заведённым в нее пылепроводом ПВК и пылевыдающим патрубком – ПВП.

Горелка верхнего яруса представляет из себя прямоугольный короб горячего воздуха размером 480*420 мм с помещением в нем ПВП с диаметром открытой в сторону топки полости $\Phi 159$ мм (уменьшение диаметра позволит отодвинуть возгорание от горелок). Ось ПВП совпадает с осью сопла прямоугольного короба вторичного воздуха. В выходном сечении размер окна наконечника горелки – 380*420 – уменьшен по горизонтали за счет сужающихся боковых пластин наконечника (в целях увеличения скорости до 22-25 м/с и снижения сепарации пыли). Тракт первичной аэросмеси выполнен горизонтально.

Ввод пылепровода пыли высокой концентрации (ПВК) в нижнюю горелку осуществлен через шарнир, позволяющий устанавливать отклонение оси пылевыдающего патрубка (ПВП) от оси горелки в вертикальной плоскости на $\pm 7^\circ$. Для осуществления поворота ПВП выполнен специальный механизм поворота с внешним рычагом, выведенным на площадку обслуживания (отм. 9,3 м). Величина поворота и место положения рычага фиксируются на секторе поворота по месту и задаются при наладке режима горения котла и уровня перегретого пара, оставаясь в дальнейшем при эксплуатации котла неизменными. Размер выходного окна наконечника горелки 380*420 – заужен и равен по площади сечения размеру выходного окна горелок верхнего яруса.

Для регулирования режима воспламенения пыли предусмотрен ввод сжатого воздуха 60 Кпа перед ПВП в пылепровод ПВК после его присоединительного фланца к горелке трубами $\Phi 76$ мм. Разводка сжатого воздуха осуществлена отдельными общими линиями из труб $\Phi 76$ мм от коллектора сжатого воздуха котла. Регулировка осуществляется изменением открытия клапана $\Phi 100$ отдельно для левой и правой стороны котла при наладке режима после реконструкции.

В связи с изложенными изменениями, конструкциями ПВП, как и их крепление в горелках, выполнены для верхнего и нижнего ярусов горелок.

Сбросы переносятся выше основных горелок, разводка экранных труб – позволяет.

Установка мазутных форсунок остается без изменений.

Расчет основных и сбросных вихревых горелок котла БКЗ-220-100

(реконструкция с подачей пыли высокой концентрации – ПВКд).

№	Наименование	Обозначение	Формула	Величина
---	--------------	-------------	---------	----------

ПП				
	1.1 исходные данные и выбор расчетных параметров			
1	Топливо	-	-	Экибастузский уголь
2	Начальная влажность топлива %	W^p	по заданию	8
3	Гигроскопическая влажность %	$W^{гu}$	-	2
4	Часовой расход топлива на котел т/час	B_k/B_p	-	28,1/27,5
5	Температура горячего воздуха, подаваемая на мельницу °С	t_{rv}	$t_{вп-10}$	349
6	Схема пылеприготовления	-	-	ШБМ с промбункером
7	Сушильный агент	-	-	Смесь горячего воздуха с рециркулирующим сушильным агентом
8	Конечная влажность пыли %	$W_{пл}$	-	1,6
9	Тонина помола %	R_{90}	-	18
10	Температура смеси за мельницей °С	t''_m	-	130
11	температура в конце установки °С	t_2	t''_m-10	120
12	Температура холодного воздуха °С	$t_{xв}$	-	30
13	Начальная температура	t_{mn}	-	0

	топлива °С			
14	Число оборотов мельницы об/мин	п	-	18,7
15	Коэффициент размолоспособности (по ВТЦ)	Кло	по заданию	1,89
16	Загрузка шаров т	Гш	-	18,6
17	1.2 Размольная производительность мельницы			
18	Тип мельницы		ШБМ	287/410
19	Число мельниц на котел шт	п	-	2
20	Производительность мельницы т/час	B_p^m	$K_3 * Z_k * B_k / Z_m$	15,455
21	размольная производительность по сырому углю т/час	B_p^m	$(0,11 * D_6 * \alpha_6 * \Pi_6 * \varphi_6 * K_{\text{ло}} * \Pi_{\text{вл}} e * K_{\text{вен}} * K_{\text{бр}} * K_{\text{эк}}) / (\Pi_{\text{др}} \sqrt{\ln 100 / R_{90}})$	20,111
22	Величина	$D_6 * \alpha_6 * \Pi_6$	-	538
23	Объем барабана м³	V_6	-	26,5
24	Насыпной удельный вес шаров т/м³	$\gamma_{\text{ш.нас}}$	-	4,9
25	Величина, характеризующая максимальную влажность	К	$1 + 1,07 W_p$	9,56
26	влажность топлива перед мельницей %	W'_m	$(W_1(100 - W_{\text{пл}}) - 100(W_1 - W_{\text{пл}})a) / ((100 - W_{\text{пл}}) - (W_1 - W_{\text{пл}})a)$	7,6
27	Средняя влажность топлива	$W_{\text{ср}}$	$(W'_m + 3W_{\text{пл}}) / 4$	3,1
28	Поправочный коэффициент, учитывающий влияние влажности на размолоспособнос	$\Pi_{\text{вп1}}$	$\sqrt{(K^2 - (W_{\text{ср}})^2) / (K^2 - (W^{\text{ту}})^2)}$	0,9674

	ть			
29	Коэффициент пересчета веса угля со средней влажностью на вес сырого угля	Пвп2	$(100-W_{cp})/(100-W_p)$	1,0533
30	Величина	$\sqrt{\ln(100/R_{90})}$	-	1,3095
31	Коэффициенты	Кбр	-	1
32		Квент	-	1
33		Кэк	-	0,9
34	Поправочный коэффициент	Пдр	-	1
35	Степень заполнения барабана шарами	ϕ_6	$G/(\gamma_{ш.нас} \cdot V \delta)$	0,1432
36	Величина	$\phi^{0,6}_6$	-	0,311
37	Мощность на валу двигателя кВт	$N_{в.дв}$	$(1/\eta) \cdot (0,122 \cdot D_3 \phi^6 \cdot \alpha \phi \cdot \Pi \phi \cdot \gamma_{ш.нас} \cdot \phi_6 \cdot 0,9 \cdot K_{бр} \cdot K_{тл} + 1,86 \cdot D_6 \cdot L_6 \cdot \Pi \phi \cdot S_6)$	256,9506
38	мощность, потребления из сети кВт	N_6	$N_{в.дв}/\eta_{эл}$	279,2942
39	Мощность электродвигателя, кВт	$N_{эл}$	$1,1 \cdot N_{в.дв}$	307,2236
40	Удельный расход энергии на размол, кВт*ч/т	Эразм	$(N_6 + N_{доп})/B_p^m$	19,0420
41	Расход вентилирующего агента через систему по условиям размола м³/час	$V_{м.в.отл}$	$((B_{mp} \cdot V_6)/(\Pi_6 \sqrt{D_6})) \cdot (1000 \cdot 3 \sqrt{K_{ло} + B_{mp} \cdot R_{90} \cdot \sqrt{K_{ло} 3} \cdot \sqrt{\phi_6}})$	35389,76

Расчет основных и сбросных горелок котла БКЗ-160-100
(реконструкция с подачей пыли высокой концентрации – ПВКд).

Таблица 1

№	Наименование, размерность	Обозначения	Способ определения, источник	$D_k=100\%$
	1	2	3	4
	1. Исходные данные			
1	Паропроизводительность котла, т/ч	D_k	задано	160
2	Топливо		задано	
3	Калорийность, ккал/кг	$Q_{рн}$	Задано	3987
4	Зольность, %	A_p	Задано	40
5	Влажность, %	W_p	задано	4,9
6	Теоретическое количество воздуха для горения, нм ³ /кг	V_o	По Пеккеру	3,8808
7	Расход топлива на котел:	B_k		28,1
8	полный, кг/с	B_p	Тепловой расчет	27,5
9	расчетный, кг/с			
10	температура горячего воздуха перед горелками, С	t_2	Тепловой расчет	320
11	Система пылеприготовления	с промбункером, ШБМ, сушка горячим воздухом		
12	Температура пылегазовоздушной смеси (сброс), 0С	T_1	Расчет пылесистемы	100
13	Избыток воздуха на выходе из топки	α_t	принято	1,2
14	Присос воздуха в топку	$\Delta\alpha_t$	Задано или замерено	0,04
15	Присос воздуха в пылесистему	$\Delta\alpha_{ппу}$	Из расчета пылесистемы	0,093
16	Доля воздуха на сушку	$\Delta\alpha_{суш}$	Из расчета пылесистемы	0,204
17	Расход аэросмеси за мельницей, м ³ /с	$V_{мв}$	Из расчета пылесистемы	9,83
18	Весовое количество сушильного агента, кг/кг	q_1	Из расчета пылесистемы	1,34
19	Доля рециркуляции сушильного агента (в долях	$\Gamma_{рец}$	Из расчета пылесистемы	0,34

	от СА)			
20	Сушильная производительность пылесистемы, кг/с	β_m	Из расчета пылесистемы	5,59
21	Весовое количество рециркулирующего агента, кг/с	$G_{рец}$		3,012
22	Расход сбросного агента на котел, м3/с (при t_1)	$Q_{сбр}$		19,661
23	Доля топлива в сбросе	$\Delta B_{сбр}$		0,15
24	Расход топлива на основные горелки кг/с	B_r		7,78
25	Доля воздуха на охлаждение сбросных горелок	$\Delta \alpha_{охл}$	задано	0,04
26	Количество и расположение основных горелок	n_r	задано	8
27	Доля воздуха на третичное дутье	$a_{тр}$	задано	0
2. Расчет основных горелок				
1	Доля горячего воздуха, поступающего в горелки	α_2		0,823
2	Расход горячего воздуха на котел, м3/с			86,886
3	Расход горячего воздуха на одну горелку, м3/с	$V_{2г}$		14,4811
4	Скорость пылевоздушной смеси в трубе ПВК, м/с	$W_{пвк}$	принимаем	12
5	Сечение трубы ПВК, м ²	$f_{пвк}$	принимаем	0,00342
6	Расход воздуха, подаваемого через систему ПВКд на одну горелку, м3/с	$V_{пвк}$		0,04103
7	Избыток воздуха в основных горелках на поданное топливо			0,952
8	Диаметр трубы для установки ПВК, м	d_o		133
9	Сечение канала для подачи центрального воздуха(без	$f_{ц}$		0,2016

	учета загрузки канала мазутной форсунки и запальником) м ²			
10	Скорость воздуха в центральном канале, м/с	$W_{ц}$	принимаем	10
11	Доля воздуха, подаваемая через центральную трубу,	$\alpha_{ц}$		22,32
12	Расход горячего воздуха на горелку, м ³ /с	$V_{гв}$		4,5
13	Ширина непроточного разрыва между центральным каналом и каналом вторичного воздуха (с учетом толщины стенки), м	a_p	принимаем	0
14	Скорость в канале вторичного воздуха, м/с	W_2	принимаем	22-24
3. Расчет сбросных горелок				
1	Объем расхода сбросного агента на одно сопло, м ³ /с	$V_{1сбр}$	Задано, расчет пылесистемы	4,9
2	Количество сбросных сопл, шт.	$n_{1сбр}$	принимаем	4
3	Избыток воздуха в сбросе	$a_{сбр}$		1,98
4	Скорость пылегазовоздушной смеси на выходе из сопел, м/с	$f_{сбр}$		35,3857
5	Диаметр сопла на выходе из топки, м	d_c		0,4

Определение сопротивления трассы и требуемого давления воздуха в смесителе для котлов БКЗ-160-100

Задача расчета состоит в том, чтобы для заданных производительности питателя, длины и диаметра пылепровода, скорости транспортирования

аэросмеси и концентрации в нем пыли определить сопротивление трассы и, следовательно, требуемое давление воздуха в смесителе. При этом расчет производим для самого длинного и сложного по конфигурации пылепровода.

Суммарный расход пыли на котел (т/ч) определяется по формуле:

$$В_{ПЛ} = В_{к} * (100 - W_p / 100 - W_{ПЛ}),$$

где $В_{к}$ - расход сырого топлива при номинальной паропроизводительности котла, $В_{к} = 28$ т/ч (из теплового расчета);

W_p - влажность угля на рабочую массу, $W_p = 4,9\%$;

$$В = 28 * (100 - 4,9 / 100 - 2,5) = 27,3 \text{ т/ч}$$

Суммарный расход пыли питателями (т/ч) за вычетом сброса пыли из циклона систем пылеприготовления определяется по формуле:

$$В_{ПП} = В_{ПЛ} - Z_m * В_m * (1 - \eta),$$

где Z_m - количество установленных мельниц у котла, $Z_m = 2$; $В_m$ - производительность мельниц, $В_m = 20$ т/ч; η - КПД циклона, $\eta = 0.92$ [7].

$$В_{ПП} = 27,3 - 2 * 20 * (1 - 0,92) = 24,1 \text{ т/ч}$$

Расчетная для пневмотранспортирования производительность питателя (т/ч) определяется по формуле:

$$В_{ПП} = C * (В_{ПП} / Z_{ПП})$$

где C - коэффициент, учитывающий необходимость иметь номинальную нагрузку котла при отключении части мельниц или питателей, принимается равным 1.1 [7]; $Z_{ПП}$ - количество питателей на котле. $Z_{ПП} = 8$ шт.

$$V_{пп}=1.1 \cdot (24,1/8)=3,0125 \text{ т/ч}$$

Исходя из расчетной производительности питателя по таблице 1 [1] принимаем внутренний диаметр транспортирующего трубопровода d равный 68 мм (трубопровод 76 х 4).

Приведенная длина трассы (м) определяется по формуле:

$$L_{пр} = L_g + (d/\lambda) \cdot \sum \xi$$

где L_g - действительная длина трассы пневмотранспортирования от смесителя до распылителя, $L_g = 35\text{м}$;

λ - коэффициент трения, $\lambda = 0.025$ [1]:

$\sum \xi$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений поворотов пылепровода при движении по ним чистого воздуха, $\sum \xi = 1.56$

$$L_{пр} = 30 + (0.064 / 0.025) \cdot 1.56 = 38,99 \text{ м}$$

Согласно протяженности и характера трассы принимаем расчетную скорость транспортирования $W_{тр} = 12 \text{ м/с}$ [7].

Полное сопротивление трассы складывается из сопротивления смесителя пыли, связанного с разгоном частиц; сопротивления трения трубопровода, отнесенная к приведенной длине его; сопротивления распылителя; сопротивления, обусловленного разницей уровней расположения смесителя (под питателем) и распылителя (в горелке).

$$P = \frac{L_b \cdot W_{тр}(W_{тр} - W_{п})}{K \cdot \mu + \mu \cdot j_v \cdot N_{ур}} + \frac{L_{пр}}{\mu + \lambda} \cdot x + \frac{j_v \cdot W_{тр}^2 \cdot K \cdot \mu}{j_v \cdot W_{тр}^2} + \xi \cdot \frac{j_v \cdot W_{тр}^2}{j_v \cdot W_{тр}^2}$$

кгс/м²

2g

d

2g

2g

где J_B - плотность транспортирующего воздуха, определенная при температуре t_B равной:

$$t_B = t_{пп} - 10^\circ C = 55 - 10 = 45^\circ C$$

$$j_B = 353 / (273 + t_B) = 353 / 318 = 1.11 \text{ кг/м}^3;$$

$t_{пп}$ - температура пыли поступающей из бункера, $55^\circ C$;

$W_{тр}$ - средняя скорость транспортирующего воздуха в трубопроводе. $W_{тр} = 12 \text{ м/с}$;

$W_{п}$ - скорость пыли в смесителе, обусловленная вертикальным движением пыли после выхода из питателя, $W_{п} = 4 \text{ м/с}$ [7];

d - внутренний диаметр пылепровода, $d = 0,068 \text{ м}$;

μ - концентрация пыли в транспортирующем воздухе, кг/кг ; .

$$\mu = 0.354 * (B_{пп} / W_{тр} * d^2 * j)$$

$$\mu = 0.354 (3,0125 / (12 * 0.068 * 0,068 * 1.11)) = 17,31 \text{ кг/кг}$$

$B_{пп}$ - расчетная производительность питателя, $6,22 \text{ т/ч}$;

λ - коэффициент трения, $\lambda = 0.025$ [7];

$L_{пр}$ - приведенная длина пылепровода, $L_{пр} = 38,99 \text{ м}$;

K - обобщенный коэффициент Гастерштадта, зависящий от концентрации пыли в транспортирующем воздухе и его средней скорости в трубопроводе и уточняющий влияние данных факторов на сопротивление трения и местное сопротивление. Принимается согласно графика [7] $K = 0.49$;

g - ускорение свободного падения, $g = 9.81 \text{ м/с}^2$;

4 - коэффициент сопротивления распылителя, отнесенный к скорости в трубопроводе $w_{тр}$, $\xi = 0,8$ [7];

$H_{ур}$ - расстояние по вертикали между уровнем установки смесителя и уровнем распылителя, $H_{ур} = 5\text{м}$.

$$P = \frac{1.11 \cdot 12(12-4)}{2 \cdot 9.81} + 0.025 \frac{38.99}{0.068} + \frac{1.11 \cdot 12^2 \cdot 0.49 \cdot 17.31}{2 \cdot 9.81} + 0.8 \frac{1.11 \cdot 12^2}{2 \cdot 9.81} - 0.49 \cdot 18 +$$

$$+ 18 \cdot 1.11 \cdot 5 = 97,76 + 1094,4 + 57,48 + 99,9 = 1349,5 \text{ кгс/м}^2$$

Полное давление (кгс/м^2), которое должно быть в смесителе, определяется по формуле:

$$P_c = P + P_r,$$

где P_r - давление первичного воздуха в горелке, в месте ввода в нее высококонцентрированной аэросмеси, $P_r = 15 \text{ кгс/м}^2$;

$$P_c = 1349,5 + 15 = 1364,5 \text{ кгс/м}^2.$$

Общий расход воздуха на транспортирование пыли (кг/ч) подсчитывается по формуле;

$$G_b = (W_{тр} \cdot \Pi \cdot d^2 \cdot j_v \cdot Z_{пп} \cdot 3600) / 4$$

$$G_b = (12 \cdot 3,14 \cdot 0.068^2 \cdot 1,11 \cdot 8 \cdot 3600) / 4 = 1392,5 \text{ кг/ч}$$

$$V_b = G_b / j_v = 1409,6 / 1.11 = 1254,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

На основании проведенного расчета принимаем к установке две воздуходувки ТВ-80-1,4 (рабочая и резервная). Характеристики выбранных воздуходувок приведены в таблице. При проведении реконструкции на всех трех котлах БКЗ-160-100 достаточно будет двух воздуходувок ТВ-80-1,4 (рабочая и резервная)

Таблица

Тип воздуходувки	f м3/ч	P, кгс/м2	п, об/мин	N, кВт
ТВ-80-1,4	5000	4000	3000	100

Сущность реконструкции системы подачи пыли высокой концентрации котлов Степногорской ТЭЦ

При выполнении проекта было учтено условие минимальных затрат с учетом накопленного опыта сжигания углей разных марок и различных топочных устройств.

Источником сжатого воздуха для систем ПВК котлов определены работающие на общий коллектор сжатого воздуха воздуходувки типа ТВ-80-1,6. При этом даже одна работающая воздуходувка зачастую входит в режим «помпажа», так как расходного воздуха оказывается мало для её оптимального рабочего диапазона и необходим сброс части воздуха в атмосферу.

Увеличение количества котлов, переведенных на ПВК, увеличивает мощность, зависящую от работы одной воздуходувки, когда внезапное её отключение даже при запуске резервной по блокировке приводит хотя и к кратковременной, но глубокой посадке – ниже 0,1 ати (1000 кг/м^2) давления в коллекторе, так как разворот резервной длится 18-28 секунд и не исключает кратковременной посадки давления ниже указанной величины. Поэтому, в соответствии с проектом предусмотрено подключение двух турбовоздуховок типа к общему коллектору. Задействование воздуходувок позволит иметь в работе две воздуходувки во время максимума нагрузки и исключить риск посадки давления при внезапном отключении одной из них и запуске резервной.

Сброса запыленного воздуха пылесистем предусмотрен выше горелок. При этом останов пылесистемы позволяет осуществлять останов и мельничного вентилятора, что снижает расход электроэнергии на пылеприготовление. Кроме того при этом происходит ступенчатость горения, характерной при подаче сброса выше основных горелок, как это выполняется обычно при переводе на ПВК. Но независимый от сбросного воздуха пылесистем режим подачи пыли с помощью системы ПВК позволил сконцентрировать ввод пыли в топку по центру горелки с установкой пылевыводящего патрубка, являющегося основным элементом малотоксичной горелки. Он предусматривает изменение формы потока из стержневой в цилиндрическую, частичный подогрев пыли рециркулирующими в полость патрубка газами из топки, начало воспламенения пыли и подачу её в топку в виде проточной цилиндрической струи. Термическая обработка пыли в пылевыводящем

патрубке, частичное воспламенение пыли в условиях практического отсутствия кислорода в нём, образование и подсос в патрубок инертных газов способствуют растягиванию процесса воспламенения и устранению скачка температур, что обуславливает снижение образования оксидов азота в самом начале развития факела.

В связи с необходимостью размещения мазутных форсунок в центральной трубе горелки пылевыдающий патрубок смещен относительно оси нижних горелок вверх, а верхних вниз на 40 мм. Для обеспечения первоначального воспламенения пыли и мазута в центральный канал горелок подведен воздух. Горелки устанавливаются горизонтально с существующими углами поворота в плане с сохранением прежних отметок. На каждом углу топki устанавливается двойная горелка – 2 горелки, скомпонованные в одном воздушном коробе, разделенным листом на верхнюю и нижнюю для верхнего и нижнего яруса, как и ранее. Каждая из этих половин представляет отдельную самостоятельную горелку с заведённым в нее пылепроводом ПВК и пылевыдающим патрубком – ПВП.

Горелка верхнего яруса представляет из себя прямоугольный короб горячего воздуха размером 480*420 мм с помещением в нем ПВП с диаметром открытой в сторону топki полости $\Phi 159$ мм (уменьшение диаметра позволит отодвинуть возгорание от горелок). Ось ПВП совпадает с осью сопла прямоугольного короба вторичного воздуха. В выходном сечении размер окна наконечника горелки – 380*420 – уменьшен по горизонтали за счет сужающихся боковых пластин наконечника (в целях увеличения скорости до 22-25 м/с и снижения сепарации пыли). Тракт первичной аэросмеси выполнен горизонтально.

Ввод пылепровода пыли высокой концентрации (ПВК) в нижнюю горелку осуществлен через шарнир, позволяющий устанавливать отклонение оси пылевыдающего патрубка (ПВП) от оси горелки в вертикальной плоскости на $\pm 7^\circ$. Для осуществления поворота ПВП выполнен специальный механизм поворота с внешним рычагом, выведенным на площадку обслуживания (отм. 9,3 м). Величина поворота и место положения рычага фиксируются на секторе поворота по месту и задаются при наладке режима горения котла и уровня перегретого пара, оставаясь в дальнейшем при эксплуатации котла неизменными. Размер выходного окна наконечника горелки 380*420 – заужен и равен по площади сечения размеру выходного окна горелок верхнего яруса.

Для регулирования режима воспламенения пыли предусмотрен ввод сжатого воздуха 60 Кпа перед ПВП в пылепровод ПВК после его присоединительного фланца к горелке трубами $\Phi 76$ мм. Разводка сжатого

воздуха осуществлена отдельными общими линиями из труб ф76 мм от коллектора сжатого воздуха котла. Регулировка осуществляется изменением открытия клапана ф_y100 отдельно для левой и правой стороны котла при наладке режима после реконструкции.

В связи с изложенными изменениями, конструкциями ПВП, как и их крепление в горелках, выполнены для верхнего и нижнего ярусов горелок.

Сбросы переносятся выше основных горелок, разводка экранных труб – позволяет.

Установка мазутных форсунок остается без изменений.

Трубы должны быть изолированы материалом, примененным для изоляции подводящего вторичный воздух короба. В центральной трубе верхних горелок при их изготовлении необходима установка трубы для мазутной форсунки с внутренним диаметром 70 мм (при диаметре головки форсунки 60 мм).

Технологическая схема ПВК показана на чертеже. Система ПВК по сжатому воздуху включает в себя воздуходувки, общий коллектор сжатого воздуха, быстродействующий клапан на подводе воздуха к коллектору котла Д219, трубы подвода воздуха Д57 от коллектора котла к смесителю через запорный вентиль-клапан Ду-50 и сопло. Пылевой тракт включает пылепитатели типа УЛПП-1, камеры смешения воздуха с пылью (смесители), пылепроводы от смесителей до горелок, пылевыдающие патрубки, вмонтированные в центр горелок. Течки пылепитателей попарно соединены в рядах через одну общую течку и конус с напорным стояком-стабилизатором, подключенным к камере смешения. Стояк и конус выполнены из нержавеющей стали, исключающего коррозию и обеспечивающего постоянство напорных характеристик.

Воздух, забираемый из помещения котельной турбовоздуходувками типа ТВ-80-1,6, при сжатии может нагреваться на 40-50 градусов. Смешиваясь в смесителе с пылью, транспортирующий пыль воздух приобретает температуру, близкую к температуре пыли – 70-80°.

Предусмотренное проектом подключение двух дополнительных и уже установленных на фундаментах воздуходувок значительно повышает надежность обеспечения давления сжатого воздуха в общем коллекторе при работе двух воздуходувок. При этом одна остаётся в автоматическом резерве с открытой задвижкой на напоре (утечка воздуха предотвращается обратным клапаном). Четвертая воздуходувка может находиться в ремонте. Электрификация задвижек на напоре дополнительно подключаемых воздуходувок проектом не предусмотрена по соображениям не только экономичности, но и надежности, поскольку при исправных обратных

клапанах необходимость закрытия напорных задвижек отсутствует. Это упрощает эксплуатацию системы коллекторов сжатого воздуха и воздуходувок. И при колебаниях давления в общем коллекторе по различным причинам задача будет сведена к его восстановлению.

По этим же причинам концепция введения в тепловую защиту сигнала на полный останов котла из-за проблем с давлением воздуха в коллекторе, как показал опыт, должна быть пересмотрена и сужена до необходимости перевода котла на растопочную нагрузку в случае посадки давления менее $0,1 \text{ кг/м}^2$ (10 кПа) с включением мазутных форсунок.

Выполненная по настоящему проекту система ПВК рассчитана на обеспечение: а)- без пульсационного режима подачи пыли в топку котла; б)- расчетного пропуска пыли и возможность его регулирования.

Выполнение задачи «б)» проверено общепринятой методикой расчета системы ПВК. Общепринятых же методов расчета безпульсационного режима не существует. По мере убывания значимости параметра, вызывающего пульсацию можно составить следующий ряд:

1. диаметр пылепровода,
2. длина пылепровода,
3. скорость в пылепроводе,
4. давление перед соплом,
5. параметры сыпучести пыли,
6. Зольность пыли,
7. влажность пыли,
8. чистота канала пылепровода, плавность изменения его направления и наличие поворотов вверх.

Пункты 2-4 оптимально заданы проектом. Пункт 1 выбран из условий обеспечения задачи б). П. 8 определяется компоновкой и качеством монтажа.

Для возможности первичной наладки горения и снижения возможной пульсации установка сопел в смесителе выполнена съёмной с резьбовым втулочным креплением. В зависимости от уровня пульсации могут быть применены сопла от 17 до 22 мм. Расчет системы ПВК произведен для диаметра сопел 20 и 22 мм. Согласно расчета, величина сопла 22 мм является

максимальной по условиям обеспечения заданной производительности по пыли 5 т/ч. Для применения выбран диаметр сопла 21 мм. В процессе наладки требуется уточнение и, при возможности (при отсутствии пульсации в пылепроводе), изготовление и замену сопла на сопло меньшего диаметра.

Как и в ранее примененных конструкциях, для замера давления в смесителе применена продуваемая шунтовая трубка. Однако, вместо диафрагмы ограничителем скорости в трубке играет отверстие в стенке трубы, подводящей сжатый воздух к смесителю и шунтовой трубке, диаметром 4 мм. Для визуального контроля за чистотой отверстия, напротив него (по диаметру) выполнено отверстие большего диаметра с болтом-пробкой.

Конец шунтовой трубки и ввод воздуха из неё в пылепровод выполнены через специальный штуцер. После его приварки к стенке смесителя отверстие в нём и стенке выполняются по месту сверлом за один проход. Поскольку скорость воздуха через это отверстие близка к 30 м/с штуцер устанавливается под углом 45° для уменьшения торможения основного потока в смесителе. Давление в импульсной линии за счет некоторого сопротивления штуцера выше истинного в смесителе. Величина этого превышения может быть точно измерена при испытании.

Монтаж системы подачи пыли высокой концентрации

Для "внедрения системы подачи пыли высокой концентрации необходимо смонтировать вертикальный пылепровод диаметром 82мм и высотой 5м на участке питатель-смеситель.

От смесителя пыли к горелочному устройству необходимо провести транспортный пылепровод диаметром. 76х4мм. Колена пылепровода выполняются из этой же трубы путемгиба ее радиусом не менее 1 м. Транспортный пылепровод после смесителя не должен иметь изгибов на длине 10...12м.

Вертикальный пылепровод выполняют из гладкой нержавеющей трубы.

В смесителе конец сопла должен быть на границе оси вертикального пылепровода.

Сопло необходимо выполнять с установкой строго по оси транспортной трубы. Для этой цели необходимо фланец крепления сопловой коробки приваривать к трубе, имеющей заводской торец с гарантированной строгой его перпендикулярностью к оси.

Подвод воздуха рекомендуется выполнять трубой внутренним диаметром 50 мм с установкой вентиля $D_v=50$ мм. Это обеспечивает подачу сжатого воздуха к соплу при сохранении почти всего запаса энергии давления 40 кПа.

Транспортный пылепровод после смесителя по возможности не должен иметь изгибов на длине 10...12 м. На этом участке происходит интенсивное перемешивание пыли с воздухом, т.е. помимо поступательного движения частицы пыли, подхватываемые струей воздуха, истекающей со скоростью до 200 м/с из сопла, приобретают энергию вращения и колебательного движения, что при наличии изгиба пылепровода приводит к интенсивному износу. По мере перемешивания высоко концентрированный поток приобретает более однородную скоростную структуру и в последующем интенсивного износа стенок трубы на изгибах не происходит.

На выходе из пылепровода расстояние до рассекателя должно быть достаточным, не менее 60 мм.

Необходимо иметь минимальное количество гибов. Радиусгиба должен быть не менее 1м.

Максимальная длина транспортного пылепровода не должна превышать 35...40 м при наличии на нем гибов с суммарным углом поворота не более 160°.

От смесителя пыли к горелочному устройству необходимо провести транспортный пылепровод диаметром 76*4 мм. Колена пылепровода выполняются из этой же трубы путемгиба ее радиусом не менее 1 м. Транспортный пылепровод после смесителя не должен иметь изгибов на длине 10...12м.

Существующие основные горелки демонстрируются полностью в пределах их присоединительных фланцев к коробам подвода вторичного воздуха 600х650.

В корпус предлагаемой горелки необходимо завести пылепровод $d=76$ мм подачи высококонцентрированной пыли с рассекателем, установленным на выходе из горелки. Рассекатель монтируется на расстоянии не менее 60 мм от трубы.

В качестве транспортирующего агента в рассматриваемой схеме подачи пыли высокой концентрации применяется сжатый воздух давлением до 40 кПа, нагнетаемый воздуходувкой ТВ-80-1,4. Для обеспечения высокой надежности при монтаже необходимо предусмотреть две воздуходувки, одна резервная.

**Оценка воздействия модернизированной системы пылеподачи
котлов БКЗ-160-100 Степногорской ТЭЦ
ТОО «Степногорская ТЭЦ»**

Реконструкция пылеподачи с внедрением системы ПВК с применением малотоксичных горелок по настоящему проекту снижает негативное влияние на окружающую среду и здоровья населения г. Степногорска и прилегающих районов за счет снижения на 20-40% выбросов оксидов азота в атмосферу. Это достигается за счет осуществления новой технологии сжигания пыли в концентрированном потоке, позволяющей изменить параметры воспламенения пылеугольного факела на выходе из горелки таким образом, что образование оксидов азота существенно уменьшается. Таким образом, достигается снижение вредных выбросов технологическим путем без устройства каких-либо специальных дорогостоящих установок, например, систем каталитического (СКВ) или некаталитического (СНКВ) восстановления оксидов азота, применяемых за рубежом, когда другие известные способы исчерпаны.

Применяя пылепроводы диаметром 70-90 мм вместо диаметра 377-426 мм, система ПВК не только снижает металлоёмкость, но и уменьшает:

- потери тепла в окружающую среду в рабочей зоне обслуживания ;
- расход электроэнергии на транспорт пыли от бункера к горелкам с 3 до 0,5 кВт /т;
- износ пылепроводов и ремонтные затраты на их восстановление;
- исключает возможные случаи сгорания пылепроводов большого диаметра при сжигании непроектных углей.

Применение малотоксичной горелки кроме того позволяет:

- уменьшить обгорание горелок и затраты на их восстановление;
- не допустить шлакования нижней части топки котла.

Существующая схема контроля природоохранной деятельности станции, состояние природоохранного оборудования станции позволяет эффективно эксплуатировать модернизируемое оборудование без возникновения негативных дополнительных явлений. Поэтому внедрение системы ПВК является перспективным и первостепенным экологическим мероприятием.

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОТЛА

на Экибастузском угле

БКЗ 160-100

D_{ном}= 160. т/ч D= 100. %

Топливо - Экибаст. уголь			Доля - 1,000			Доля - ,000			
Избыток воздуха			1,200	1,225	1,225	1,260	1,295	1,330	1,365
Расход газов (относит)			1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Объем газов, нм ³ /кг			6,450	6,580	6,700	6,750	6,920	7,100	7,270
Доля трехатомных газов			0,145	0,142	0,139	0,138	0,135	0,131	0,128
Доля водяных паров			0,107	0,105	0,103	0,103	0,101	0,098	0,097
Суммарная доля			0,251	0,247	0,243	0,241	0,235	0,230	0,225
Концентрация золы, кг/кг			0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,014
температу	Теплосодержание								
	газов	воздуха							
2100	4781	3761,5	5533,1 291,8	5627,1 296,5	5721,1 301,3	5758,7 303,2	5890,4 309,9	6022,0 316,5	6153,6 323,2
2000	4527,3	3570,9	5241,3 291,5	5330,6 296,3	5419,8 301,1	5455,5 303	5580,5 309,7	5705,5 316,4	5830,4 323,2
1900	4274,2	3378,8	4949,8 290,7	5034,3 295,5	5118,8 300,4	5152,5 302,3	5270,8 309,1	5389,0 315,8	5507,2 322,6
1800	4022,1	3185,8	4659,1 289,5	4738,8 294,3	4818,4 299,2	4850,2 301,1	4961,7 307,9	5073,2 314,6	5184,7 321,4
1700	3771,2	2992,5	4369,6 287,8	4444,4 292,7	4519,2 297,5	4549,1 299,4	4653,9 306,2	4758,6 312,9	4863,3 319,7
1600	3522	2799,4	4081,8 285,7	4151,8 290,5	4221,8 295,3	4249,7 297,3	4347,7 304	4445,7 310,7	4543,6 317,5

1500	3274,7	2607	3796,1 283,2	3861,2 288	3926,4 292,8	3952,5 294,7	4043,7 301,4	4134,9 308,1	4226,2 314,7
1400	3029,8	2415,7	3512,9 280,3	3573,3 285	3633,6 289,8	3657,8 291,7	3742,3 298,3	3826,9 304,9	3911,4 311,6
1300	2787,4	2226,1	3232,6 277	3288,2 281,7	3343,9 286,4	3366,1 288,3	3444,0 294,8	3521,9 301,4	3599,8 308
1200	2547,9	2038,3	2955,6 273,4	3006,5 278	3057,5 282,6	3077,8 284,5	3149,2 291	3220,5 297,5	3291,9 304
1100	2311,6	1852,8	2682,2 269,4	2728,5 274	2774,8 278,5	2793,3 280,4	2858,2 286,8	2923,0 293,2	2987,9 299,6
1000	2078,8	1669,8	2412,8 265,1	2454,5 269,6	2496,3 274,1	2513,0 275,9	2571,4 282,2	2629,9 288,5	2688,3 294,8
900	1849,8	1489,5	2147,7 260,5	2184,9 264,9	2222,2 296,4	2237,1 271,1	2289,2 277,3	2341,3 283,5	2393,5 289,8
800	1624,8	1312	1887,2 255,6	1920 259,9	1952,8 264,3	1965,9 266,1	2011,9 272,2	2057,8 278,3	2103,7 284,4
700	1404,1	1137,6	1631,6 250,4	1660,1 254,7	1688,5 259	1699,9 260,7	1739,7 266,7	1779,5 272,7	1819,3 278,7
600	1188	966,2	1381,2 245	1405,4 249,2	1429,5 253,4	1439,2 255,1	1473,0 261	1506,8 266,9	1540,6 272,8
500	976,7	797,8	1136,2 239,4	1156,2 243,5	1176,1 247,6	1184,1 249,3	1212,0 255,1	1239,9 260,8	1267,9 266,6
400	770,4	632,6	896,9 233,5	912,7 237,5	928,5 241,6	934,8 243,2	957,0 248,9	979,1 254,6	1001,2 260,3

300	569,3	470,3	663,4 227,4	675,1 231,4	686,9 235,4	691,6 237	708,1 242,6	724,5 248,1	741,0 253,7
200	373,8	310,9	436 221,2	443,7 225,1	451,5 229	454,6 230,6	465,5 236,1	476,4 241,5	487,2 247
100	183,9	154,2	214,8	218,6	222,5	224	229,4	234,8	240,2

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОТЛА

БКЗ 160-100

Дном= 160 т/ч D= 100 %

Газовый тракт

Номер имя	Имя элемента	Номер сопр	Параметры теплоносителя по тракту										Темпер сопряж теплоносит, град	
			Расход нм3/с	Скорость		Теплосъем ккал/кг	Давлен кгс/см2	Перепад кгс/см2	Энтальпия ккал/кг	Перепад ккал/кг		Темпер град	на входе	на вых
1	вход 1						1,00					1875		
2	воздух	212	52,4			490,5	1,00		4523,08	492,34		1880		
3	воздух	207	54,1			39,1	1,00		5015,42	39,3		2062		
4	пуст		56,2				1,00		5054,72			1936		
5	топка		56,2			-2147,9	1,00		5054,72	-2156,14		1936		
6	гх шпп		56,2	4,7	0,9	-222,3	1,00		2898,58	-223,17		1179		
7	отв тр		56,2	5,8	1,2	-42,4	1,00		2675,41	-42,54		1098		
8	присос		56,2			1,1	1,00		2632,86	1,15		1082		
9	гх пп 3		58,1	8,7	1,9	-625,7	1,00		2634,01	-628		1066		
10	гх пп 4		58,1	8,8	2,3	-194,2	1,00		2005,94	-194,91		833		
11	гх пп 1		58,1	9,7	2,8	-385,1	1,00		1811,04	-386,62		758		
12	присос		58,1			1,1	1,00		1424,42	1,15		608		
13	гх пк		58,6	4,8	1,5	-12	1,00		1425,57	-12,05		598		
14	присос		58,6			0,5	1,00		1413,53	0,46		594		
15	гх эк 2		59,4	6,7	2,4	-440,8	1,00		1413,99	-442,44		590		
16	присос		59,4			0,5	1,00		971,55	0,46		415		
17	переток	210	59,8			12,9	1,00		972,01	12,91		412		
18	твп 2		59,8	11,7	4,9	-166,5	1,00		984,92	-167,17		411		
19	переток	208	62,4			8,9	1,00		817,75	8,93		344		
20	присос		62,4			0,5	1,00		826,68	0,46		343		
21	гх эк 1		62,4	7,6	3,6	-154,6	1,00		827,14	-155,23		341		

22	присос		62,4			0,5	1,00		671,91	0,46		279		
23	переток	206	62,4			8,9	1,00		672,37	8,93		277		
24	твп 1		62,6	9,6	5,4	-338,1	1,00		681,3	-339,37		277		
25	переток	204	65,2			1,9	1,00		341,93	1,92		142		
26	пуст		65,2				1,00		343,84			140		
27	пуст		65,2				1,00		343,84			140		
28	пуст		65,2				1,00		343,84			140		
29	пуст		65,2				1,00		343,84			140		
30	выход 2		65,2			-342,5	1,00		343,84			140		

Пароводяной тракт

Номер имя	Имя элемента	Номер сопр	Параметры теплоносителя по тракту										Темпер сопряж теплоносит, град	
			Расход, нм3/с	Скорость		Теплосъем, ккал/кг	Давлен кгс/см2	Перепад кгс/см2	Энтальпия ккал/кг	Перепад , ккал/кг	Н/п грев % кипен	Темпер град	на входе	на вых
				м/с	кг/м2.с									
101	вход 3						161,5					230		
102	эк 1	21	44,4	0,6	507,2	154,6	161,5	-3	237,03	21,54	-131,4	230	341	279
103	конд		44,4			202,2	158,5		258,57	28,17		249		
104	эк 2	15	44,4	0,9	665	440,8	158,5	-3	286,74	61,4	-39,1	274	590	415
105	рукав	129	44,4			21174,4	155,5		348,15	68,24		320		
106	барабан		1560			-19263,2	155,5		416,39	204,17		343		
107	конд	103	320			-537,7	155,5		620,56			343		
108	пот топ	5	38,6	5,7	573,9	86,2	155,5	-0,3	620,56	13,81	12,7	343	1936	1179
109	пот шпп	6	38,6	6,3	573,9	21,8	155,2	-0,3	634,37	3,5	16	349	1179	1098

110	ПОТ КП3	9	38,6	6,4	573,9	11,6	154,9	-0,3	637,86	1,86	17,7	350	1066	833
111	ПОТ КП4	10	38,6	6,4	573,9	8,3	154,6	-0,3	639,73	1,33	18,8	350	833	758
112	ПОТ КП1	11	38,6	6,5	573,9	6,1	154,3	-0,3	641,06	0,98	19,6	351	758	608
113	ПОТ ПК	13	38,6	6,5	573,9	12	154	-0,5	642,03	1,92	21,2	351	598	594
114	КПП 1	11	38,6	7,7	573,9	379,1	153,5	-2	643,95	60,74	80,6	351	758	608
115	ШПП 1	6	38,6	16,9	1027	180,9	151,5	-2	704,7	28,99	108,3	393	1179	1098
116	ВПр 1	103	38,6			308	149,5		733,68	-39,17		423		
117	ШПП 2	6	43,2	27,2	1739,1	123	149,5	-2	694,52	17,48	85,3	382	1179	1098
118	КПП 3	9	43,2	18,6	943,2	676,7	147,5	-3,5	712	96,18	179,3	398	1066	833
119	ВПр 2	103	43,2			27,5	144		808,18	-4,21		522		
120	КПП 4	10	44,4	20,7	854,7	185,9	144	-4	803,97	26,15	198,4	516	833	758
121	ВЫХОД 4		44,4			-5899,5	140		830,13			555		
122	пуст		1240				155,5		387,22			345		
123	продувка	130	1240			-27,5	155,5		387,22			345		
124	экраны	5	1236,8	1,3	776,7	1863	155,5	-0,07	387,22	37,5	16	345	1936	1179
125	отв тр	7	1236,8	2,3	776,7	45,6	155,43		424,72	0,92	16,4	343	1098	1082
126	исп шрм	6	1236,8	2,4	776,7	29,5	155,43		425,64	0,59	16,7	343	1179	1098
127	пуст		1236,8				155,42		426,24			343		
128	пуст		1236,8				155,42		426,24			343		
129	кон рук	105	1236,8			-21173,8	155,42		426,24			343		
130	ВЫХОД 5		3,2			-27,5	155,5		387,22			345		

Воздушный тракт

Номер имя	Имя элемента	Номер сопр	Параметры теплоносителя по тракту										Темпер сопряж теплоносит, град	
			Расход, нм3/с	Скорость		Теплосъем, ккал/кг	Давлен кгс/см2	Перепад кгс/см2	Энтальпия ккал/кг	Перепад , ккал/кг		Темпер град	на входе	на вых
				м/с	кг/м2.с									
201	вход 6											30		
202	пуст		40,2						46,01			30	341	279
203	гор взд	211	40,2			41,3			46,01	30,6		50		
204	переток	25	42,4			-1,9			76,61			50		
205	твп 1	24	40,6	4,7	3,1	338,1			76,61	280,56		229	277	142
206	переток	23	40,6			-8,9			357,17			229		
207	отбор	3	39,4			-39,3			357,17			229		
208	переток	19	38,6			-8,9			357,17			229		
209	твп 2	18	38,2	5,9	2,9	166,5			357,17	159,36		229	411	344
210	переток	17	38,2			-12,9			516,53			329		
211	отбор	203	36,9			-41,3			516,53			329		
212	выход 7		35,6			-485,5			516,53			329		

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОТЛА на Экибастузском угле

БКЗ 160-100

D_{ном}= 160. т/ч D= 100. %

данные по топливу

Экибаст. уголь

Теплов ая доля	Потери с недожогом %		Температура град		Диам. золов. частиц мкм	Низшая теплота сгор. ккал/кг	Состав топлива %							Доля уноса	Углеки сл. карб.	Коэф. разл. карб	Расход форс. пара кг/кг
	Хим.	Мех.	Топл.	Шлака			Влага	Зола	Сера	Угле-род	Водород	Азот	Кислород				
1,00	1,000	1,000	0	600	13	3987	4,9	40	0,52	49,82	3,11	0,86	11,91	0,95	0,00	0,00	0,00

выходные и выходные параметры по трактам

Наименование тракта	Параметры рабочей среды на входе в тракт				Параметры рабочей среды на выходе из тракта			
	Расход, нм3/с т/ч	Энтальпия, ккал/кг	Давление, кгс/см2	Температура град	Расход, нм3/с т/ч	Энтальпия, ккал/кг	Давле ние, кгс/см 2	Темпер атура град
Газовый тракт	52,4	4523,1	1	1875	62,496	323,8	1	140
Пароводяной тракт	160	237	161,5	230	160	830,1	100	555
Воздушный тракт	40,2	46	1	30	58,226	516,5	1	329

Тепловой баланс и расход топлива

Потери тепла, % :	
с уход газами	6,131
с хим недожогом	
с мех недожогом	1,000
в окр среду	0,400
с теплом шлаков	0,020
неучтенные	
КПД котла	92,448
Расход топлива, т/ч (тнм3/ч)	

Общие данные и результаты

Объемы, нм3/кг	
воздуха	4,87
трехатомных газов	0,93
азота	3,86
водяных паров	0,67
Масса золы, кг/кг	1,30E-1
Влажность воздуха,	
т/нм3	10
Теплота сгор смеси,	
ккал/кг	3987
Тепло форсун пара	

Данные и результаты по топке

Объем топки, м3	419
Эф толщина излучающего слоя, м	6
Коэф усреднения	1
Тепловосприятие газового окна, ккал/кг	98,7
Давление в топке, кгс/см2	1
Коэф избытка воздуха в конце топки	1,2
Теплонапряжение объема, мкал/м3.ч	136,3
Теплонапряжение сечения, мкал/м2.ч	2556,1
Ср тепл нагрузка эф поверх , мкал/м2.ч	109,11

полный	28
расчетный	27,78
Расход газа на 1 кг топлива, нм3/кг	
Общее тепло, гкал/ч	97,8

Теплота разлож карб	
Теплосод топлива	
Тепло подогрева в калор	
Располагаемое тепло топл	3987
Параметр кокс частиц	0,05
Присосы в топке	0,05
Присосы в пылесистеме	0,1
Коэф сохранения тепла	0,996

Полезное тепловыделение, ккал/кг	5054,7
Тепловосприятие топки	2147,9
Адиабатическая температура, град	1936
Темп газов на выходе из топки, град	1179

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОТЛА

БКЗ 160-100-2

Д_{НОМ}= 160 т/ч D= 100 %

Номер элемента			10/120	11/112	11/114	13/113	15/104	18/209	21/102	24/205
Имя пакета			кпп 4	пот кп1	кпп 1	пот ПК	эк 2	твп 2	эк 1	твп 1
Конструктивные характеристики										
1	Тип пучка		Коридор	Дополн.	Коридор	Настен.	Шахмат.	Шахмат.	Шахмат.	Шахмат.
2	Характер тока		Против.	Прямот.	Против.	Прямот.	против	Одно-х	против	Трех-х
3	Материал		12Х1МФ	ст.20	ст.20	ст.20	ст.20	ст.20	ст.20	ст.20
5	Наружный диаметр трубы	мм	32	32	32	32	32	40	32	40
6	Толщина стенки трубы	мм	5,5	4	4	4	3,5	1,5	3,5	1,5
7	Живые сечения греющ.	м2	36,5	29,6	29,6	55,6	35,6	17,7	24,8	16,7
8	для прохода т/н обогр.	м2	0,104	0,136	0,136	0,136	0,135	22	0,177	24,1
9	Поперечный шаг	мм	80		80		75	60	75	60
10	Продольный шаг	мм	86		64		55	42	46	42
11	Число рядов труб		8		22		24	41	32	41
12	Длина трубы	м	19,1	1,5	35,8	5	73,8		49,2	
13	Перепад давления		-4	-0,3	-2	-0,5	-3		-3	

Параметры греющего теплоносителя										
14	Доля трехатомных газов		0,142	0,142	0,142	0,139	0,138	0,135	0,131	0,128
15	Доля водяных паров		0,105	0,105	0,105	0,103	0,103	0,101	0,098	0,097
16	Объем газов	нм3/кг т	6,578	6,578	6,578	6,7018	6,7513	6,9246	7,098	7,2713
17	Концентрация золы	кг/кг	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,014
18	Относительный расход		1	1	1	1	1	1	1	1
19	Избыток воздуха		1,225	1,225	1,225	1,25	1,26	1,295	1,33	1,365
20	Эф толщина изл слоя	м	0,218	0,155	0,155	3,35	0,119	0,033	0,095	0,033
21	Линейная скорость	м/с	8,8	9,7	9,7	4,8	6,7	11,7	7,6	9,6
22	Тепло-по балансу	ккал/кг	185,9	6,1	379,1	12	440,8	166,5	154,6	338,1
23	Восприятие из топки									
24	Энтальпия на входе	ккал/кг	2005,9	1811	1811	1425,6	1414	984,9	827,1	681,3
25	Энтальпия на выходе		1811	1424,4	1424,4	1413,5	971,5	817,7	671,9	341,9
26	Энтальпия приращение		-194,9	-386,6	-386,6	-12	-442,4	-167,2	-155,2	-339,4
27	Температура на входе	град	833	758	758	598	590	411	341	277
28	Температура на выходе		758	608	608	594	415	344	279	142

Параметры обогреваемого теплоносителя										
29	Относительный расход		1	0,878	0,878	0,878	1,01	1,045	1,01	1,205
30	Весовая скорость	кг/м2. с	854,7	573,9	573,9	573,9	665	2,9	507,2	3,1
31	Линейная скорость	м/с	20,7	6,5	7,7	6,5	0,9	5,9	0,6	4,7
32	Энтальпия на выходе	ккал/кг	804	641,1	644	642	286,7	357,2	237	76,6
33	Энтальпия на входе		830,1	642	704,7	644	348,1	516,5	258,6	357,2
34	Энтальпия приращение		26,2	1	60,7	1,9	61,4	159,4	21,5	280,6
35	Температура на входе	град	516	351	351	351	274	229	230	50
36	Температура на выходе		555	351	393	351	320	329	249	229

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОТЛА

БКЗ 160-100

D_{ном}= 160 т/ч D= 100 %

Номер элемента			5/108	5/124	6/109	6/115	6/117	6/126	7/125	9/110	9/118	10/111						
Имя пакета			пот	топ	экраны	пот	шпп	шпп 1	шпп 2	исп	шрм	отв	тр	пот	кпз	кпп 3	пот	кп 4
Конструктивные характеристики																		
1	Тип пучка			Радиац.	Радиац.	Дополн.	Коридор	Коридор	Дополн.	Коридор	Дополн.	Коридор	Дополн.					
2	Характер тока					Прямот.	Прямот.	Прямот.	Прямот.	Одно-х	Прямот.	Против.	Прямот.					
3	Материал			ст.20	ст.20	ст.20	12Х1МФ	12Х1МФ	ст.20	ст.20	ст.20	12Х1МФ	ст.20					
4	Поверхность нагрева		м2	51	735	20,1	176	117	27,3	46,8	14,6	980	15,2					
5	Наружный диаметр трубы		мм	32	60	32	32	32	60	133	32	32	32					
6	Толщина стенки трубы		мм	4	6	4	4	4	6	13	4	4	4					
7	Живые сечения греющ.		м2	80,5	80,5	89,4	89,4	89,4	89,4	69,8	42,3	42,3	36,5					
8	для прохода т/н обогр.		м2	0,136	0,8	0,136	0,076	0,051	0,8	0,8	0,136	0,093	0,136					
9	Поперечный шаг		мм				575	575		750		80						
10	Продольный шаг		мм				38	38		133		59						
11	Число рядов труб						28	28		1		12						
12	Длина трубы		м	4,9	26,9	1,9	10,9	10,9	1	1,3	1,4	49,6	1,5					
13	Перепад давления			-0,3	13,61	-0,3	-2	-2	0,44	0,22	-0,3	-3,5	-0,3					
Параметры греющего теплоносителя																		
14	Доля трехатомных газов			0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,142	0,142	0,142					
15	Доля водяных паров			0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,107	0,105	0,105	0,105					
16	Объем газов		нм3/кг т	6,4542	6,4542	6,4542	6,4542	6,4542	6,4542	6,4542	6,578	6,578	6,578					

17	Концентрация золы	кг/кг	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
18	Относительный расход		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	Избыток воздуха		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,225	1,225	1,225
20	Эф толщина изл слоя	м	6	6	0,769	0,769	0,769	0,769	0,74	0,14	0,14	0,218
21	Линейная скорость	м/с			4,7	4,7	4,7	4,7	5,8	8,7	8,7	8,8
22	Тепло- по балансу	ккал/кг	86,2	86,2	14	112,2	77,3	18,9	42,4	10,7	615	8,3
23	Восприятие из топки				7,8	68,7	45,7	10,7	3,3	0,9	61,7	
24	Энтальпия на входе	ккал/кг	5054,7	5054,7	2898,6	2898,6	2898,6	2898,6	2675,4	2634	2634	2005,9
25	Энтальпия на выходе		2898,6	2898,6	2675,4	2675,4	2675,4	2675,4	2632,9	2005,9	2005,9	1811
26	Энтальпия приращение		-2156,1	-2156,1	-223,2	-223,2	-223,2	-223,2	-42,5	-628,1	-628,1	-194,9
27	Температура на входе	град	1936	1936	1179	1179	1179	1179	1098	1066	1066	833
28	Температура на выходе		1179	1179	1098	1098	1098	1098	1082	833	833	758
Параметры обогреваемого теплоносителя												
29	Относительный расход		0,878	6,99	0,878	0,878	0,99	6,99	6,99	0,878	0,99	0,878
30	Весовая скорость	кг/м2. с	573,9	776,7	573,9	1027	1739,1	776,7	776,7	573,9	943,2	573,9
31	Линейная скорость	м/с	5,7	1,3	6,3	16,9	27,2	2,4	2,3	6,4	18,6	6,4
32	Энтальпия на выходе	ккал/кг	620,6	387,2	634,4	704,7	694,5	425,6	424,7	637,9	712	639,7
33	Энтальпия на входе		634,4	424,7	637,9	733,7	712	426,2	425,6	639,7	808,2	641,1
34	Энтальпия приращение		13,8	37,5	3,5	29	17,5	0,6	0,9	1,9	96,2	1,3
35	Температура на входе	град	343	345	349	393	382	343	343	350	398	350
36	Температура на выходе		349	343	350	423	398	343	343	350	522	351

Тепловой расчет котлоагрегата БКЗ-160-100

Исходные данные

№	Наименование	обозначение	Величина
	1	2	3
1	Производительность котла, т/ч	Д	160
2	Давление в барабане котла, ата	Рб	108
3	Давление пара послеГПЗ, ата	Р	100
4	температура перегретого пара, оС	tпп	540
5	температура питательной воды, оС	tпв	230
6	Топливо	Экибастузский уголь	
7	Тип мельничного устройства, см	ШБМ	287/410
8	Сушильный агент	горячий воздух	
9	Содержание золы, %	Ар	40
10	Содержание влаги, %	Wp	4,9
11	Содержание серы, %	Sp	0,3
12	Низшая теплота сгорания, ккал/кг	Qнр	3987
13	Выход летучих на горючую массу, %	Vл	27
14	теоритический объём воздуха, нм3/кг	Vo	4,8
15	Потери тепла с уходящими газами, %	q2	5,2
16	Потери тепла от мех. недожога, %	q3	0,5
17	Потери тепла от хим. недожога, %	q4	5
18	Потери тепла в окружающую среду, %	q5	0,4
19	Потери тепла с физ. теплом шлака, %	q6	0
20	КПД котла брутто, %		88,9
21	Расчет-й часовой расход топлива, кг/час	Вр	27500
22	Видимая тепловая нагрузка потолочного объёма, ккал/м3ч	Qг	136*10 ³
23	Коэф-т избытка воздуха в топке	lt	1,2
24	Теоретическая температура сгорания, оС	lt	1901
25	Температура газов на выходе из топки, оС	lt	1107
26	Температура газов за Пст. п/п, оС:	I	990
	– за конвективным рядом	I	981
	– за III ст. п/п	I	807
	– за IV ст. п/п	I	753
	– за I ст. п/п	I	560
	– за II ст. экономайзера	I	408
	– за II ст. ВЗП	I	342

	– за I ст. экономайзера	I	272
	– за I ст. ВЗП	I	127
	– за I ст. экономайзера	I	270
27	Температура пара за Iст. п/п,0С:	$t_{пп}$	393
28	Температура пара за IIст. п/п,0С:	$t_{пп}$	465
29	Температура пара за IIIст. п/п,0С:	$t_{пп}$	550
30	Температура пара за IVст. п/п,0С:	$t_{пп}$	570
31	Температура воды за Iст. в/э,0С:	$t_{пв}$	250
32	Температура воды за IIст. в/э,0С:	$t_{пв}$	318
33	Температура воздуха за Iст. ВЗП,0С:	$t_{в}$	220
34	Температура воздуха за IIст. ВЗП,0С:	$t_{в}$	328
35	Температурный напор в конвективном ряду, 0С	Δt	542
	– в I ст. п/п	Δt	279
	– в IIступени п/п.	Δt	620
	– в IIIступени п/п.	Δt	380
	– в IVступени п/п.	Δt	225
	– в Iступени в/э.	Δt	64
	– в IIступени в/э.	Δt	180
	– в Iступени ВЗП.	Δt	68
	– в IIступени ВЗП.	Δt	93
36	Скорость воды на входе в в/э, м/сек	$W_{воды}$	0,58
37	Скорость воздуха в Iст. ВЗП, м/сек	$W_{в}$	4,4

Таблица-2 Коэффициенты избытка воздуха за газоходами

№	Наименование	обозначение	Величина
	1	2	3
1	В топке, за II ст. пароперегревателя, за отводящими трубами заднего экрана	α_m	1,2
2	За III и IVступенями пароперегревателя	$\alpha^{III IV}_{п.п}$	1,225
3	За I ступенью пароперегревателя	$\alpha^I_{п.п}$	1,25
4	За II ступенью экономайзера	$\alpha^{II}_{эк.}$	1,27
5	За II ступенью воздухоподогревателя	$\alpha^{II}_{вп}$	1,32
6	За I ступенью экономайзера	$\alpha^I_{эк.}$	1,34
7	За I ступенью воздухоподогревателя	$\alpha^I_{вп} = \alpha_{ух}$	1,39
8	Присос в топке	$\Delta \alpha_m$	0,05
9	Присос в системе пылеприготовления	$\Delta \alpha_{приг.}$	0,3

Средние характеристики продуктов сгорания в поверхностях нагрева

№	Наименование	Обозначение	Способ определения	Теоритические объёмы $V_o=4,884 \text{ м}^3/\text{кг}$; $V_{RO2}=0,918 \text{ м}^3/\text{кг}$ $V_{oN2}=3,866 \text{ м}^3/\text{кг}$; $V_{oH2O}=0,684 \text{ м}^3/\text{кг}$; $A_p=40,8\%$					
				α_m	$\alpha^{III IV}_{П.П}$	$\alpha^I_{П.П}$	$\alpha^{II}_{ЭК}$	$\alpha^{II}_{ВП}$	$\alpha^I_{ЭК}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Коэффициент избытка воздуха за газоходами α , $\text{м}^3/\text{кг}$	α	норматив	1,2	1,225	1,25	1,27	1,32	1,34
2	Коэффициент избытка воздуха средний $\alpha_{ср}$, $\text{м}^3/\text{кг}$	α	норматив	1,2	1,213	1,238	1,26	1,295	1,33
3	Действительный объем водяных паров, $\text{м}^3/\text{кг}$	V	$V_{H2O} = V^{o_{H2O}} + 0,0161 \cdot (\alpha_{ср} - 1) \cdot V^o$	0,7	0,701	0,703	0,704	0,707	0,710
4	Суммарный объем продуктов сгорания, $\text{м}^3/\text{кг}$	V	$V_{\Gamma} = V_{RO2} + V^{o_{N2}} + V_{H2O} + (\alpha_{ср} - 1) \cdot V^o$	6,514	6,577	6,699	6,807	6,978	7,148
5	Объемные доли трехатомных газов, $\text{м}^3/\text{кг}$	r	$r_{RO2} = \frac{V_{RO2}}{V_{\Gamma}}$	0,141	0,140	0,137	0,135	0,132	0,128
6	Суммарная объемная доля, $\text{м}^3/\text{кг}$	r	$r_{\Pi} = r_{RO2} + r_{H2O}$	0,246	0,244	0,239	0,235	0,230	0,224
7	Концентрация золовых частиц, $\text{г}/\text{м}^3$	m	$\mu = \frac{10 \cdot A^p \alpha_{УН}}{V_{\Gamma}}$	30,951	31,291	31,347	31,346	31,782	31,492
8	Объемные доли воды, $\text{м}^3/\text{кг}$			0,105	0,104	0,102	0,100	0,098	0,096

;
$\alpha^I_{B\Pi} = \alpha_{YX}$
10
1,39
1,365
0,713
7,319
0,125
0,219
31,904
0,093

Воздух и продукты горения

№	Наименование	обозначение	Расчётная формула
1	2	3	4
1	Теоретический объем воздуха необходимого для полного сгорания, м ³ /кг	V^o	$0,0889 \cdot (C^p + 0.375 \cdot S^{p_{op+k}}) + 0.26 \cdot H^p - 0.0333 \cdot O^p$
2	Теоретические объемы продуктов сгорания, м ³ /кг		
а)	азота	V^o_N	$0,79 \cdot V^o + 0,8 \cdot N^p / 100$
б)	объем трехатомных газов	V_{RO_2}	$1,866 \frac{C^p + 0.375 S^{p_{op+k}}}{100}$
в)	теоретический объем водяных паров	$V^o_{H_2O}$	$0,111 \cdot H^p + 0,124 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^o$

Величина
5
4,884
5,54
3,93476
0,918
0,684

$4 \cdot W^p + 0,0161 \cdot V^0$

Тепловой расчет к/а БКЗ-160-100 ТОО"Степнгорская ТЭЦ»"

I Тепловой баланс

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1. Располагаемое тепло топлива	$Q_P^P = Q_H^P$	ккал/кг	3987
2 Температура уходящих газов	$\tau_{ух}$	°C	140
3 Теплосодержание уходящих газов	$J_{ух}$	ккал/кг	352
4 Потери тепла от механического недожога	q_4 по РН 5-02	%	5
5 Потери тепла от химического недожога	q_3	%	0
6 Потери тепла в окружающую среду	q_5	%	0,6
7 Потери тепла с уходящими газами	$q_2 = (J_{ух} - \alpha_{ух} J_{ох.в}) * (100 - q_4) / Q_{pp}$	%	5,457
8 Коэффициент сохранения тепла	$\varphi = 1 - q_5 / 100$	%	0,994
9 Сумма тепловых потерь	$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5$	%	11,057
10 КПД котлоагрегата	$\eta_{ка} = 100 - \Sigma q$	%	88,943
11 Полезно использованное в агрегате тепло	$Q_{ко} = D * (i_{пп} - i_{пв})$	ккал/ч	97792000
12 Полный расход топлива	$B_k = (Q_{ко} / (Q_p^p * \eta_{ко})) * 100\%$	кг/ч	27576,89
13 Расчетный расход топлива (действительно сгоревшего)	$B_p = B_k * ((100 - q_4) / 100)$	кг/ч	26198,047

II Расчёт топки

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Объем топочной камеры	V_m по конструктивным характеристикам	м ³	1510
2 Полная лучевоспринимающая поверхность нагрева	$H_{л}$ то же	м ²	887
3 Полная поверхность стен топки	$f_{ст}$ то же	м ²	908
4 Условный коэффициент загрязнения	ζ по РН 6-02	м ²	0,45
5 Степень экранирования топки	$\Psi = H_{л}/F_{ст}$	м ²	0,977
6 Относительное местоположение максимума температуры	$\chi_m = \Delta h_2 / \Delta h_T$	м ²	0,262
7 Расчетный коэффициент	$M = 0,59 - 0,5\chi_m$	м ²	0,459
8 Степень черноты топки	$a_T = a/a + (1-a)\zeta * \Psi$	м ²	0,9
9 Температура горячего воздуха	$t_{гв}$	°C	349
10 Отношение количества воздуха на выходе из воздухоподогревателя к теоретически необходимому	$\beta''_{вп} = \alpha_m - \Delta\alpha_m - \Delta\alpha_{плу} - k$		0,86
11 Тепло вносимое воздухом в топку	$Q_B = \beta''_{вп} * J_{гв}^0 + (\Delta\alpha_m + \Delta\alpha_{плу}) * J_{хв}^0$	ккал/кг	148,875
12 Тепловыделения в топке на 1 кг топлива	$Q_T = Q_p^p * 100 - q_3 / 100 + Q_B$	ккал/кг	4610,79
13 Теоретическая температура горения	T_a	°C	1991
14 Температура на выходе из топки	T_m''	°C	1107
15 Теплосодержание газов на выходе из топки	J_m''	ккал/кг	3045
16 Тепло переданное излучением в топке	$Q_{л}^m = \varphi(Q_m - J_m'')$	ккал/кг	2780

17 Видимое напряжение топочного объема	$\frac{Bp \cdot Q_p^H}{V_m}$	ккал/м ² ч	69173,255
--	------------------------------	-----------------------	-----------

III Расчёт II ступени пароперегревателя (ширмы)

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Диаметр труб	d ₁ /d ₂	мм/мм	32/24
2 Шаги между трубами	S ₁ /S ₂	мм/мм	575/38
3 Число рядов труб по глубине	Z _г	шт	40
4 Число лент по ширине	n	м ²	20
5 Поверхность нагрева (380м ²)	H	м ²	590
6 Лучевосприимчивая поверхность нагрева	H ^{ш_л}	м ²	93
7 Сечение для прохода пара	f _п	м ²	0,09
8 Сечение для прохода газов	F _г	м ²	89
9 Расчетная поверхность нагрева	H _р =H- H ^{ш_л}	м ²	497
10 Температура газов на входе	τ'	°C	1107
11 Теплосодержание газов на входе	J'	ккал/кг	3045
12 Температура пара на выходе	t''	°C	990
13 Теплосодержание пара на выходе	i''	ккал/кг	2697
14 Тепловосприятие ширм излучением из топки	$Q_{ш}^{III} = \frac{Q_{г}^T \cdot H_{ш}^{III}}{H_{ш}} y$	ккал/кг	233,182
15 Тепловосприятие ширм (по балансу)	$\frac{(D - D_{ВПП2})(J_2^I - J_1^I)}{B_p} - Q_{ш}^{III}$	ккал/кг	356
16 Теплосодержание пара на входе	i ^I	ккал/кг	767,3
17 Температура пара на входе	t'	°C	465
18 Теплосодержание газов на выходе	$J^{II} = J^I - \frac{Q_B}{\phi}$	ккал/кг	2680,57

$$J^{\Pi} = J^I - \frac{Q_B}{\phi}$$

19 Температура газа на выходе	τ^{Π}	$^{\circ}\text{C}$	1107
20 Средняя температура газов	$\tau = \frac{\tau^I + \tau^{\Pi}}{2}$	$^{\circ}\text{C}$	1049
21 Средняя скорость газов	$W_2 = \frac{B_P \cdot V_{\Gamma} \cdot (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_{\Gamma} \cdot 273}$	м/с	2,578
22 Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_K = C_z C_{\Phi} \alpha_H$ по номограмме III	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	38,1881
23 Средняя температура пара	$t = \frac{t^I + t^{\Pi}}{2}$	$^{\circ}\text{C}$	429
24 Средний удельный объем пара	V_{cp}^{Π}	м ³ /кг	0,01767
25 Средняя скорость пара	$W_{\Pi} = \frac{(D - \frac{D_{\text{ВПП1}}}{2} - D_{\text{ВПП2}}) \cdot V_{\text{CP}}^{\Pi}}{3,6 \cdot f_{\Pi}}$	м/с	16,8
26 Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	$\alpha_{\Gamma} = C_d \times \alpha_H$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	3940
27 Коэффициент загрязнения	ε		0,0142
28 Температура поверхности загрязнений	$t_3 = t + (\varepsilon + \frac{1}{\alpha_{\Gamma}}) \cdot \frac{Q_6 \cdot B_P}{H_P}$	$^{\circ}\text{C}$	838
29 Эффективная толщина излучающего слоя	$S = \frac{1,8}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c}}$	м	0,72
30 Суммарная поглощательная способность трехатомных газов	$r_{\Pi} \times S$	м×ата	0,173104
31 Сила поглощения запыленного потока	$KS = (K_r \cdot r_n) + (K_n \cdot \mu \cdot S)$	м×ата	0,358
32 Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_L = a \alpha_H$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	96,5
33 Коэффициент теплоотдачи в ширмах	$K = \frac{\alpha_K + \alpha_L}{1 + (\varepsilon \cdot \frac{1}{\alpha_{\Gamma}}) \cdot (\alpha_K + \alpha_L)}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	45,5
34 Температурный напор	$\Delta t = J - t$	$^{\circ}\text{C}$	620
35 Тепловосприятие ширм (по уравнению теплообмена)	$Q_T = \frac{H_P \cdot K \cdot \Delta t}{B_P}$	ккал/кг	356

$$Q_T = \frac{H_p \cdot K \cdot \Delta \tau}{B_p}$$

IV Расчёт отводящих труб экрана

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
2.Теплосодержание газов перед трубами	J'	ккал/кг	2687
3.Температура газов за трубами	τ''	°C	981
4.Теплосодержание газов за трубами	J''	ккал/кг	2660
5.Тепловосприятие труб (по балансу)	$Q_6 = \varphi(J' - J'')$	ккал/кг	27

V Расчёт III ступени пароперегревателя (смешанный ток)

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Диаметр труб	d_1/d_2	мм/мм	32/24
2 Шаги между трубами	S_1/S_2	мм/мм	80/59
3 Число рядов труб	Z_2	шт	12
4 Поверхность нагрева	H	м²	980
5 Сечение для прохода газов	F_{Γ}	м²	42,3
6 Сечение для прохода пара	f_{Π}	м²	0,0936
7 Температура газов перед IV ступенью	τ'	°C	968
8 Теплосодержание газов перед IV ступенью	I'	ккал/кг	2313
9 Температура пара на входе в IV ступень	t'	°C	465
10 Теплосодержание пара на входе в IV ступень	i'	ккал/кг	783,2
11 Температура пара на выходе из IV ступени	t''	°C	511
12 Теплосодержание пара на выходе из IV ступени	i''	ккал/кг	813,5

13 Тепловосприятие IV ступени по балансу	$(i'' - i') \frac{D - D_{ВПР2}}{Bp}$	ккал/кг	250,5141
14 Теплосодержание газов за IV ступени	$I'' = I' - \frac{2 \cdot Q_6}{\phi_0} + \frac{\Delta \alpha_{III}}{2} \cdot I_{x6}^0$	ккал/кг	1809,722506
15 Температура газов за III ступенями	τ''	°C	798
16 Средняя температура газов	$\tau = \frac{\tau' + \tau''}{2}$	°C	883
17 Средняя температура пара	$t = \frac{t' + t''}{2}$	°C	488
18 Средний удельный объем пара	V_{cp}^n	м³/кг	0,03174
19 Средняя скорость газа	$w_r = \frac{B_p \cdot V_r (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_r \cdot 273}$	м/с	4,741
20 Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_k = C_z \cdot C_{\phi} \cdot \alpha_H$	Ккал/ м²·ч·°C	49,34006
21 Коэффициент загрязнения	$\varepsilon = C_a \cdot C_{\phi p} \cdot \varepsilon_o$	Ккал/ м²·ч·°C	0,0086
22 Средняя скорость пара	$w_{II} = \frac{(D - D_{ВПРГ}) \cdot V_{CP}^{II}}{3,6 \cdot f_{II}}$	м/с	29,822
23 Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	$\alpha_{\Gamma} = C_a \cdot \alpha_H$	ккал/ м²·ч·гр	2370
24 Температура поверхности загрязнений	$t_3 = t + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_{\Gamma}} \right) \cdot \frac{Q_B \cdot B_p}{H}$	°C	548,4192019
25 Эффективная толщина излучающего слоя	$S = d \left(1,87 \cdot \frac{S_1 + S_2}{a} - 4,1 \right) \cdot \frac{l_{II} + A \cdot l_{OB}}{l_{II}}$	м	0,181
26 Суммарная поглощательная способность трехатомных газов	$r_{II} S$	м ата	0,044526
27 Сила поглощения запыленного потока	$KS = (K_{\Gamma} \cdot r + K_{II} \cdot \mu) S$	м ата	0,100926831
28 Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_{II} = a \cdot \alpha_H$	ккал/ м²·ч·гр	19,482
29 Коэффициент теплоотдачи в III ступени пароперегревателя	$K = \frac{\alpha_K + \alpha_{II}}{1 + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_1} \right) \cdot (\alpha_K + \alpha_{II})}$	ккал/ м²·ч·гр	42,46

30 Температурный напор на входе газов	$\Delta t' = J' - t''$	°C	457
31 То же на выходе	$\Delta t'' = J'' - t'$	°C	333
32 Средний температурный напор	$\Delta t = \frac{\Delta t' + \Delta t''}{2}$	°C	395
33 Тепловосприятие III ступени пароперегревателя по уравнению теплообмена	$Q_m = \frac{H \cdot K \cdot \Delta t}{B_p}$	ккал/кг	627,369

VI Расчёт работы II регулятора перегрева впрыском

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Температура пара до впрыска	t'	°C	550
2 Теплосодержание пара до впрыска	i'	ккал/кг	827,6
3 Температура пара после впрыска	t''	°C	541
4 Теплосодержание пара после впрыска	i''	ккал/кг	821,8
5 Количества впрыскиваемой воды	$D_{ВПР2} = \frac{D(i' - i'')}{i' - i_{ВПР}}$	т/час	4,23
6 Снижение теплосодержания перегретого пара от впрыска во II регуляторе перегрева	$\Delta i_{II} = i' - i''$	ккал/кг	5,8

VII Расчёт IV ступени пароперегревателя (прямоток)

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Диаметр труб	d_1/d_2	мм/мм	32/22
2 Шаги между трубами	S_1/S_2	мм/мм	80/86
3 Число рядов труб	Z_2	шт	8
4 Поверхность нагрева	H	м²	550
5 Сечение для прохода газов	F_1	м²	37,5

6 Сечение для прохода пара	f_{Π}	м ²	0,113
7 Температура газов перед IV ступенью	τ'	°C	807
8 Теплосодержание газов перед IV ступенью		ккал/кг	2183
9 Температура пара на входе в IV ступень	t'	°C	541
10 Теплосодержание пара на входе в IV ступень	i'	ккал/кг	821,8
11 Температура пара на выходе из IV ступени	t''	°C	570
12 Теплосодержание пара на выходе из IV ступени	i''	ккал/кг	841,3
13 Тепловосприятие IV ступени по балансу	$Q_{б=}$	ккал/кг	159
14 Теплосодержание газов за IV ступени	$I'' = I' - \frac{2 \cdot Q_{б}}{\phi_0} + \Delta \alpha I^{IV} \cdot I_{хв}^0$	ккал/кг	2023
15 Температура газов за III ступенями	τ''	°C	753
16 Средняя температура газов		°C	780
17 Средняя температура пара	$t = \frac{t' + t''}{2}$	°C	556
18 Средний удельный объем пара	$V_{\Pi_{cp}}$	м ³ /кг	0,0251
19 Средняя скорость газа	$w_n = \frac{D \cdot V_{cp}}{3,6 \cdot f_n}$	м/с	19,7

$$w_n = \frac{D \cdot V_{cp}}{3.6 \cdot f_n}$$

20 Коэффициент теплопередачи	$K(\text{см. VII})$	ккал/ м ² ·ч·гр	50,1
21 Температурный напор на входе в газакотел	$\Delta t^I = t^I - t^I$	°C	266
22 То же на выходе	$\Delta t^{II} = t^{II} - t^{II}$	°C	183
23 Средний температурный напор	$\Delta t = \frac{\Delta t^I - \Delta t^{II}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t^I}{\Delta t^{II}}}$	°C	241,838702
24 Тепловосприятие по уравнению теплообмена	$Q_T = \frac{H \cdot K \Delta t}{B_p}$	ккал/кг	254,3649657

VIII Радиационный пароперегреватель

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Лучевоспринимающая поверхность потолочного пароперегревателя	$H_{\text{Л}}^{\text{ПОТ}}$	м ²	58
2 Тепловосприятие потолочного пароперегревателя	$Q_{\text{Л}}^{\text{ПОТ}} = \frac{Q_{\text{П}}^T \cdot H_{\text{Л}}^{\text{ПОТ}}}{H_{\text{Л}}^T} \cdot y$	ккал/кг	110
3 Температура пара на входе в потолочный пароперегреватель	t^I	°C	345
4 Теплосодержание пара на входе	i^I	ккал/кг	620,3
5 Теплосодержание пара на выходе	$i^{II} = i^I + \frac{Q_{\text{Л}}^{\text{ПОТ}} \cdot B_p}{D - D_{\text{ВПР}1} - D_{\text{ВПР}2}}$	ккал/кг	634,4
6 Температура пара на выходе	t^{II}	°C	350

IX Расчёт I ступени пароперегревателя (противоток)

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Диаметр труб	d_1/d_2	мм/мм	32/24
2 Шаги между трубами	S_1/S_2	мм/мм	80/64
3 Поверхность нагрева одной петли	H	m^2	237
4 Сечение для прохода газов	F_{Γ}	m^2	296
5 Сечение для прохода пара	f_{Π}	m^2	0,135
6 Температура пара на входе в I ступень пароперегревателя	τ'	$^{\circ}C$	350
7 Теплосодержание пара на входе в I ступень пароперегревателя	I'	ккал/кг	634,5
8 Температура газов перед I ступени пароперегревателя	t'	$^{\circ}C$	753
9 Теплосодержание газов перед I ступенью пароперегревателя	i'	ккал/кг	2023
10 Температура пара на выходе из I ступени пароперегревателя	τ''	$^{\circ}C$	393
11 Теплосодержание пара на выходе	i''	ккал/кг	702,5
12 Тепловосприятие I ступени по балансу	$(i'' - i') \frac{D - D_{ВПР2}}{Bp}$	ккал/кг	530,8
13 Теплосодержание газов за I ступенью	$J'' = J' - \frac{Q_6}{\phi} + \frac{\Delta\alpha_{III}}{2} \cdot J_{RB}^0$	ккал/кг	1491
14 Температура газов за I ступенью пароперегревателя	τ''	$^{\circ}C$	560
15 Средняя температура газов	$\tau = \frac{\tau' + \tau''}{2}$	$^{\circ}C$	656,5

16 Средняя температура пара	$t = \frac{t' + t''}{2}$	°C	372
17 Средний удельный объем пара	V_{cp}^n	м³/кг	0,01353
18 Средняя скорость газов	$W_r = \frac{B_p \cdot V_r (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_r \cdot 273}$	м/с	9,5
19 Коэффициент теплоотдачи конвекцией	$\alpha_k = C_z \cdot C_{\phi} \cdot \alpha_H$	Ккал/м²·ч·°C	62
20 Коэффициент загрязнения	$\varepsilon = C_a \cdot C_{\phi p} \cdot \varepsilon_o$	Ккал/м²·ч·°C	0,0068
21 Средняя скорость пара	$W_{\Pi} = \frac{(D - D_{BIPr}) \cdot V_{CP}^n}{3,6 \cdot f_{\Pi}}$	м/с	8,54
22 Коэффициент теплоотдачи от стенки к пару	$\alpha_{\Gamma} = C_a \cdot \alpha_H$	ккал/м²·ч·°C	3640
23 Температура поверхности загрязнений	$t_3 = t + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_r} \right) \cdot \frac{Q_B \cdot B_p}{H}$	°C	440,7
24 Эффективная толщина излучающего слоя	$S = d \left(1,87 \cdot \frac{S_1 + S_2}{a} - 4,1 \right) \cdot \frac{l_{\Pi} + A \cdot l_{OB}}{l_{\Pi}}$	м	0,171
25 Суммарная поглощательная способность трехатомных газов	$r_{\Pi} S$	м ата	0,0393
26 Сила поглощения запыленного потока	$KS = (K_{\Gamma} \cdot r + K_{\Pi} \cdot \mu) S$	м ата	0,168
27 Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_L = a \cdot \alpha_H$	ккал/м²·ч·°C	16,3
28 Коэффициент теплоотдачи в I ступени пароперегревателя	$K = \frac{\alpha_K + \alpha_L}{1 + \left(\varepsilon + \frac{1}{\alpha_1} \right) \cdot (\alpha_K + \alpha_L)}$	ккал/м²·ч·°C	50,39
29 Температурный напор на входе газов	$\Delta t' = J' - t''$	°C	360
30 То же на выходе	$\Delta t'' = J'' - t'$	°C	210
31 Средний температурный напор	$\Delta t = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}$	°C	279,9
32 Расчётная поверхность нагрева I ступени	$H_{PACЧ} = \frac{Q_B \cdot B_p}{K \cdot \Delta t}$	м²	1479

$$H_{\text{расч}} = \frac{Q_{\text{б}} \cdot B_{\text{п}}}{K \cdot \Delta t}$$

33 Устанавливаемая поверхность нагрева I ступени	Н _{уст}	м2	1422
--	------------------	----	------

X Расчёт II- ступени водяного экономайзера

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Диаметр труб	d_1/d_2	мм/мм	32/25
2 Шаги между трубами	S_1/S_2	мм/мм	75/55
3 Сечение для прохода газов	F_{Γ}	м ²	35,6
4 Число рядов труб по ходу газов	Z_1	шт	20
5 Теплосодержание воды на выходе	$i'' = i_1'' + \frac{D_{\text{конд}}(i_{\text{чп}} - i_{\text{кип}})}{D}$	ккал/кг	343
6 Температура воды на входе	t'	°C	279
7 Температура газов за пароперегревателем	t'	°C	560
8 Теплосодержание газов за пароперегревателем	J	ккал/кг	1492
9 Температура газов за II ступенью экономайзера	t'	°C	408
10 Теплосодержание газов за II ступенью экономайзера	J''	ккал/кг	1081
11 Тепловосприятие по балансу	$Q_6 = \varphi(I' - I'' + \Delta\alpha \cdot i_{\text{хв}})$	ккал/кг	409
12 Теплосодержание воды на выходе из II ступени экономайзера.	$i'' = i + Q_6 \cdot B/D$	ккал/кг	343
13 Температура воды на выходе	t''	°C	318
14 Температурный напор на входе газов	$\Delta t' = J' - t''$	°C	242
15 То же на выходе газов	$\Delta t'' = J'' - t'$	°C	129
16 Средний температурный напор	$\Delta t = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}$	°C	180
17 Средняя температура газов	$J = J' + J''/2$	°C	199

18 Средняя скорость газов	$W_{\Gamma} = \frac{B_P \cdot V_{\Gamma} (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_{\Gamma} \cdot 273}$	м/с	9,4
19 Коэффициент теплоотдачи с газовой стороны	$\alpha_1 = C_{\Phi} \cdot C_e \cdot \alpha_H$	ккал/ м ² *4гр	31,8
20 Средняя скорость воздуха	$W_B = ((\beta_{cp} \cdot \beta_p \cdot V_o) / (3,6 \cdot F_B)) \cdot ((t + 273) / 273)$	м/с	4,4
21 Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху	$\alpha_2 = C_z \cdot C_s \cdot \alpha_H$	ккал/ м ² *4гр	48,5
22 Коэффициент использования поверхности	ζ		0,75
23 Коэффициент теплопередачи	$\kappa = \zeta \cdot ((\alpha_1 \cdot \alpha_2) / (\alpha_1 + \alpha_2))$	ккал/ м ² *4гр	14,4
24 Температурный напор на входе газов	$\Delta t' = J' - t''$	°C	52
25 То же на выходе	$\Delta t'' = J'' - t'$	°C	97
26 Средний температурный напор	$\Delta t = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}$	°C	68
27 Расчётная поверхность нагрева I ступени	$H_{расч} = \frac{Q_B \cdot B_P}{K \cdot \Delta t}$	м ²	601
28 Устанавливаемая поверхность нагрева I ступени	$H_{уст}$	м ²	1640

XI Расчёт - II-ой ступени ВЗП (одноходовая)

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Диаметр труб	d_1/d_2	мм/мм	40/37
2 Шаги между трубами	S_1/S_2	мм/мм	60/42
3 Поверхность нагрева	H	м ²	5100
4 Сечение для прохода газов	F_{Γ}	м ²	17,7

5 Сечение для прохода воздуха	F_B	m^2	22
6 Число рядов труб по ходу газов	Z_1	шт	41
7 Температура газов за II ступенью ВЗП	J'	$^{\circ}C$	342
8 Теплосодержание газов за II ступенью ВЗП	I''	ккал/кг	929
9 Температура воздуха на входе во II ступень ВЗП	t'	$^{\circ}C$	220
10 Теплосодержание воздуха на входе	i''	ккал/кг	398
11 Температура воздуха на выходе во II ступень ВЗП		$^{\circ}C$	328
12 Теплосодержание воздуха на выходе	i'	ккал/кг	598
13 Отношение кол-ва воздуха, проходящего через II ступень ВЗП к теоретически необходимому.	$\beta_{CP} = \alpha_m - \Delta\alpha_m - \Delta\alpha_{плу} + (\Delta\alpha'' \cdot B_n / 2) - K_{отв}$		0,885
14 Тепловосприятие по балансу	$Q_6 = \beta_{cp} \cdot (J''_B - J^0_B)$	ккал/кг	177
15 Средняя температура воздуха	$t = t' + t'' / 2$	$^{\circ}C$	274
16 Теплосодержание воздуха при среднй температуре.	$J^0_{прс}$	ккал/кг	498
17 Теплосодержание газов на входе в II ступень	$J' \cdot J'' + Q_6 / \varphi - \Delta\alpha - J^0_{прс}$	ккал/кг	1081
18 Температура газов на входе	t'	$^{\circ}C$	408
19 Средняя температура газов	$t = t' + t'' / 2$	$^{\circ}C$	375
20 Средняя скорость газов	$W_r = \frac{B_p \cdot V_r (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_r \cdot 273}$	м/с	11,6

$$W_{\Gamma} = \frac{B_P \cdot V_{\Gamma} (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_{\Gamma} \cdot 273}$$

21 Коэффициент теплоотдачи с газовой стороны	$\alpha_1 = C_{\Phi} \cdot C_e \cdot \alpha_n$	ккал/ м ² *ч*гр	32,8
22 Средняя скорость воздуха	$W_{\epsilon} = \frac{B_P \cdot V_{\epsilon} (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_{\epsilon} \cdot 273}$	м/с	4,98
23 Коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху	$\alpha_2 = C_z \cdot C_s \cdot \alpha_n$	ккал/ м ² *ч*гр	48,3
24 Коэффициент использования поверхности	ζ		0,75
25 Коэффициент теплопередачи	$K = \zeta ((\alpha_1 \cdot \alpha_2) / (\alpha_1 + \alpha_2))$	ккал/ м ² *ч*гр	14,6
26 Температурный напор на входе газов	$\Delta t' = J' t''$	°C	80
27 То же на выходе	$\Delta t'' = J'' t'$	°C	122
28 Тепловосприятие ВЗП по уравнению теплообмена	$Q_m = H \cdot K_p \cdot \Delta t / B_p$	ккал/кг	265
28 Средний температурный напор	$\Delta t = \psi / ((\Delta t'' + \Delta t') / 2)$	°C	93

XII Расчёт - I ступень водяного экономайзера

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Диаметр труб	d_1/d_2	мм/мм	32/25
2 Шаги между трубами	S_1/S_2	мм/мм	75/46
3 Поверхность нагрева одной петли	H	m^2	1700
4 Сечение для прохода газов	F_{Γ}	m^2	24,8
5 Число рядов труб по ходу газов	Z_2	шт	32
6 Температура газов за экономайзером	H	$^{\circ}C$	172
7 Теплосодержание газов за экономайзером	T''	ккал/кг	743
8 Тепловосприятие I ступени экономайзера	Q_6	ккал/кг	185
9 Теплосодержание газов перед экономайзером	$J' = J'' + (Q_6/J) - \Delta\alpha * J''_x * B$	ккал/кг	928
10 Температура газо перед экономайзером	t'	$^{\circ}C$	342
11 Теплосодержание воды на выходе из экономайзера	$i'' = i' + Q_6 * (B_p/D_{эк})$	ккал/кг	259,8
12 Температура воды на выходе из экономайзера	t''	$^{\circ}C$	250
13 Температурный напор на входе газов	$\Delta t' = J' t''$	$^{\circ}C$	92
14 Температурный напор на выходе газов	$\Delta t'' = J'' t'$	$^{\circ}C$	42
15 Средний температурный напор	$\Delta t = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}$	$^{\circ}C$	64
16 Средняя температура газов	$\tau = (\tau' + \tau'')/2$	$^{\circ}C$	307
17 Средняя температура воды	$t = (t' + t'')/2$	$^{\circ}C$	240
18 Температура загрязненной стенки	$t_3 = (t + 25)$	$^{\circ}C$	265

19 Средняя скорость газов	$w_z = \frac{B_p \cdot V_z (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_z \cdot 273}$	м/с	7,60
20 Коэффициент теплоотдачи конвекции	$\alpha_k = C_z \cdot C_s \cdot C_{cp} \cdot \alpha_n$	ккал / м ² ·ч·гр	75,0
21 Эффективная толщина излучающего слоя	$S = d \cdot (1,87 \cdot (s_1 + s_2 / 2) \cdot 4,1)$	м	0,095
22 Суммарная толщина излучающего слоя	$Z_n \cdot S$	м·ата	0,0205
23 Коэффициент ослабления луча трехатомными газами	K_r	-	5,1
24 Коэффициент ослабления луча золовыми частицами	K_n	-	0,0178
25 Сила поглощения запыленного потока	$KS = (K_r \cdot Z_n + K_n \cdot \mu) \cdot S$		0,136
26 Коэффициент теплоотдачи излучением	$\alpha_n = a \cdot \alpha_n$	ккал / м ² ·ч·гр	4,1
27 Коэффициент загрязнения	$E = C_d \cdot C_{др} \cdot E_o + \Delta E$	м ² ·ч·гр / ккал	0,0256
28 Коэффициент теплопередачи	$\kappa = (\alpha_k + \alpha_l) / (1 + (E_k + \alpha_l))$	ккал / м ² ·ч·гр	66,0
29 Тепловосприятие экономайзера по уравнению теплообмена	$Q = (H \cdot K \cdot \Delta t) / B_p$	ккал / кг	274,1

XIII Расчёт - I-я ступень воздухоподогревателя

Наименование величины	Расчётная формула	ед. изм	Расчёт
1	2	3	4
1 Диаметр труб	d_1/d_2	мм/мм	40/37
2 Шаги между трубами	S_1/S_2	мм/мм	60/42
3 Поверхность нагрева одной петли	H	m^2	10080
4 Сечение для прохода газов	F_{Γ}	m^2	16,7
5 Сечение для прохода воздуха	F_B	m^2	24,1
6 Число рядов труб по ходу газов	Z_2	шт	41
7 Температура газов на выходе	T''	$^{\circ}C$	140
8 Теплосодержание газов на выходе	J''	ккал/кг	352
9 Температура воздуха на входе	t'	$^{\circ}C$	30
10 Теплосодержание воздуха на входе	$J_{B'}^{\circ}$	ккал/кг	53,7
11 Температура воздуха на выходе	t''	$^{\circ}C$	220
12 Теплосодержание воздуха на выходе	$J_{B''}^{\circ}$	ккал/кг	398
13 Отношение кол-ва воздуха, проходящего через I ^ю ступень ВЗП к теоретически необходимому.	$\beta_{CP} = \alpha_m - \Delta\alpha_m - \Delta\alpha_{плу} + (\Delta\alpha'' * B_n / 2)$		1,165
14 Тепловосприятие по балансу	$Q_6 = \beta_{cp} * (J_{B''}^{\circ} - J_{B'}^{\circ})$	ккал/кг	401
15 Средняя температура воздуха	$t = (t' + t'') / 2$	$^{\circ}C$	125
16 Теплосодержание воздуха при среднй температуре.	$J_{прс}^{\circ}$	ккал/кг	224

17 Теплосодержание газов на входе	$Q_{\text{вх}} = \left(\frac{Q_{\text{вх}}}{\text{кг}} \right) \cdot \text{кг} = \dots$	ккал/кг	743
18 Температура газов на входе	T'	$^{\circ}\text{C}$	272
19 Средняя температура газов	$\tau = (\tau' + \tau'')/2$	$^{\circ}\text{C}$	484
20 Средняя температура газов	$t = t' + t''/2$	$^{\circ}\text{C}$	298
21 Температура поверхности загрязнений	$t_3 = (t + 100)$	$^{\circ}\text{C}$	398
22 Средняя скорость газов	$w_z = \frac{B_p \cdot V_2 (\tau + 273)}{3,6 \cdot F_2 \cdot 273}$	м/с	6,60
23 Коэффициент теплоотдачи конвекции	$\alpha_k = C_z \cdot C_s \cdot C_{cp} \cdot \alpha_n$	ккал / м ² *ч*гр	64,4
24 Эффективная толщина излучающего слоя	$S = d \cdot (1,87 \cdot (s_1 + s_2/2) \cdot 4,1)$	м	0,210
25 Суммарная поглотительная способность трехатомных газов	$Z_n \cdot S$	м*ата	0,048
26 Коэффициент ослабления луча трехатомными газами	K_r		3,1
27 Коэффициент ослабления луча золовыми частицами	K_n		0,015
28 Коэффициент теплоотдачи излучением	$KS = (K_r \cdot Z_n + K_n \cdot \mu) \cdot S$	ккал / м ² *ч*гр	12,4
29 Коэффициент загрязнения	$E = C_d \cdot C_{др} \cdot E_o + \Delta E$	м ² *ч*гр / ккал	0,00584
30 Коэффициент теплоотдачи	$\kappa = (\alpha_k + \alpha_l) / (1 + (E_k + \alpha_l))$	ккал / м ² *ч*гр	53,0
31 Поверхность нагрева	$H_{\text{ПАСЧ}} = \frac{Q_B \cdot B_p}{K \cdot \Delta t}$	м ²	1690

ТОО «Степногорская ТЭЦ»

СИСТЕМА ПОДАЧИ ПЫЛИ
с высокой концентрацией под давлением (ПВК)
котлов БКЗ-160-100, ст.№ 2,3,4 ТОО «Степногорская ТЭЦ»

Инструкция по эксплуатации

Главный инженер

Ответственный руководитель

Степногорск
2026г.

Содержание

1. ВВЕДЕНИЕ.....	3
2. Краткое описание системы пневмотранспорта угольной пыли с высокой концентрацией под давлением (ПВК).....	3
3. Подготовка системы пневмотранспорта к работе.....	6
4. Включение системы ПВК в работу.....	7
5. Перевод котла на сжигание угольной пыли.....	8
6. Управление системой ПВК _д и контроль за режимом ее работы.....	8
7. Останов системы пневмотранспорта.....	9
8. Характерные нарушения в работе системы ПВК и действия по их устранению.....	10
9. Защиты системы ПВК.....	11
10. Основные параметры, контролируемые при эксплуатации системы ПВК . .	12
11. Указание мер безопасности.....	13
12. Список использованных источников.....	13

Введение

1.1 Настоящая инструкция содержит краткое техническое описание, порядок подготовки к работе, включения, останова, обслуживания при эксплуатации оборудования системы подачи (пневмотранспорта) угольной пыли с высокой концентрацией под давлением (ПВК) котлов БКЗ-160-100 (ст. №2,3,4) ТОО «Степногорская ТЭЦ».

1.2 Инструкция должна быть увязана с другими инструкциями по эксплуатации котла и котельно-вспомогательного оборудования котельного цеха. В настоящей инструкции сведения по правилам обслуживания этого оборудования приведены в минимальном объёме, необходимом для законченности изложения правил эксплуатации системы транспорта ПВК.

1.3 Отдельные положения данной инструкции должны быть уточнены, исходя из местных условий после проведения наладочных работ.

1.4 Маркировку (нумерацию) механизмов и клапанов при составлении местной инструкции необходимо указать или заменить принятой на электростанции нумерации.

1.5 При эксплуатации системы ПВК необходимо руководствоваться следующими документами:

- техническим описанием и инструкцией по эксплуатации завода-изготовителя турбовоздуходувки;
- эксплуатационными документами завода-изготовителя электродвигателя турбовоздуходувки;
- правилами техники безопасности при эксплуатации тепломеханического оборудования;
- должностными инструкциями котельного цеха.

1.7 Инструкцию должны знать:

- начальник смены котельного цеха;
- старший машинист котельного цеха;
- машинисты котлов.

2 Краткое описание системы подачи угольной пыли с высокой концентрацией под давлением (ПВК)

2.1 Система высококонцентрированной подачей пыли, в дальнейшем - система ПВК, разработана специалистами Томь-Усинской ГРЭС в 1975-1980 годах, является новой технологией подачи пыли в горелки и, будучи примененной по назначению, допускает возможность организации высокоэффективных условий сжигания любого пылевидного натурального топлива. До 1980 года подобных схем транспорта угольной пыли, как и технологии её сжигания как в отечественной, так и в зарубежной энергетике не существовало

2.2 Система ПВК котла представлена на рисунке и включает в себя следующие механизмы и узлы:

2.2.1 Две турбовоздуходувки типа ТВ-80-1,6 с воздушным охлаждением под шипников с характеристиками $Q = 5000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $P_{\text{изб}} - 6000 \text{ кгс/м}$ (при $t_{\text{в}}=20^\circ\text{C}$ и $P_{\text{бар}}=760 \text{ мм. рт. ст.}$), каждая из которых оснащена обратным клапаном и задвижкой, размещенными на нагнетательной стороне машин.

Две турбовоздуходувки являются рабочими для системы ПВК котлов БКЗ-160-100, третья - резервной. Забор воздуха производится из помещения котельного цеха.

При работе на общий коллектор соответствие характеристик действующих и подключаемых воздуходувок должен быть проверен испытаниями и отражен в режимной карте котла.

2.2.2 Общестанционный коллектор сжатого воздуха для ПВК, к которому подключены и могут работать все турбовоздуходувки в различных сочетаниях.

2.2.3 Противопомпажный регулирующий клапан, установленный в общем коллекторе ПВК (Ду 100), связанный с атмосферой.

2.2.4 Быстроотсечной клапан (Ду 200), установленный в воздуховоде от общего коллектора ПВК к коллектору ПВК котла.

2.2.5 Коллектор ПВК котла Ду 200.

2.2.6 Воздухопроводы $d57 \times 3.5$ с запорными ручными клапанами (8 шт. на котел).

2.2.7 Смесители пыли (8 шт. на котел).

2.2.8 Пылепроводы к горелкам $d89 \times 7$ в количестве 6шт. (на один котел).

2.2.9. Напорные вертикальные стояки - стабилизаторы от пылепитателя к смесителю пыли $d76 \times 4$ (8 шт. на котел) и точки пыли от двух пылепитателей к каждому стояку по схеме 2 питателя на один смеситель.

2.3 Система ПВК оснащена средствами контроля, измерений и защит.

2.4 Регулирование давления воздуха в общестанционном коллекторе ПВКне предусмотрено: в коллекторе поддерживается максимальное давление, создаваемое работающими воздуходувками при полностью открытых задвижках, обратных клапанах и закрытом воздухе на сбросе с коллектора.

2.5 Общий расход воздуха на пылепроводы ПВК котла №12 составляет **1700** $\text{м}^3/\text{ч}$ (при работе всех пылепроводов котла).

2.6 Работа системы ПВК осуществляется следующим образом: пыль из пылепитателя поступает в вертикальный стояк-стабилизатор, который постоянно наполнен на определенную часть высоты. Высота столба пыли в стабилизаторе зависит от конструктивных характеристик системы ПВК и её загрузки.

Наибольший столб пыли в стабилизаторе соответствует максимальной производительности системы. Наличие небольшого разрежения под пылепитателем, не превышающим 100... 150 мм. вод. ст. является признаком его нормальной работы. При этом давление за соплом должно находиться в пределах 6 – 17 кПа (600 – 1700 мм. в. ст.)

Результаты расчета системы ПВК при работе на Экибастузском угле для полной нагрузки котла приведены в приложении 1. Расчетная высота столба пыли в стояке – 3,4-3,6 м. – не превышает высоту напорного стояка – 3,8 м. Следовательно, при расчетной калорийности топлива 4000 ккал./кг. система ПВК обеспечит полную нагрузку котла.

Струя воздуха из сопла смесителя побуждает пыль к движению в сторону горелки. На её место из стояка под избыточным давлением поступают новые порции пыли,

которые ускоряются и с высокой концентрацией движутся по пылепроводу к горелке. На выходе из пылепровода ПВК в устье горелки установлен пылевыдающий патрубок, проходя который пыль подвергается основательной термообработке и, частично воспламенившись при высокой концентрации в пылевыдающем патрубке, поступает в топочное пространство, где концентрация её снижается, происходит её полное воспламенение и смешение с воздухом для горения. Этот процесс оказывается более растянутым, чем воспламенение при низких концентрациях, что улучшает стабилизацию горения и снижает образование оксидов азота в уходящих газах котла.

3 Подготовка системы пневмотранспорта к работе

3.1 Общие указания

3.1.1 Убедитесь в прекращении всех ремонтных работ, закрытии нарядов, отсутствии ремонтного персонала на местах производства работ и посторонних предметов вблизи подготавливаемого к работе оборудования.

3.1.2 Осмотрите смесители пыли системы пневмотранспорта (системы ПВК) и убедитесь, что фланцевые разъемы смесителей затянуты, а на их торцах установлены пробки.

3.2 Подготовка к пуску турбовоздухоувок системы ПВК

3.2.1 Убедитесь путем наружного осмотра турбовоздухоувок (турбокомпрессоров) в наличии и хорошем закреплении кожухов соединительных муфт, исправном состоянии заземления электродвигателей, фундамента и крепящих механизмы болтов.

3.2.2 Проверьте положение арматуры на нагнетательном тракте турбовоздухоувок: они должны быть закрыты. В случае иного положения (при ручном пуске) закройте задвижку на напорном тракте пускаемой и резервной турбовоздухоувок.

3.3 Подготовка к пуску пылепроводов системы ПВК

3.3.1 Откройте полностью ручные вентили на воздуховодах от коллектора ПВК котла к смесителям пыли.

3.3.2 Закажите через начальников смен электроцеха (ЭЦ) и цеха теплового контроля автоматики и измерений (ЦТАИ) сборку электрических схем для подачи напряжения на электродвигатели воздухоувок, привода дистанционного управления быстродействующим клапаном на воздуховоде от общего коллектора ПВК к коллектору ПВК котла, а также для включения противопомпажного регулятора (на общем коллекторе ПВК).

Получите от начальников смен названных цехов подтверждение о том, что электрические схемы собраны.

Опробуйте со щита управления дистанционный привод быстродействующего клапана перед коллектором ПВК котла и убедитесь в соответствии установленных на щите управления указателей крайних положений этого клапана его фактическому положению.

3.3.4 Вызовите дежурный персонал ЭЦ и ЦТАИ для проверки и включения схем управления электрическими защитами и сигнализацией, контрольно-измерительных приборов, технологических защит, блокировок и сигнализации.

Потребуйте произвести проверку работоспособности технологических защит и блокировок без их воздействия на исполнительные механизмы (в испытательном положении) в случаях простоя системы ПВК более трех суток и выполнения ремонтных работ в цепях защит при простое меньшей продолжительности.

Получите подтверждение о вводе в работу устройств и схем управления:

- электрическими защитами и АВР турбовоздухоувок;
- технологическими защитами, действующими при снижении давления воздуха

в коллекторе ПВК котла до 10,0 кПа;

4 Включение системы ПВК_д в работу

4.1 Общие указания

4.1.1 Убедитесь при пуске системы ПВК в том, что тягодутьевые машины котла находятся в работе, а разрежение в топке соответствует требуемому значению по инструкции эксплуатации котла.

4.1.2 Выполняйте операции по пуску системы ПВК со щита управления котлом и местного щита управления ТВД.

4.1.3 Предупреждайте о каждом включении воздуходувок системы ПВК машиниста-обходчика, который в момент пуска воздуходувки должен находиться у кнопки его аварийного отключения.

4.1.4 Контролируйте продолжительность разворота пускаемой воздуходувки по показанию амперметра её электродвигателя (стрелка амперметра зашкалена). При превышении максимально допустимой продолжительности разворота электродвигателя (30 с) немедленно отключите электродвигатель.

Повторите пуск электродвигателя только с разрешения начальника смены ЭЦ после обязательной проверки электрической и механической части воздуходувки.

Указания машинисту-обходчику: немедленно отключите электродвигатель пускаемой воздуходувки в случае явных нарушений в работе (сильная вибрация, грохот в корпусе, искрение в двигателе, появление дыма и запаха гари).

4.1.5 После разворота электродвигателя воздуходувки открыть полностью задвижку на нагнетании и, при наличии режима помпажа, открытием противопомпажного регулирующего клапана задать требуемый режим работы.

Примечание: при работе нескольких котлов и расходе воздуха более 3000 м³/ч указанный клапан должен быть всегда закрыт.

4.1.6 Убедитесь в достижении требуемого давления воздуха в общем коллекторе ПВК (45- 60 кПа). При этом ток электродвигателя не должен превышать номинального значения (195 А) и не должен быть ниже минимального (140 А).

4.1.7 Откройте быстроотсечной клапан, установленный на воздуховоде от общего коллектора ПВК к коллектору ПВК котла. Противопомпажным регулирующим клапаном установите стабильное, без колебаний давление в коллекторе, а ток электродвигателя турбовоздуходувки на уровне 180 А.

4.1.8 Убедитесь по показаниям приборов, установленных на БЩУ, в наличии небольшого давления в смесителях пыли (100-200 мм.в.ст. - 1...2 кПа - в зависимости от конкретного сопротивления пылепроводов системы ПВК), подтверждающего чистоту пылепроводов и наличие расхода воздуха через них.

4.1.9 Установите ключ АВР в положение, обеспечивающее включение резервной турбовоздуходувки при аварийном снижении давления в общем коллекторе ПВК или отказе работающей воздуходувки.

5 Перевод котла на сжигание угольной пыли

5.1 Общие положения

5.1.1 Убедитесь в том, что температура дымовых газов в поворотном газоходе котла не ниже уровня, предусмотренного Инструкцией по эксплуатации котла при растопке.

5.1.2 Убедитесь в достаточности пыли в пылевом бункере котла и при уровне пыли менее трех метров примите меры к наполнению бункера пылью.

5.2 Подача пыли в топку котла

5.2.1 Откройте подбункерные шиберы пылепитателей.

5.2.1 Включите в работу питатель пыли горелки (в соответствии с порядком включения горелок, предусмотренным Инструкцией по эксплуатации котла).

5.2.3. Убедитесь по показаниям манометра на блочном щите управления котла в его нормальном развороте (набор давления в пылепроводе > 300 мм. вод. ст. в течение 3 - 15 с).

5.2.4 Убедитесь визуально в подаче пыли в топку, ее нормальном воспламенении, а по разрежению в топке – в отсутствии пульсаций в ней.

5.2.5 Убедитесь по давлению в пылепроводе в достижении эксплуатационного значения давления в смесителе пыли (6... 17 кПа).

5.2.6 Произведите включение в работу остальных питателей пыли, руководствуясь указаниями п.п. 5.2.3...5.2.5. и Инструкцией по эксплуатации котла.

6 Управление системой ПВК и контроль за режимом ее работы

6.1 Не допускайте работу системы ПВК без включения технологических блокировок, защит и сигнализации, Противопомпажный регулятор, как правило, должен быть закрыт.

6.2 Требуйте от дежурного персонала ЦТАИ обеспечения постоянной работоспособности и правильности показаний контрольно-измерительной аппаратуры.

6.3 Своевременно выявляйте отклонения от нормальных условий эксплуатации системы ПВК и принимайте оперативные меры к устранению нарушений режима и неполадок в работе, действуя в соответствии с разделом 8 данной инструкции.

6.4 Не менее, чем 2 раза в смену, осматривайте работающую воздуходувку, контролируя при этом:

- отсутствие посторонних шумов, скрежета, стука в корпусах подшипников механизма;
- вибрацию (на ощупь) подшипников;
- исправность ограждений соединительных муфт рабочей и резервной воздуходувок;
- освещенность места установки воздуходувок.

7 Останов системы пневмотранспорта

7.1 Общие указания

7.1.1 При снижении давления в коллекторе ПВК котла до сигнала немедленно примите меры к восстановлению давления до нормального и определения причин его понижения.

Остановите систему пневмотранспорта при несрабатывании технологической защиты, действующей на останов пылепитателей котла при снижении давления в коллекторе ПВК котла до 1000 мм.вод.ст. (10 кПа), выполняя действия по аварийному переводу котла на растопочную нагрузку в соответствии с Инструкцией по его эксплуатации;

7.1.2 Немедленно остановите работающую воздухоудку при следующих аварийных ситуациях:

- появление искр или дыма из электродвигателя воздухоудки;
- появление грозящих разрушением механизма сильных ударов, стука и скрежета в корпусе воздухоудки и электродвигателя;
- появление сильной вибрации подшипников турбовоздуходувки или электродвигателя.

7.2 Плановый останов системы ПВК

7.2.1 При плановом останове системы ПВК для сработки пыли из бункера включите в работу одновременно или поочерёдно все пылепитатели

7.2.2 При "исчезновении" уровня пыли в бункере котла периодически обстукивайте нижние патрубки бункера пыли, контролируя по показаниям манометров прекращение или продолжение поступления пыли в пылепроводы. Прекращение поступления пыли в пылепровод характеризуется установлением в смесителе пыли этого пылепровода "начального" давления холостого хода – 100-200 мм.вод.ст. (1-2 кПа).

7.2.3 Продолжайте продувку пылепроводов (без останова питателей пыли) до достижения "начального" давления во всех пылепроводах котла, поддерживая режим работы котла изменением расхода резервного топлива в соответствии с Инструкцией по эксплуатации котла.

7.2.4 По окончании продувки всех пылепроводов остановите питатели пыли котла.

7.2.5 В случае останова котла закройте быстродействующий клапан к коллектору ПВК котла после погасания факела в топке.

7.2.6 При работе других котлов на ПВК и останове одного проверьте отсутствие помпажа и отрегулируйте противопомпажным клапаном нормальный режим работы воздухоудок. В случае остановки единственной системы ПВК установите ключ АВР турбовоздуходувки в положение "Отключено" и остановите турбовоздуходувку. Получите сообщение о разборке электрических схем и удостоверьтесь в том, что схемы разобраны.

7.3 Плановый останов системы ПВК котла без сработки пыли в бункере

7.3.1 Проведите останов (перевод на сжигание резервного топлива) котла согласно Инструкции по эксплуатации котла.

7.3.2 Закройте отсекающие шиберы перед приемными бункерами пылепитателей, сработайте пыль из их пространства, до получения стабильного давления холостого хода в пылепроводах системы ПВК и отключите пылепитатели.

7.3.3 В случае останова котла закройте быстродействующий клапан на подводе воздуха к коллектору системы ПВК котла.

7.4 Отключение пылепровода в ремонт

7.4.1 Остановите питатель пыли отключаемого пылепровода и тщательно продуйте его, убедившись в полном отсутствии подачи пыли в горелку.

7.4.2 Если пылепровод отключен для ремонта элементов самого пылепровода (абразивный износ пылепровода, повреждение сопла смесителя пыли и т.п.) то:

- выполните все подготовительные операции для выполнения ремонтных работ;
- закройте ручной вентиль на подводе воздуха к смесителю отключаемого пылепровода;
- по окончании ремонтных работ немедленно откройте ручной вентиль на подводе воздуха к смесителю.

7.4.3 Если пылепровод отключен для ремонта питателя пыли, необходимо:

- разобрать фланцевое соединение между выдающим патрубком питателя пыли и точкой пыли к смесителю пыли и установить между фланцами заглушку;
- по окончании ремонта питателя пыли снять установленную заглушку.

8. Устранение нарушений при работе ПВК.

8.1 Общие указания

8.1.1 Немедленно реагируйте на отклонение основных параметров от номинальных значений, предупреждая оперативными действиями развитие нарушений до аварийных ситуаций и не допуская тем самым срабатывания защит.

8.1.2 Действуйте при устранении нарушений в работе системы ПВК в соответствии с указаниями п. 7.1.2 и 8.2.

8.1.3 Фиксируйте в оперативном журнале время происшествия, характер нарушений в работе системы ПВК и основные операции по устранению нарушений.

8.2 Характерные нарушения в работе системы ПВК и действия по их устранению.

8.2.1 Снижение подачи пыли пылепроводами ПВК. Признак: давление в смесителях уменьшено, котёл «не берёт» нагрузку. Причина: нагрузка на пылепроводы ПВК выше максимально-расчетной. На некоторых из них пыль «подпирает» питатель. Необходимо убавить обороты питателей за счет включения неработающих УЛПП.

8.2.2 При работе УЛПП пылепровод ПВК прекратил подачу пыли. Давление в смесителе низкое, на уровне холостого хода – 100-200 мм.в.ст. Стрелка амперметра на красной черте. Необходимо остановить УЛПП на 5-7 минут, затем запустить его вновь. Подача пыли, как правило, восстанавливается.

- 8.2.3 Признак по п. 2, но показание амперметра близко к нулю. Проверить исправность муфтового сцепления двигателя с редуктором УЛПП.
- 8.2.4 Признак по п.2, но останов УЛПП не даёт результата.
При остановленном УЛПП обстучать точки от питателя до трубы стояка-стабилизатора, добиваясь появления «пустого» звука. Открыть пробку на штуцере стояка (отм. пылепитателей) и убедиться в наличии подсоса в стояк. Запустить УЛПП в работу и убедиться в нормальной работе пылепровода ПВК.
- 8.2.5 Мероприятия по п. 4 не дают должного результата. Открыть крышку штуцера на соединении течек УЛПП и прочистить переход с диаметра 159 на 89 мм до появления подсоса воздуха в стояк. Хорошо очистить переход, обстучать точки, закрыть крышку штуцера и пустить УЛПП в работу.
- 8.2.6 При пуске котла и сработке из бункера не свежей, слежавшейся пыли для предотвращения появления указанных в п.п. 1,2,4,5 нарушений включение УЛПП производить в диапазоне минимальных частот вращения с обстукиванием течек, стенок над УЛПП и поочередным их остановами и пусками.
- 8.2.7 При обнаружении «забитого» пылепровода ПВК (в горелку пыль не поступает, а давление воздуха перед соплом есть) остановить УЛПП и жесткой проволокой длиной 3-4 метра через торцевую пробку смесителя и сопло «прошуровать» пылепровод, взрыхлив пылевую пробку в его начале, образовавшуюся по разным причинам до подачи воздуха в пылепровод. Как правило, пылепровод продувается и начинает нормально работать. В случае не достижения результата, а так же при отсутствии давления воздуха перед соплом, после останова УЛПП закрыть воздух индивидуальным вентилем вывести УЛПП в ремонт с разборкой эл.схемы, (см. п. 11.4)снять сопловую коробку, очистить её, стояк, пылепровод ПВК, подводящую воздух трубу, байпасную и оходящую от неё импульсную трубки от пыли и восстановить нормальную работу схемы, убедившись, что на чистом воздухе давление в пределах «холостого хода» - 100-200 мм.в.ст. (1-2 кПа).

9. Защиты системы ПВК

Схема системы ПВК с размещением штатных приборов представлена на рисунке.

9.1 Защиты системы ПВК выполняют оперативные переключения при следующих нарушениях работы:

9.1.1 Снижение давления воздуха в коллекторе ПВК котла.

Защита выполнена по схеме «два из трёх» и действует на останов системы ПВК с выдержкой времени 10 сек при снижении давления до 10 кПа в коллекторе ПВК котла и переводе котла на растопочный режим.

9.1.2 Регулирование давления воздуха в напорном коллекторе ПВК котла, как и в общем коллекторе не предусмотрено, и оно должно быть максимальным при полностью открытых задвижках и обратных клапанах работающих воздуходувок.

9.3 Автоматический ввод резерва воздуходувок

Для надежной работы системы ПВК установленные турбовоздуходувки резервируются автоматическим вводом резерва (АВР), обеспечивающим включение резервной турбовоздуходувки (которая выбрана ключом «Переключатель режимов» в положение «Резерв») в следующих случаях:

- при снижении давления воздуха в общем коллекторе ПВК до 30 кПа;
- при отказе работающей турбовоздуходувки по электрической части.

Задвижка на нагнетании резервной воздуходувки должна быть всегда открыта.

Утечка воздуха предотвращается её закрытым обратным клапаном

9.4 Дистанционное управление

9.4.1 Быстродействующий клапан на подаче воздуха к коллектору котла закрывается при срабатывании ТЗ - «Останов котла» и может быть дистанционно открыт и закрыт со щита управления

9.4.2 Противопомпажный регулирующий клапан на сбросе воздуха в атмосферу может быть открыт и закрыт дистанционно.

9.4.3. Задвижки на напоре ТВД

При отключении воздуходувки задвижки на напоре остаются открытыми (при условии отсутствия пропуска обратного клапана) и закрываются на время её ремонта. Последующий пуск воздуходувки на коллектор с рабочим давлением производится при открытой задвижке на напоре.

9.4.4 Турбовоздуходувки.

Воздуходувка может быть включена и отключена со щита управления всегда.

10 Основные параметры, контролируемые при эксплуатации системы ПВК.

10.1 Токовая нагрузка электродвигателя воздуходувки.

10.2 Давление воздуха в общем коллекторе ПВК.

10.3 Давление воздуха в коллекторе ПВК котла.

10.4 Давление в байпасах (шунтах) смесителей пыли (давление в начале пылепровода ПВК).

10.5 Расход воздуха на ПВК котла.

10.6 Обороты электродвигателей пылепитателей (выполняются периодически персоналом электроцеха или группы режимов).

10.7 Положение запорных органов на напоре воздуходувок.

10.8 Положение быстродействующего отсечного клапана на воздуховоде от общего коллектора ПВК к коллектору ПВК котла, который при работе пылепроводов ПВК всегда открыт полностью, а при стоящем котле закрыт полностью.

10.9 Температура масла подшипников работающих турбовоздудувок и обмоток их электродвигателей.

11 Указание мер безопасности

11.1 Работа системы ПВК с пылениями не допускается. При возникновении пылений немедленно должны быть приняты меры к их устранению. Взвешенная в воздухе пыль образует взрывоопасную смесь.

11.2 Перед производством сварочных работ на пылепроводах ПВК необходимо тщательно очистить рабочее место и внутренние и внешние поверхности свариваемых деталей от скопившейся пыли.

11.3 При длительном простое пылепитателя необходимо закрывать отсекающий шибер по пыли перед приемным бункером.

11.4 При выводе пылепроводов в ремонт необходимо закрыть шибер по пыли перед приемным бункером пылепитателя, снять напряжение с ключа управления пылепитателя, закрыть вентили подачи воздуха в смесители и вывесить на них запрещающие плакаты на открытие.

11.5 При осмотре и ремонте элементов системы ПВК необходимо пользоваться хорошо защищенной от пыли переносной лампой напряжением 12 В, карманными фонарями и фонарями шахтерского типа.

Список использованных источников

- 1 Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов. (Нормативные материалы). ЦКТИ, Ленинград, 1971.
- 2 Системы и оборудование пылепитания паровых котлов. Труды ЦКТИ, г. Ленинград, 1983г.
- 3 И. Е. Идельчик. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 1960.
5. Инструкция по обеспечению взрывобезопасности топливоподачи и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива С0153-34.03.352-2003.

