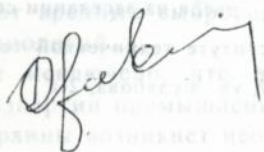


**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕПЛОФИЗИКИ**

На правах рукописи

КРАВЕЦ АНАТОЛИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ

**Повышение эффективности
сжигания низкосортных углей
на ТЭС с мощными энергоблоками.**



Специальность 05.14.04 - Промышленная теплоэнергетика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук

Киев - 1997

Диссертация является рукописью
Работа выполнена в Донбасской государственной академии
строительства и архитектуры Министерства образования Украины

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук,
профессор

КЕСОВА
ЛЮБОВЬ АЛЕКСАНДРОВНА

Доктор технических наук,
профессор

СИГАЛ
ИСААК ЯКОВЛЕВИЧ

Доктор технических наук.

НОСАЧ
ВИЛЬЯМ ГРИГОРЬЕВИЧ

Ведущая организация - Научно-технический центр угольных энерготехнологий НАН Украины и Минэнерго Украины. Защита диссертации состоится "8" апреля 1997 г., в 14 часов на заседании специализированного ученого совета Д 50.04.02 в Институте технической теплофизики НАН Украины по адресу: 252057, г. Киев - 57, ул. Желябова, 2-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института технической теплофизики НАН Украины.

Автореферат разослан "7" марта 1997г.

Ученый секретарь
специализированного
ученого совета
доктор технических наук



Ф. А. Кривошей

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00753613 (P)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Вопрос повышения надежности и экономичности тепловых электростанций всегда актуален. Топливо-энергетический комплекс имеет большой удельный вес в экономике любой высокоразвитой страны. Для Украины, имеющей довольно мощную энергетическую базу, снижение расхода топлива на выработку электроэнергии является одним из важных факторов, который может в определенной мере снизить напряженность в производственной и социальной сферах.

Основу электроэнергетики Украины составляют ТЭС, работающие на твердом топливе, и АЭС. В связи с предстоящим закрытием Чернобыльской АЭС и сложившимися трудностями с переработкой отработанного ядерного топлива на российском заводе возрастет удельный вес пылеугольных электростанций в энергобалансе страны. Однако в условиях глубокого экономического кризиса добыча угля постоянно снижается и не может удовлетворить потребностей энергетической отрасли. К тому же ухудшается качество добываемого топлива, особенно заметно возрастает его зольность. В этих условиях на первый план выходят вопросы рационального сжигания топлива, защиты окружающей среды от вредных выбросов ТЭС, применения энергосберегающих технологий.

Не исключено, что для удовлетворения потребностей в электроэнергии промышленности, сельского хозяйства и населения Украины возникнет необходимость ввоза угля из-за рубежа. Тогда энергетики столкнутся с проблемой сжигания топлив с новыми характеристиками в неприспособленных для работы на них парогенераторах. Период освоения сжигания этих углей может затянуться на длительное время, а это отрицательно скажется на надежности и экономичности ТЭС.

С ростом промышленного производства потребуется строительство новых и реконструкция действующих электростанций, на многих из которых износ основных фондов составляет 70-80%.

При разработке проектов на строительство и реконструкцию ТЭС на новых видах углей проектировщики, как правило, располагают весьма скудными экспериментальными данными об особенностях зажигания и выгорания сжигаемого топлива, о выборе горелочных устройств, типов воздухоподогревателей, схем пылесжигания и размола топлива, компоновки оборудования и др., что затрудняет принятие оптимальных проектных решений и в ряде случаев является основной причиной, препятствующей достиже-

нию проектных показателей на вводимых в эксплуатацию энергоблоках.

Настоящая работа может в определенной мере восполнить этот пробел. С этой целью в ней приведены методы и результаты исследований топочного процесса при сжигании экибастузских углей, пылеприготовительного оборудования, сделан обобщенный анализ опыта эксплуатации электростанций с мощными энергоблоками.

Цели работы - разработка научных основ оптимизации зажигания и выгорания факела высокозольного экибастузского угля в топках парогенераторов и новых технических решений для проектирования пылеугольных ТЭС с мощными энергоблоками, апробация полученных результатов на действующих электростанциях и проверка их эффективности, оценка перспектив развития углеразмольного оборудования.

В соответствии с этими целями поставлены следующие задачи исследований:

1. Экспериментальные исследования топочного процесса на изотермических и огневых моделях, а также на натурном парогенераторе.
2. Исследования по определению оптимальной тонкости помола экибастузского угля.
3. Исследованием зависимостей температуры газов на выходе из топки, местоположения максимума температур, коэффициента тепловой эффективности экранов ψ и параметра "М" от тонкости пыли.
4. Исследование работы пылеприготовительного оборудования с молотковыми мельницами и разработка технических решений по его модернизации.
5. Оценка экономической эффективности схем пылесжигания и размола экибастузских углей.
6. Анализ опыта эксплуатации электростанций на экибастузских углях, оценка эффективности принятых проектных решений.

Научная новизна. Получены основные закономерности топочного процесса при сжигании высокозольного экибастузского угля и определены условия, обеспечивающие эффективное использование топлива. Разработаны новые технические решения по проектированию пылеугольных ТЭС с мощными энергоблоками и по модернизации оборудования пылеприготовления. Определены перспективы развития углеразмольного оборудования.

На защиту выносятся следующие новые научные результаты:

- результаты исследований основных закономерностей зажигания и выгорания пыли высокозольного экибастузского угля в топке парогенератора с вихревыми горелками.

- конструкция вихревой горелки с конкретными параметрами крутки аэросмеси и вторичного воздуха, обеспечивающими устойчивое и раннее зажигание факела и эффективное выгорание топлива.

- изменение поправки на смещение ядра факела вверх топки по сравнению с рекомендациями нормативного метода расчета котельных агрегатов.

- зависимость температуры газов на выходе из топки, коэффициента тепловой эффективности экранов и параметра "М" от тонкости пыли.

- результаты исследований по определению оптимальной тонкости помола экибастузского угля.

- зависимость температуры продуктов сгорания на выходе из топки от условий зажигания факела и от загрязнения топочных экранов.

- зависимости срока службы бил, оптимальной производительности и расхода электроэнергии на разمول от числа оборотов ротора молотковой мельницы.

- технико-экономическое обоснование целесообразности применения среднеходных и молотковых мельниц для размола каменных и бурых углей.

- результаты анализа опыта эксплуатации электростанций, работающих на экибастузских углях.

- экспресс-метод оценки эффективности новых технических решений при проектировании пылеугольных ТЭС с мощными энергоблоками.

Практическая ценность.

1. Разработана конструкция вихревой горелки с параметрами крутки аэросмеси и вторичного воздуха, обеспечивающими раннее зажигание и эффективное выгорание факела.

2. Установлена оптимальная тонкость помола экибастузского угля в молотковых мельницах, которая составляет $R_{90}=22-26\%$. Работа на такой тонкости помола позволила снизить износ мелющих органов и расход электроэнергии на разمول топлива.

3. Разработаны технические решения по модернизации пылеприготовительного оборудования с молотковыми мельницами.

4. Разработан экспресс-метод оценки качества проектных решений.

5. Разработаны технические решения для проектирования пылеугольных ТЭС с мощными энергоблоками, которые послужили основой для создания нового унифицированного проекта ГРЭС мощностью 4000 МВт (8x500МВт), использованного для строительства Экибастузской ГРЭС-2 и Южно-Казахстанской ГРЭС.

Внедрение результатов исследований.

1. Разработан и реализован на Ермаковской ГРЭС комплекс мероприятий по модернизации оборудования (горелочных устройств, молотковых мельниц, пылераспределителей и др.). Это позволило обеспечить надежную и экономичную работу парогенераторов, довести их КПД до 92,2-92,8%, что на 0,8% превышает проектное значение.

2. Разработаны технические условия на проектирование парогенераторов П-57Р для Экибастузской ГРЭС-2 и Южно-Казахстанской ГРЭС.

3. Разработан унифицированный проект ГРЭС мощностью 4000 МВт, который использован для строительства Экибастузской ГРЭС-2 и Южно-Казахстанской ГРЭС.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований и основные положения диссертации докладывались на Всесоюзных, республиканских, зональных научных конференциях и научно-технических совещаниях более 10 раз.

По материалам диссертации опубликовано 20 печатных работ.

1. Основные закономерности зажигания и выгорания факела высокосольного экибастузского угля.

Характерной особенностью проведенных исследований является то, что на действующем парогенераторе был выполнен большой комплекс работ по подготовке основного и вспомогательного оборудования с устранением выявленных при ревизии дефектов, оснащению его всеми измерительными устройствами и приспособлениями в объеме опытного образца, проводилась тщательная подготовка каждой серии опытов.

В этой работе изучались процессы воспламенения и горения топлива с целью определения эффективности работы горелочных устройств и топочной камеры, экспериментально исследованы основные характеристики процесса по всей длине факела. Для этого в поперечных сечениях факела, расположенных на различном удалении от устья горелок, измерялись:

- поля скоростей газового потока;

- поля температур;
- поля концентрации пыли;
- поля газового состава (O_2 , CO_2 , CO др.);
- поля выгорания топлива.

Для определения эффективности работы лучевоспринимающих поверхностей в топке (экранов) были замерены падающие и отраженные лучистые потоки. Учитывая большие габариты топки испытываемого парогенератора, а также максимальные размеры применяемых зондов ($L_{max}=6m$), исследовалось вертикальное сечение топки, включающее факел крайней (пристенной) горелки и половину факела соседней (средней) горелки. Для получения подробной картины топочного процесса были смонтированы дополнительные лючки в плоскости, перпендикулярной горизонтальным осям горелок, на уровне нижнего яруса, а также на вертикальном участке факела по оси топки в двух промежуточных сечениях между уровнями верхнего яруса горелок и верха топки. Расположение лючков в сечении горелок предусматривало снятие полей на расстоянии 225, 640, 1280, 1990, 3855 мм от устья горелок правой боковой стены, что составляло соответственно 0,165; 0,47; 0,94; 1,471 и 2,84Д, где Д - диаметр амбразуры горелки.

На рис.1 представлена схема расположения лючков топки парогенератора ПК-39-II, через которые вводились измерительные трубки и зонды.

Детальные натурные исследования топки парогенератора ПК-39-II, проведенные коллективами КазНИИЭнергетики, Сибирского отделения ОРГРЭС и Ермаковской ГРЭС при непосредственном участии автора выявили неудовлетворительное зажигание факела на установленных заводских горелках с прямоточным вводом аэросмеси и значительное превышение (на $100-140^{\circ}C$) температуры газов на выходе из топки по сравнению с расчетным значением.

Необходимость этих исследований обуславливалась также тем, что на котлах Ермаковской ГРЭС впервые в отечественной практике была применена схема пылесжигания с прямым вдуванием пыли и молотковыми мельницами, поэтому не было надежных данных для обоснованного технико-экономического сопоставления этой схемы сжигания угольной пыли с известной схемой с шаровыми барабанными мельницами (ШБМ) и промежуточным бункером. Проведенное исследование включало изучение аэродинамики и процесса горения пылеугольного факела в топочном объеме, исследование теплообмена, динамики и уровня образования окислов азота, абразивности летучей золы.

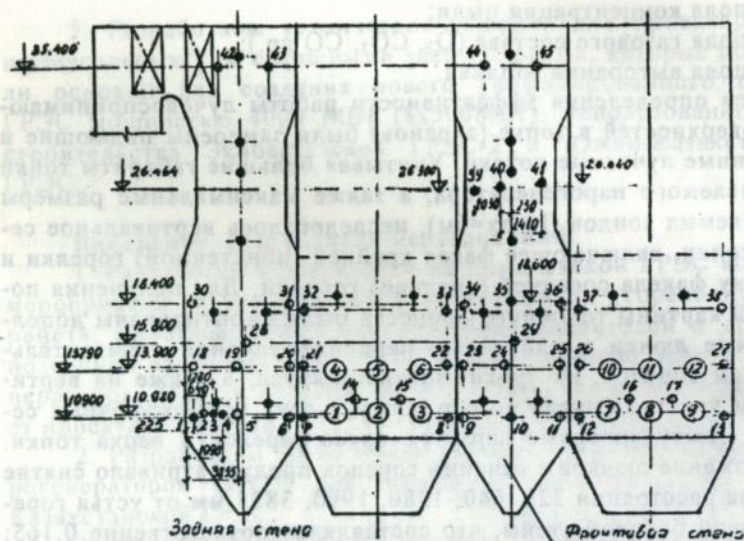


Рис.1. Схема расположения лючков на стенах топки.

При проведении испытаний парогенератора было установлено, что проектные горелки не обеспечивают устойчивого и раннего (при $\bar{X}=1,0$) воспламенения пылеугольного факела.

На рис.2. приведены профили температур, измеренных в поперечных сечениях пылеугольного факела, создаваемого горелкой на различных расстояниях от амбразуры. Как видно из представленных данных, до значений $X=1990$ мм и более в приосевой зоне температура смеси имеет значение, близкое к температуре первичного воздуха, и окончательное выравнивание профиля температуры, т.е. зажигание факела, происходит только при $X=3855$ мм ($\bar{X}=2,85$).

При испытании было также обнаружено, что сопротивление горелок в значительной степени зависит от угла установки лопаток и направления крутки воздушного потока в горелке. В частности, замечено, что при изменении направления вращения на противоположное происходило падение или увеличение сопротивления горелки.

Для изучения путей уменьшения гидравлического сопротивления горелок и установления причины зависимости его от направления крутки, были проведены аэродинамические исследования модели горелки, изготовленной в масштабе 1:5. Механизм поворота лопаток позволял менять их угол установки от 0° до 70° как в правую, так и в левую стороны.

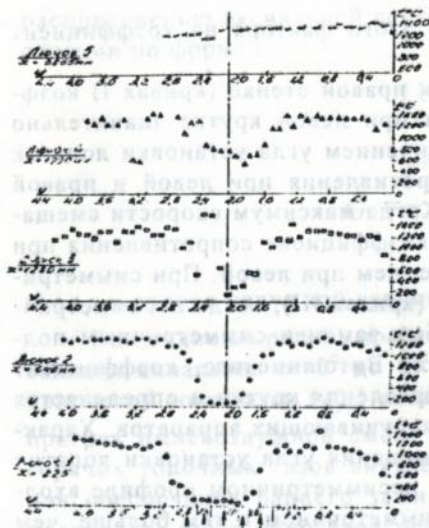


Рис.2. Профили температур в поперечных сечениях факела.

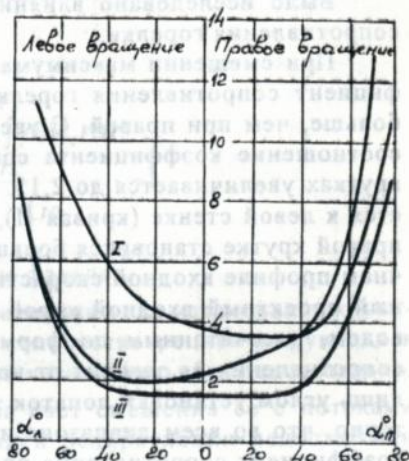


Рис.3. Зависимость сопротивления горелки от крутки вторичного воздуха.

Скорость в опытах изменялась в пределах 5-20 м/с. Коэффициент сопротивления рассчитывался по общепринятой формуле:

$$\xi = \frac{2P_{ст}}{\rho u^2} + \left(\frac{F_2}{F_1} \right)^2;$$

где $P_{ст}$ - статическое давление во входном сечении горелки;
 F_1, F_2 - площади сечения на входе и выходе из горелки;
 u - среднерасходная скорость на выходе из горелки;
 ρ - плотность воздуха.

В результате экспериментов подтвердилась зависимость коэффициента сопротивления горелки от направления крутки потока (рис.3).

Причиной этого является неравномерность профиля скорости во входном сечении горелки по вторичному воздуху.

Было исследовано влияние этого фактора на коэффициент сопротивления горелки.

При смещении максимума к правой стенке (кривая I) коэффициент сопротивления горелки при левой крутке значительно больше, чем при правой. С увеличением угла установки лопаток соотношение коэффициента сопротивления при левой и правой крутках увеличивается до 2,15. Когда максимум скорости смещается к левой стенке (кривая II), коэффициент сопротивления при правой крутке становится больше, чем при левой. При симметричном профиле входной скорости (кривая III), когда несимметричный проектный входной короб был заменен симметричным подводом, рассчитанным по формуле Витошинского, коэффициент сопротивления не зависит от направления крутки и определяется лишь углом установки лопаток закручивающих аппаратов. Характерно, что во всем диапазоне изменения угла установки лопаток коэффициент сопротивления при несимметричном профиле входной скорости больше, чем при симметричном и тем больше, чем больше несимметричность входной скорости.

Таким образом, при несимметричном профиле входной скорости вторичного воздуха турбулентные горелки не являются реверсивными. Поэтому заводы-изготовители должны испытывать каждую горелку на стенде и устранять несимметричность профиля входной скорости.

Исследование проектной горелки на изотермическом горелочном стенде позволило установить зависимость количества рециркулирующих в приосевой зоне газов от угла установки закручивающих аппаратов при существующем подводе вторичного воздуха (вращение по часовой стрелке). Массовый расход в нужном сечении зоны приосевой рециркуляции определяется по распределению аксиальной составляющей по формуле:

$$\bar{G}_P = \frac{2\pi \int_0^{r_0} \rho W_x r dr}{G_0}$$

где W_x - аксиальная составляющая скорости;

r_0 - координата точки в приосевой зоне, где аксиальная составляющая скорости равна нулю;

r - текущий радиус;

G_0 - расход воздуха через горелку.

Эжектирующая способность факела также находится по распределению аксиальной составляющей скорости в поперечном сечении по формуле:

$$\bar{G} = \frac{2\pi \int_{r_0}^{r_n} \rho W_x r dr}{G_0} - 1$$

где r_n - радиус наружной границы факела.

Как видно из рис.4., при изменении угла установки закручивающих аппаратов от 0° до 45° количество рециркулирующих в приосевой зоне газов (G_p) растет незначительно, следовательно, прогрев пылевоздушной смеси за счет смешения ее с потоками горячих топочных газов внутренней рециркуляции недостаточен для обеспечения раннего зажигания факела. Резкое увеличение количества газов приосевой рециркуляции происходит при углах установки закручивающих аппаратов более 45° . При этих углах рост количества рециркулирующих к устью горелки топочных газов происходит быстрее, чем увеличение площади зоны, занимаемой этими газами, что свидетельствует о создании условий для устойчивого и более раннего зажигания факела.

Для уточнения приведенных выше данных, полученных при изотермических продувках, горелочное устройство парогенератора ПК-39-II Ермаковской ГРЭС было исследовано на опытном огневом стенде. Зажигание и выгорание факела экибастузского угля изучалось при трех значениях угла установки закручивающих аппаратов вторичного воздуха.

На рис.5 приведено изменение температуры по оси факела по мере увеличения расстояния от среза горелки. Как видно из этих данных, условия зажигания факела при значениях угла установки лопаток 30° и 45° практически одинаковы. Резкое улучшение зажигания факела имеет место при угле установки завихрителя равном 60° . Длина участка зажигания при этом сокращается более чем втрое. Однако при угле установки закручивающих аппаратов, равном 60° , резко возрастает сопротивление горелки. Последнее в эксплуатационных условиях может привести к ограничению по дутью и необходимости работы парогенератора при неоптимальном избытке воздуха. Таким образом, выполненное на моделях исследование работы горелочного устройства парогенератора Ермаковской ГРЭС показало необходимость реконструкции существующей горелки. В частности, было установлено, что для получения тех же величин крутки всего потока, но при прие-

млемых углах закрутки вторичного воздуха (меньше 60°) нужно заменить незакрученный поток аэросмеси на закрученный. На основании исследований, проведенных на горелочном стенде, оптимальным с точки зрения сопротивления и износа лопаток был выбран угол закрутки аэросмеси 30° . Для упрощения конструкции горелки закручивающий аппарат выполнен нерегулируемым. Модернизированные таким образом горелки были установлены на парогенераторе ст. N3A.

На рис.6. приведены данные по распределению аксиальной составляющей скорости и температуры в поперечных сечениях факела горелки N9 натурного котла на различных расстояниях от устья для разных значений угла установки завихрителя. Сравнение данных, приведенных на рис.2, с данными из рис.6 показывает, что уже при углах $\alpha_{зав}=45^\circ$ имеет место быстрое зажигание факела. В частности, полное воспламенение факела происходит уже на расстоянии $\bar{X}=0,94$.

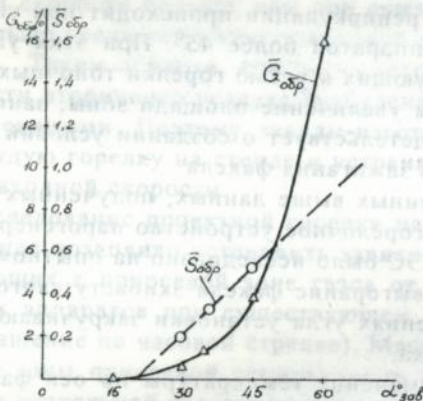


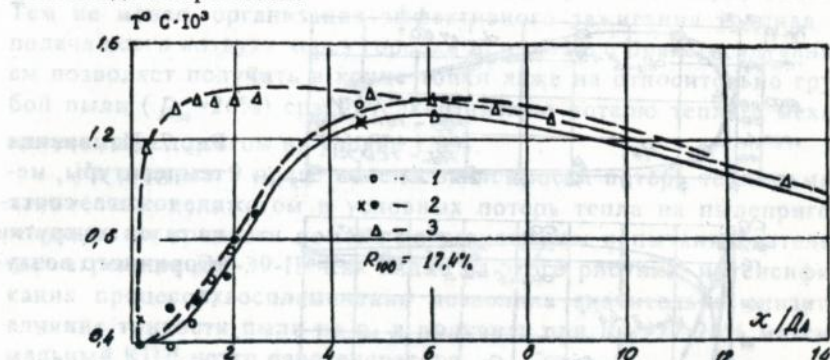
Рис.4. Зависимость количества рециркулирующих газов от закрутки вторичного воздуха

При увеличении закрутки вторичного воздуха ($\alpha_{зав}=60^\circ$) так же, как на модели, хотя и в несколько меньшей степени, наблюдается заметное улучшение процесса зажигания и горения факела.

Характер распределения скоростей и температур при этом приведен на рис.6а. Как видно из этих данных, уже в сечении $\bar{X}=0,16$ в приосевой зоне находятся высокотемпературные топочные газы ($t=1200^\circ\text{C}$), то есть имеются развитые по ширине ($0,7d_0$) и по глубине ($1,1d_0$) токи рециркуляции. Это приводит к тому,

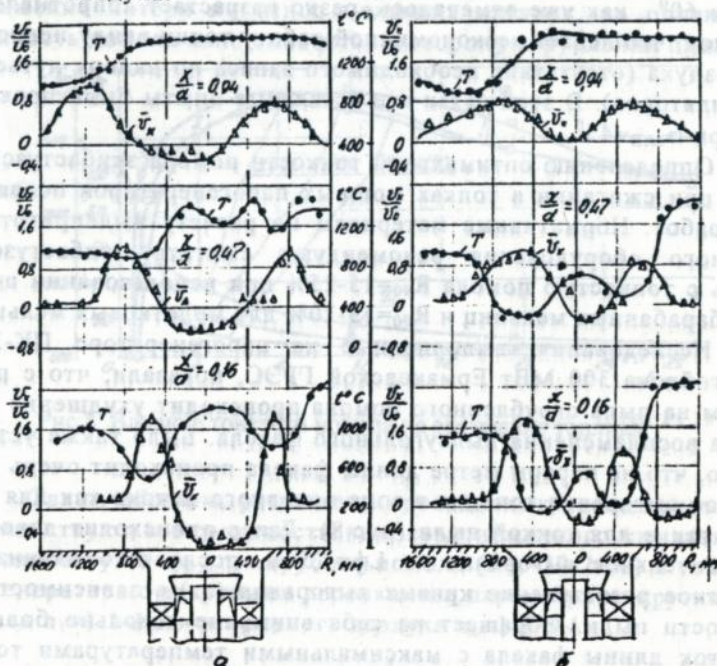
что устойчивое воспламенение факела происходит уже на расстоянии $\bar{X}=0,5$. На рис.7 приведены изменения температуры, выгорания и состава газов по длине факела при углах установки завихрителя 45° и 60° . Как видно из этого рисунка, температура горения при $\alpha_{зав}=60^\circ$ несколько выше (на $30-40^\circ\text{C}$), однако на выходе из топки она практически совпадает с ее значением при $\alpha_{зав}=45^\circ$. Влияние закрутки воздуха сказывается на выгорании топлива лишь в близлежащих к устью сечениях. В дальнейшем влияние закрутки воздуха не проявляется ввиду слабого изменения выгорания по длине факела. Температура газов на выходе из

топки на $50-70^{\circ}\text{C}$ ниже, чем на заводских горелках с прямоточным вводом аэросмеси.



1- $\alpha=30^{\circ}$; 2- $\alpha=45^{\circ}$; 3- $\alpha=60^{\circ}$

Рис. 5. Зависимость температуры газов от крутки вторичного воздуха.



а) $n_2 = 3.4$; б) $n_2 = 1.8$

Рис. 6. Изменение аксиальной составляющей скорости и температуры от крутки вторичного воздуха

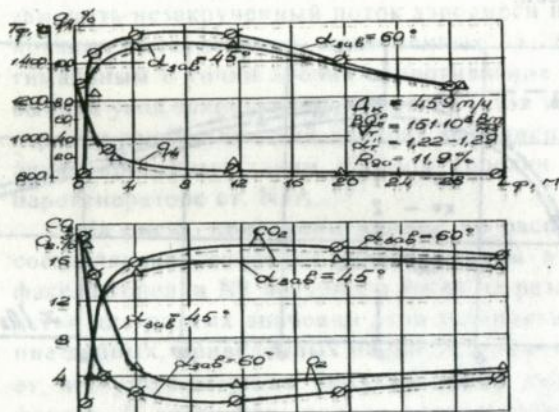


Рис. 7. Изменение температуры, ме-
хнедожога, состава
газов от крутки
вторичного возду-
ха.

Однако, при установке завихрителя вторичного воздуха под углом 60° , как уже отменялось, резко возрастает сопротивление горелок, что делает неэкономичной работу топki ввиду недостатка воздуха (отсутствие необходимого запаса по напору дутьевых вентиляторов). В этой связи все остальные опыты были проведены при $\alpha_{\text{зав}} = 45^{\circ}$.

Определению оптимальной тонкости помола экибастузского угля при сжигании в топках мощных парогенераторов посвящен ряд работ. Нормативные материалы по расчету пылеприготовительного оборудования рекомендуют сжигать экибастузский уголь с тонкостью помола $R_{90} = 15-25\%$ при использовании шаровых барабанных мельниц и $R_{90} = 15-20\%$ для молотковых мельниц.

Исследования, выполненные на парогенераторе ПК-39-П энергоблока 300 МВт Ермаковской ГРЭС, показали, что с переходом на пыль огрубленного помола происходит ухудшение процесса воспламенения пылеугольного факела. Было также установлено, что на первом метре длины факела происходит очень медленное выгорание топлива в зоне основного потока как для грубой, так и для тонкой пыли (рис. 8). Далее происходит довольно стремительное выгорание до $L_f = 1,5 \text{ м}$, после чего начинается заметное разветвление кривых выгорания (q_4) в зависимости от тонкости пыли. Обращает на себя внимание довольно большой участок длины факела с максимальными температурами топочных газов, причем местоположение ядра факела, зафиксированное по точкам перегиба кривых распределения температур по длине факела, во всех случаях находится выше уровня осей горелок верхнего яруса.

С огрублением пыли выгорание экибастузского угля затягивается с одновременным смещением ядра факела к верху топки. Тем не менее, организация эффективного зажигания топлива и подача всего воздуха через горелки при схеме с прямым вдуванием позволяет получить в конце топки даже на относительно грубой пыли ($R_{90}=26\%$) сравнительно низкую потерю тепла с механическим недожогом на уровне 1,3%.

На рисунке 9 представлены зависимости потерь тепла с механическим недожогом и условных потерь тепла на пылеприготовление от тонкости помола по результатам испытаний котельных агрегатов ПК-39-II. Как видно из этого рисунка, интенсификация процесса воспламенения позволила значительно снизить влияние тонкости пыли на q_4 и получить при $R_{90}=22-26\%$ максимальный КПД нетто парогенератора.

Подсчёт потерь тепла произведен без учёта затрат на износ металла размольных органов, который по данным УралВТИ в диапазоне огрубления пыли от $R_{90}=10\%$ до $R_{90}=19\%$ уменьшается почти в два раза (с $q_m=1.6\%$ до $q_m=0.9\%$). Поэтому, если учесть снижение потери на износ мелющих органов, то оптимальная тонкость помола явно сместится в сторону огрубления пыли.

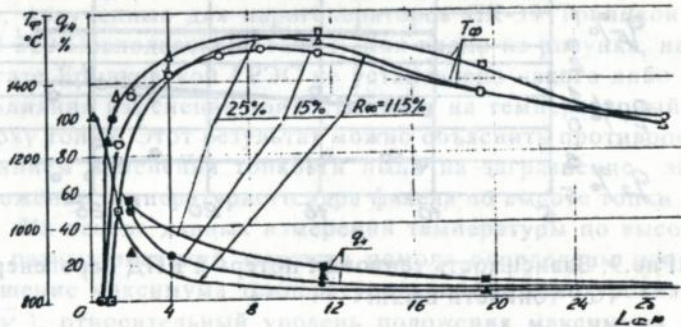


Рис. 8. Влияние тонкости помола на выгорание топлива.

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о возможности высокоэкономичного сжигания пыли экибастузского угля грубого помола ($R_{90}=22-26\%$) в топке парогенератора с вихревыми горелками и параметрами крутки аэро-смеси $n_1=1.1-1.5$ и вторичного воздуха $n_2=1.8-3.4$.

Опыт/ Обозн.	1-3	2-1	2-2	3-1	5-2	8	11	18	19
$\Delta k, \text{ м/ч}$	458	454	450	453	464	448	449	464	465
α_m	1,20	1,27	1,25	1,23	1,19	1,20	1,24	1,18	1,22
$R_{90} \%$	15,3	11,3	11,8	27,2	24,9	14,5	22,7	25,5	10,4
$\alpha_{взв}$	45	45	45	45	45	45	45	45	45
$\alpha_{перв}$	0,302	0,331	0,341	0,315	0,319	0,315	0,334	0,348	0,330
$W_E, \text{ м/с}$	25,4	27,6	27,2	27,6	26,1	25,4	27,2	26,6	26,1
$W_I, \text{ м/с}$	17,6	20,0	19,8	18,1	18,3	18,6	19,8	21,5	21,0

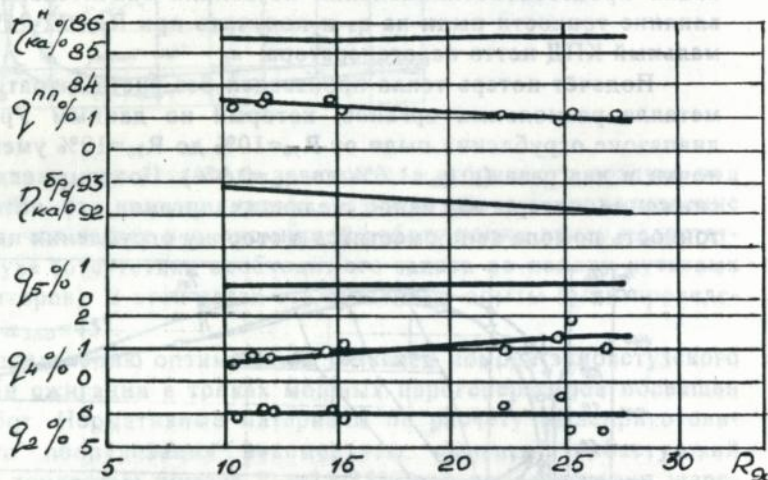


Рис. 9. Зависимость тепловых потерь и КПД парогенератора от тонкости пыли.

2. Особенности теплообмена в топочной камере.

Как отмечалось выше, в процессе освоения парогенераторов Ермаковской ГРЭС было установлено, что температура продуктов сгорания на выходе из топки существенно выше ее расчетного значения. Аналогичное явление наблюдалось и на других парогенераторах, работающих на экибастузских углях.

В проведенных ранее исследованиях ряда авторов отмечалось, что основными причинами повышенной температуры газов вверху топки при сжигании экибастузских углей являются загрязнение экранов и наличие вблизи экранированных стен топки развитых зон с высокой лучепоглощающей способностью и относительно низкой (по сравнению с центральными областями топки) температурой.

Наряду с этими факторами при сжигании высокозольных углей немаловажное значение для условий теплообмена имеет затягивание горения и смещение ядра максимальных температур выше середины горелочной зоны. С этой точки зрения особый интерес представляли опыты со сжиганием пыли разной тонкости помола, поскольку они позволяли не только изучить особенности выгорания высокозольных углей, но и давали возможность уточнить, что же оказывает большее влияние на температуру вверху топки - повышенное загрязнение экранов или затягивание вверх топки ядра горения.

При проведении опытов с разной тонкостью помола после настройки режима работы пылесистемы на заданную тонкость пыли производилась паровая обдувка экранов, что в определенной мере позволило исключить влияние отложений на экранах, образовавшихся при работе парогенератора на пыли другой тонкости помола.

Изменение температуры газов на выходе из топки в зависимости от тонкости помола сжигаемой пыли приведено на рис.13. На этом же рисунке для сравнения приведены аналогичные данные, полученные для парогенераторов ПК-39 Троицкой ГРЭС и БКЗ-320 Павлодарской ТЭЦ-1. Как видно из рисунка, на котлоагрегате Ермаковской ГРЭС не установлено какого-либо заметного влияния изменения тонкости пыли на температурный уровень вверху топки. Этот результат можно объяснить противоположным влиянием изменения тонкости пыли на загрязнение экранов и положение температурного ядра факела по высоте топки.

На основе данных измерений температуры по высоте топки для разных значений тонкости помола определены поправки на смещение максимума температуры относительно уровня горелок ($\Delta \bar{X}$), относительный уровень положения максимума температуры факела по высоте топки ($\bar{X}_r$) и параметр "М". Как уже отмечалось, с огрублением помола ядро факела смещается кверху топки. Получена математическая и графическая зависимость $\bar{X}_r$ от тонкости пыли (кривая $\bar{X}_r$ на рис.11).

$$\bar{X}_r = 0.241 + 0.0059 R_{90}$$

Вычисленное по формуле или графику (рис.11) месторасположение максимума температур для парогенератора ПК-39 при тонкости помола $R_{90}=10\%$ на 1,5 м выше, а при $R_{90}=26\%$ - на 4,5 м выше, чем вычисленное по рекомендациям нормативного метода теплового расчета котельных агрегатов. Смещение ядра факела кверху топки приводит к тому, что величина параметра "М" при

огрублении помола уменьшается (для экибастузского угля она определяется по формуле:

$$M = 0.56 - 0.5 \bar{X}_T,$$

где $\bar{X}_T = \frac{X_T}{H_T}$; H_T - общая высота топки).

Зная величину "М", степень черноты топки a_T , а также действительную температуру на выходе из топки T_T'' и адиабатическую температуру горения топлива T_a , по формуле:

$$\frac{T_T''}{T_a} = \frac{1}{1 + \frac{Ma_T^{0.6}}{Bo^{0.6}}}$$

вычислялось значение критерия Больцмана для разных значений R_{90} .

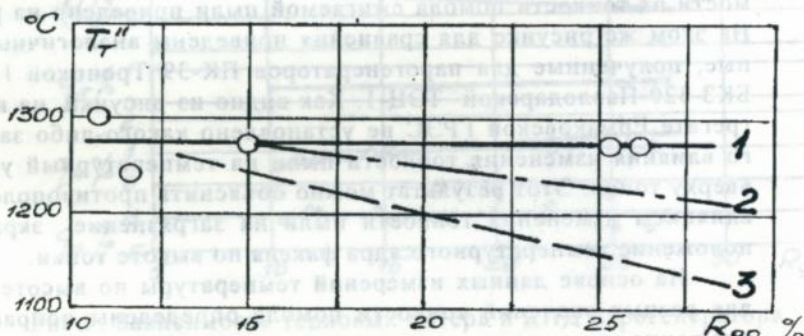


Рис. 10. Изменение температуры газов на выходе из топки в зависимости от тонкости пыли :

- 1 - котел ПК-39-II ЕГРЭС; $D_k=450\text{т/ч}$; $q_F=4.36 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$;
- 2 - котел ПК-39-II ТГРЭС; $D_k=450\text{т/ч}$; $q_F=4.6 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$;
- 3 - котел БК3-320 Павлодарской ТЭЦ-1; $D_k=320\text{т/ч}$; $q_F=3.96 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$.

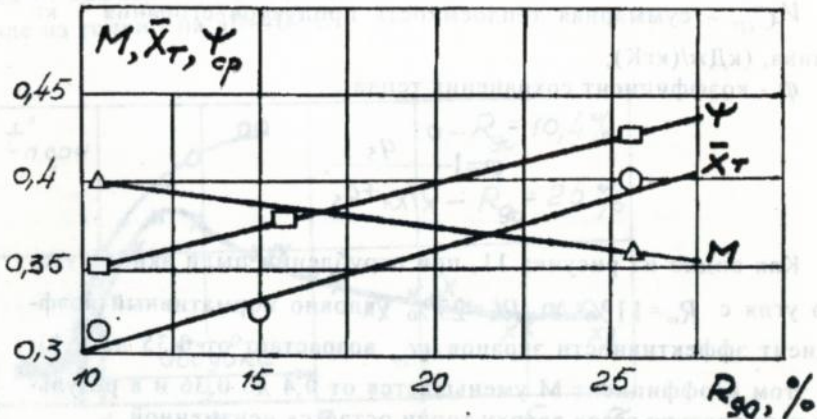


Рис. 11. Изменение месторасположения максимума температур $\bar{X}_T$, параметра "М" и коэффициента эффективности экранов $\psi_{ср}$ при изменении тонкости пыли.

Затем для каждого опыта находилось среднее значение условно нормативного коэффициента эффективности экранов ($\psi_{ср}$) из формулы:

$$\psi_{ср} = \frac{\varphi B_p V C_{ср} 4187}{5,67 \cdot 10^{-8} B_o F_{СТ} T_a^3},$$

где B_p - расчетный расход топлива, кг/с, определяемый по формуле

$$B_p = B(1 - \frac{q_4}{100}),$$

где $B = \frac{Q_{КА}}{Q_H \eta_{КА}} 100$, кг/с;

$F_{СТ}$ - поверхность стен топki, м²;

$5,67 \cdot 10^{-8}$ - энергетическая светимость (коэффициент излучения) абсолютно черного тела, Вт/(м²К⁴);

$V C_{cp}$ - суммарная теплоемкость продуктов сгорания 1 кг топлива, (кДж/(кгК));

φ - коэффициент сохранения тепла

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{KA} + q_5}.$$

Как видно из рисунка 11, при огрублении пыли экибастузского угля с $R_{90}=11\%$ до $R_{90}=27\%$ условно нормативный коэффициент эффективности экранов ψ_{cp} возрастает от 0,35 до 0,43; при этом коэффициент М уменьшается от 0,4 до 0,36 и в результате температура газов вверху топки остается неизменной.

Однако при разработке парогенераторов ПК-39 не было учтено уменьшение параметра "М" вследствие смещения ядра факела к верху топки. Поэтому расчетная температура продуктов сгорания на выходе из топки оказалась заниженной.

Таким образом, при расчете теплообмена в топке на экибастузских углях следует учитывать изменение от тонкости пыли не только коэффициента Ψ , но и М.

При проведении опытов по выявлению влияния тонкости помола на теплообмен в топке, как уже отмечалось, проводилась паровая обдувка экранных поверхностей нагрева. В этой связи представляет определенный интерес оценка эффективности обдувки экранов. Для этой цели замерялось изменение температуры пара отдельно для НРЧ и СРЧ, и по замеренным расходам пара определялось изменение тепловосприятия экранных поверхностей. На рис.12 приведено изменение температуры пара после СРЧ для двух значений тонкости помола. Как видно из этих данных, при включении обдувочных аппаратов температура пара после СРЧ повышается на $20-30^0$ С. При этом большее значение относится к случаю более тонкой пыли ($R_{90}=10\%$). Из этого же рисунка видно, что эффект обдувки для пыли с $R_{90}=25\%$ практически исчезает через четыре часа. Для тонкой пыли влияние обдувки сохраняется, по-видимому, несколько дольше. На рис.13 показано увеличение тепловосприятия НРЧ и СРЧ после обдувки для двух значений тонкости помола топлива. Увеличение тепловосприятия СРЧ для пыли с $R_{90}=10\%$ достигает 35%, для НРЧ - 20%. Для пыли с $R_{90}=25\%$ оно составляет соответственно 25% и 15%. При включении обдувочных аппаратов происходит снижение общего температурного уровня в топке, что легко заметить

из рисунка 14. Температура в ядре факела снижается на $70-80^{\circ}\text{C}$, а на выходе из топки - на $30-40^{\circ}\text{C}$.

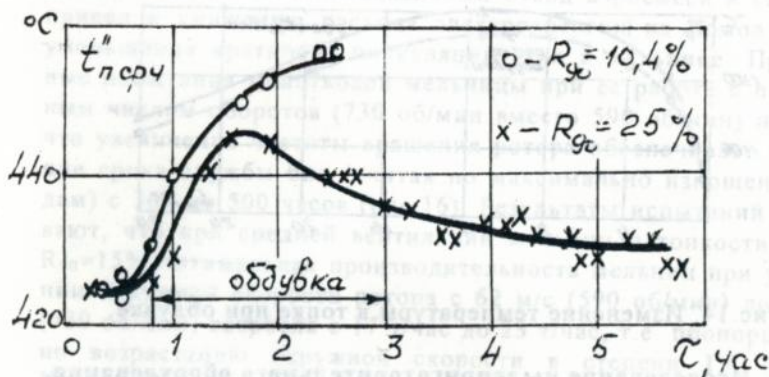


Рис.12. Изменение температуры пара за СРЧ после обдувки.

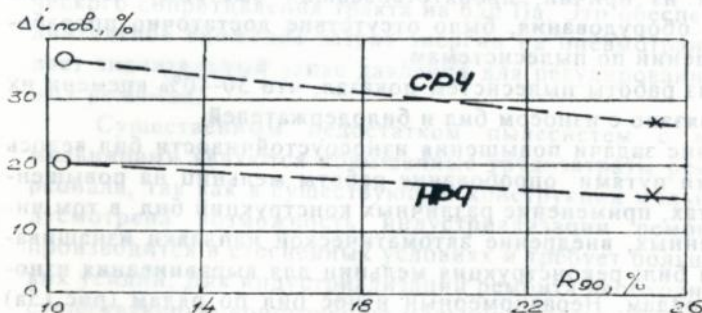


Рис.13. Изменение тепловосприятия СРЧ и НРЧ после обдувки.

Таким образом, выполненное исследование позволило установить, что за счет улучшения процесса зажигания факела можно снизить температуру газов на выходе из топки на $50-70^{\circ}\text{C}$. Включение обдувочных аппаратов позволяет снизить температурный уровень в конце топки на $40-45^{\circ}\text{C}$. Совместное воздействие этих двух факторов может снизить температуру газов на выходе из топки практически до расчетного значения. Результаты опытов с включением обдувочных аппаратов показывают, что при проектировании мощных парогенераторов с сухим шлакоудале-

нием на высокозольных углях целесообразно предусматривать эффективную обдувку экранных поверхностей нагрева.

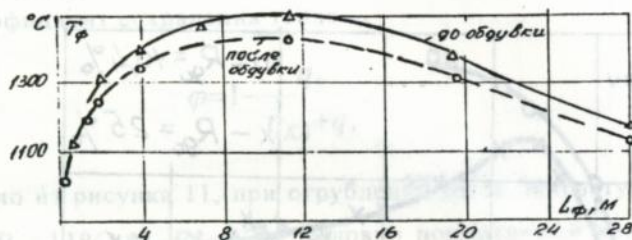


Рис.14. Изменение температуры в топке при обдувке.

3. Исследование пылеприготовительного оборудования.

Исследование работы парогенератора ПК-39-II показало, что его рациональная эксплуатация может быть обеспечена только при надежной работе пылесистем и подаче в топку пыли оптимальной тонкости помола.

Одной из причин, препятствовавших быстрому освоению котельного оборудования, было отсутствие достаточно проработанных решений по пылесистемам.

Анализ работы пылесистем показал, что 30-40% времени их простоя связано с износом бил и билодержателей.

Решение задачи повышения износоустойчивости бил велось несколькими путями: опробование работы мельниц на повышенных оборотах, применение различных конструкций бил, в том числе удлиненных, внедрение автоматической наплавки изнашиваемой части бил; реконструкция мельниц для выравнивания износа бил по рядам. Неравномерный износ бил по рядам (рис.15а) существенно снижал кампанию работы мельниц, так как для замены быстроизнашиваемых крайних рядов бил требовались остановки пылесистем. Повышенный износ крайних рядов бил вызван конструктивными недостатками проектного варианта молотковых мельниц. В частности, возврат наиболее твердых фракций из сепаратора был направлен на крайние ряды бил, неудачный отвод пылевоздушной смеси в сепаратор приводил к увеличению кратности циркуляции топлива в мельнице. Выравнивание износа бил по длине ротора мельницы было достигнуто в основном за счет выполнения тангенциального отвода пылевоздушной смеси в сепаратор и изменения схемы возврата из внутреннего конуса сепаратора (возврат направлен в среднюю часть мельницы). Характер износа бил по длине ротора после ее реконструкции приведен на рис.15б.

Как видно из этого рисунка, после реконструкции мельницы износ по рядам выравнился, и в течение всей кампании работы мельницы замена бил крайних рядов не требовалась. Кроме снижения износа бил тангенциальный отвод аэросмеси в сепаратор привел к снижению расхода электроэнергии на помол за счет уменьшения кратности циркуляции угля в мельнице. Проведенные испытания молотковой мельницы при ее работе с повышенным числом оборотов (730 об/мин вместо 590 об/мин) показали, что увеличение частоты вращения ротора обеспечивает повышение срока службы бил (считая по максимально изношенным рядам) с 360 до 500 часов (рис.16). Результаты испытаний показывают, что при средней вентиляции мельниц и тонкости помола $R_{90}=15\%$ оптимальная производительность мельниц при увеличении окружной скорости ротора с 62 м/с (590 об/мин) до 77 м/с, (730 об/мин) возросла с 17 т/час до 23 т/час, т.е. пропорционально возрастанию окружной скорости в степени 1,4 (рис.17). Удельный расход электроэнергии на размол при той же производительности снизился с 18,8 до 18,1 кВт.ч/т топлива. Для конкретных условий эксплуатации ($B=20-28$ т/час) перевод мельниц на частоту вращения 730 об/мин обеспечивает снижение удельного расхода энергии на размол примерно на 1 кВт.ч/т и аэродинамического сопротивления тракта на 650 Па. Это обеспечивает дополнительное снижение затрат энергии на пневмотранспорт и создает значительный запас давления для регулирования в переходных режимах.

Существенным недостатком пылесистем с молотковыми мельницами являются повышенные трудозатраты ремонтного персонала, так как в существующей конструкции мельницы не предусмотрена возможность индустриализации ремонта. Ремонт производится в стесненных условиях и требует больших физических усилий. Для индустриализации ремонта необходимо изменить существующую конструкцию мельницы таким образом, чтобы замена изношенных бил сводилась к замене ротора с заранее развешенными билами (в этом случае нет необходимости ожидать остывания мельницы).

Ремонт ротора с заменой бил должен производиться на специально оборудованном стенде, что позволит резко повысить качество ремонта.

Для увеличения срока службы бил до 1500 часов и более необходимо организовать автоматическую наплавку бил на заводах-изготовителях со строгим допуском в их весах. Это позволит исключить взвешивание бил при их замене в эксплуатационных условиях и последующую балансировку ротора.

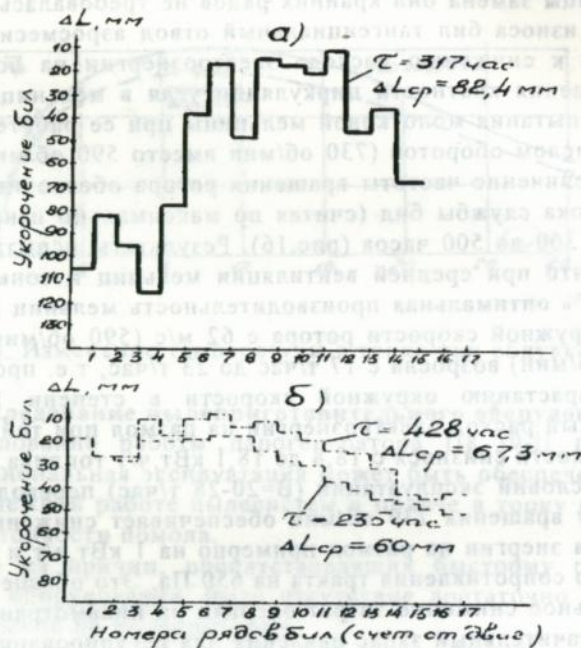


Рис.15. Характер износа бил по длине ротора мельницы.

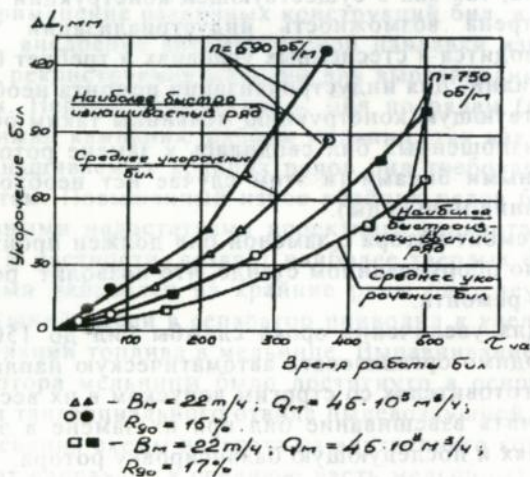
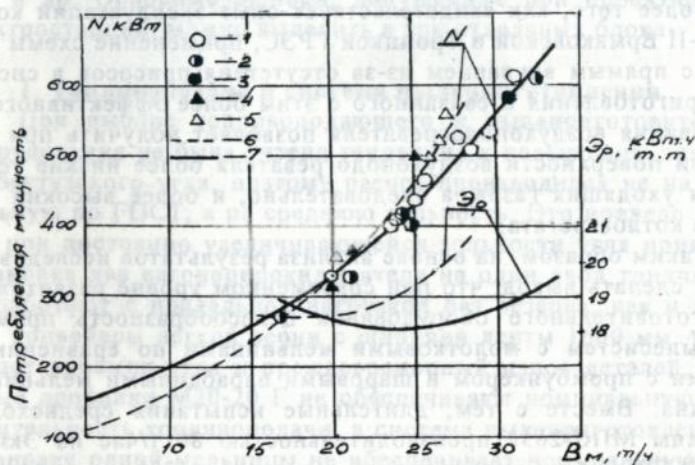


Рис.16. Зависимость срока службы бил от числа оборотов ротора мельницы.

Снижение простоя мельниц в ремонте сократит продолжительность работы парогенератора в менее экономичном трехмельничном режиме.

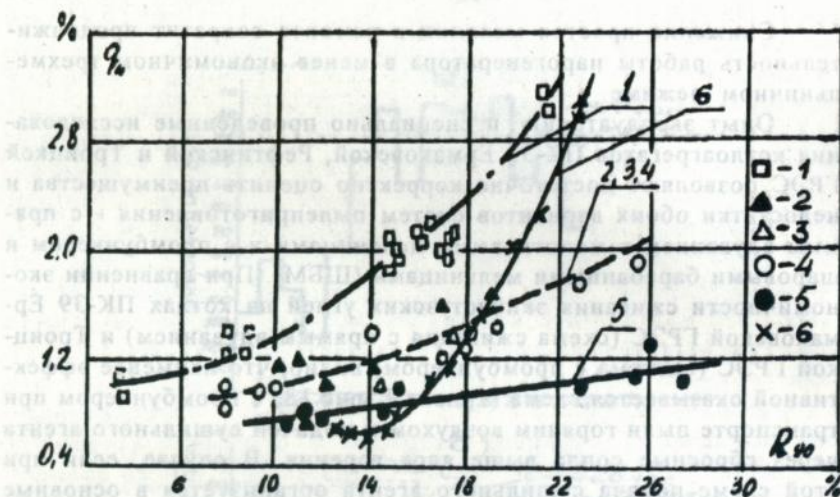
Опыт эксплуатации и специально проведенные исследования котлоагрегатов ПК-39 Ермаковской, Рефтинской и Троицкой ГРЭС позволяют достаточно корректно оценить преимущества и недостатки обоих вариантов систем пылеприготовления - с прямым вдуванием и молотковыми мельницами и с промбункером и шаровыми барабанными мельницами (ШБМ). При сравнении экономичности сжигания экибастузских углей на котлах ПК-39 Ермаковской ГРЭС (схема сжигания с прямым вдуванием) и Троицкой ГРЭС (система с промбункером) видно, что наименее эффективной оказывается схема (кривая 1, рис.18) с промбункером при транспорте пыли горячим воздухом и подачей сушильного агента через сбросные сопла выше ядра горения. В случае, если при этой схеме подача сушильного агента организуется в основные горелки по наружному каналу, эффективность выгорания топлива заметно повышается (кривая 6) и при тонком помоле эта схема по величине потери q_4 становится равноэкономичной со схемой прямого вдувания с молотковыми мельницами. Однако при огрублении помола до $R_{90}=17\%$ схема с ШБМ значительно уступает схеме с прямым вдуванием пыли.



--- $n=590$ об/мин

— $n=730$ об/мин

Рис.17. Зависимость оптимальной производительности и расхода электроэнергии на размол от числа оборотов ротора мельницы.



2,3,4 - котёл ЕГРЭС до реконструкции горелок;
5 - котёл ЕГРЭС после реконструкции горелок.

Рис.18. Зависимость q_4 от тонкости помола.

К тому же приведенные затраты на пылеприготовление в пылесистемах с молотковыми мельницами ниже, чем с ШБМ.

Более того, как свидетельствует опыт эксплуатации котлов ПК-39-II Ермаковской и Троицкой ГРЭС, применение схемы сжигания с прямым вдуванием из-за отсутствия присосов в системе пылеприготовления и связанного с этим более эффективного использования воздухоподогревателя позволяет получить при одинаковой поверхности воздухоподогревателя более низкие температуры уходящих газов, а следовательно, и более высокий КПД brutto котлоагрегата.

Таким образом, на основе анализа результатов исследования можно сделать вывод, что при современном уровне развития пылеприготовительного оборудования целесообразность применения пылесистем с молотковыми мельницами по сравнению со схемами с промбункером и шаровыми барабанными мельницами очевидна. Вместе с тем, длительные испытания среднеходной мельницы МПС-2650 производительностью 80 т/час на Экибастузской ГРЭС-1 и приобретенный в последние 3-4 года опыт эксплуатации таких мельниц на Экибастузской ГРЭС-2 показали, что наряду со всеми достоинствами молотковых мельниц (сравнительно небольшой расход электроэнергии на размол, высокий коэффициент полидисперсности пыли,

относительно слабый шум при их работе и др.) среднеходные мельницы менее чувствительны к попаданию металла и крупных кусков породы, трудовые и материальные затраты на их ремонт гораздо меньше, а кампания непрерывной работы выше, чем у молотковых. Поэтому среднеходные мельницы, как и молотковые, перспективны на ближайшее будущее для размолва каменных и бурых углей.

4. Анализ опыта эксплуатации ТЭС с мощными энергоблоками.

Необходимость выполнения такого анализа была вызвана крайне неудовлетворительной работой Экибастузской ГРЭС-1 и стремлением обеспечить высокую надежность и экономичность строящихся и проектируемых электростанций Экибастузского энергокомплекса. Несмотря на то, что в проекте ЭГРЭС-1 были использованы все результаты исследований топочного процесса и пылеприготовительного оборудования, приведенные выше, предполагаемая мощность электростанции не превышала 50-60% от установленной, а технико-экономические показатели энергоблоков были значительно ниже проектных. Причиной этого были ошибки, заложенные в нормах технологического проектирования электростанций, которые не учитывали ухудшение качества топлива, опыт эксплуатации и ремонтного обслуживания ТЭС, не ориентировали заводов-поставщиков на разработку нового высокоэкономичного оборудования, экологически чистых технологий и др. Основные ошибки, допущенные при проектировании электростанций, можно выделить в три отдельных блока.

1. Топливоподача и система пылеприготовления.

При выборе топливоподающего и пылеприготовительного оборудования не была учтена тенденция к повышению зольности экибастузского угля, поэтому расчет производился не на максимальную по ГОСТ, а на среднюю зольность. Это привело к тому, что при постоянно увеличивающейся зольности угля принятые к установке два вагонепрокидывателя на один ввод топливоподачи работают с предельной нагрузкой без резерва, как и ленточные конвейеры легкой серии с шириной ленты 1600 мм, что вызывает просыпи угля и преждевременный износ деталей; молотковые дробилки М20-20 Г не обеспечивают номинальную производительность топливоподачи, а система пылеприготовления при установке одной мельницы не обеспечивает номинальную нагрузку энергоблока. Высокая скорость движения конвейерных лент (2,1-2,3 м/с) приводит к недопустимой запыленности помещений. Завышенный угол наклона (18^0) галерей топливоподачи способствует скатыванию топлива с лент.

Электротехническое оборудование топливоподачи размещено в помещениях ленточных конвейеров, что в условиях высокой запыленности и влажности снижает надежность его работы и повышает пожарную опасность.

Характерно, что отмеченные недостатки имеют место на всех обследованных электростанциях.

2. Золоулавливание, золошлакоудаление и защита окружающей среды от вредных выбросов.

При проектировании систем золоулавливания и золошлакоудаления не было учтено увеличение концентрации золы в продуктах сгорания вследствие повышения зольности угля. По этой причине была занижена производительность эрлифтных установок, не обеспечивается требуемая санитарными нормами степень очистки дымовых газов от золы. Последнее усугубляется также тем, что при выборе систем золоулавливания не были учтены неблагоприятные электрофизические свойства золы экибастузского угля, в частности, ее высокое удельное электрическое сопротивление, составляющее 10^{13} - 10^{14} Ом см, вызывающее обратную корону, резко снижающую степень очистки газов в электрофильтрах и ухудшающую стабильность процесса очистки при неизбежных в эксплуатации изменениях режимных параметров, особенно при возрастании температуры уходящих газов.

В проектах обследованных ТЭС практически отсутствуют соображения по экологическому аспекту проблем, который в настоящее время выходит на первое место и играет определяющую роль при создании нового оборудования и его эксплуатации. Это относится и к необходимости обеспечения санитарных норм по выбросам NO_x , окислов серы и т.д. как за счет режимных мероприятий, применения новых горелочных устройств, двухступенчатого сжигания и пр., так и сооружения на электростанциях дорогостоящего оборудования для очистки дымовых газов от окислов азота, серы и др.

3. Компонувочные решения и организация ремонтного обслуживания.

Компонувоочные решения тесно увязаны с организацией ремонтного обслуживания оборудования, поэтому эти вопросы объединены в один блок.

Отсутствие разрывов между блоками не позволяет осуществлять подъем мостовыми кранами оборудования, арматуры и обмуровочных материалов с отм. 0,0 м на площадки котлов, производить раскладку деталей вблизи ремонтируемого оборудования.

Размещение дымососов и дутьевых вентиляторов в помещениях, не изолированных от электрофильтров, является одной из основных причин загрязнения золой подшипниковых узлов механизмов. Стесненность компоновки не позволяет перемещать крышки и роторы дымососов в собранном виде.

В помещении тягодутьевых машин отсутствуют проезды для напольного транспорта и площадки для раскладки крышек, роторов, электродвигателей дымососов и вентиляторов при их ремонте.

Насосное оборудование турбинного отделения (за исключением питательных насосов) недоступно для подъема мостовыми кранами. Поэтому для ремонта каждого агрегата приходится настраивать индивидуальные средства механизации, что приводит к дополнительным трудозатратам и удлинению сроков ремонта.

Поперечное размещение распределительных устройств собственных нужд 6 и 0,4 кВ в машзале, как показал опыт эксплуатации, снизило надежность работы электроаппаратуры из-за проникновения в помещения РУСН пыли и водяных паров и сократило без того малые ремонтные площадки. Связанная с компоновкой РУСН прокладка шинопроводов рабочего и резервного питания в подвальной части турбинного отделения приводит к увлажнению изоляции и снижению ее прочности.

Размещение блочных щитов управления, информационно-вычислительных комплексов и других устройств АСУ ТП в деаэрационном отделении снижает надежность работы релейной, коммутационной аппаратуры, средств информационно-вычислительной техники из-за попадания пыли, влаги и сложности поддержания требуемого микроклимата в помещениях.

Выполненный анализ опыта эксплуатации ТЭС позволил осуществить комплексное решение вопросов по повышению надежности и экономичности сложных энергетических объектов разных уровней (энергоблок, электростанция, энергосистема) путем экспресс - оценки новых проектных решений по совокупности всех характеристик - надежности, экономичности, организации ремонтного обслуживания, экологических показателей и т.д.

В качестве определяющего показателя использовалась величина недовыработки электроэнергии в течение года - сумма произведений величины отключаемой (или снижаемой) мощности по вине какого-либо объекта на время ликвидации этой причины.

$$\text{Э}_{\text{откл.}} = \sum_{i=1}^m W_i n_i T_i,$$

где $\text{Э}_{\text{откл.}}$ - недовыработка электроэнергии в течение года, кВт ч;

m - число разных видов оборудования;

n_i - число единиц оборудования данного (i -того) вида;

W_i - величина отключаемой мощности по вине i - того оборудования, кВт;

T_i - время снижения мощности по величине W_i .

По величине недоотпуска электроэнергии потребителям и по снижению экономичности энергетических объектов по вине отключаемого оборудования подсчитывается народно-хозяйственный ущерб.

Выполненный экспресс-анализ проектов строящихся ГРЭС Экибастузского энергокомплекса выявил ряд грубых просчетов не только в указанных проектах, но и в нормах технологического проектирования электростанций и позволил разработать научно-обоснованные технические решения по пересмотру норм технологического проектирования и ремонтного обслуживания ТЭС, а также для разработки нового унифицированного проекта ГРЭС мощностью 4000 МВт (8x500МВт) на высоковольтных экибастузских углях. Большинство из принятых в нем технических решений может быть использовано при проектировании электростанций с энергоблоками другой мощности на твердом топливе.

5. Технические решения по проектированию пылеугольных ТЭС с мощными энергоблоками:

1. При расчете и выборе систем приема, выгрузки и складирования топлива, оборудования топливоподачи, пылеприготовления, золоулавливания и золошлакоудаления, разработке конструкции парогенератора, принимать технические характеристики угля с предельной зольностью и теплотой сгорания по ГОСТ для конкретного топлива, на котором будет работать электростанция.

2. Производительность химводоочистки по обессоленной воде принимать по величине потерь пара и конденсата 3% с учетом повышенных потерь обессоленной воды в период освоения энергоблоков, что не учтено в проектах ЭГРЭС-1 и других электростанций.

3. Для повышения пожаробезопасности топливоподачи и уровня безопасности труда размещать ленточные конвейеры в от-

дельных наклонных галереях. Это решение впервые в отечественной практике применено на Экибастузской ГРЭС-2.

4. В целях обеспечения высокой надежности и пожаробезопасности топливоподачи, создания комфортных условий для обслуживающего персонала кабельные трассы и электроаппаратуру вынести из помещений ленточных конвейеров, а электрооборудование (РУСН) и центральные щиты управления топливоподачи разместить в отдельностоящих зданиях.

5. Для уменьшения запыленности тракта топливоподачи и предотвращения скатывания топлива с конвейерных лент скорость ленточных конвейеров принимать не более 2 м/с, а максимальный угол наклона галерей - 16° .

6. Решить вопрос улавливания немагнитного металла из потока топлива, исключив возможность попадания его в молотковые и среднеходные мельницы.

7. Компоновка оборудования в главном корпусе должна обеспечивать условия для комплексного решения вопросов организации и механизации ремонтных работ, в том числе устройство ремонтных площадок за каждым вторым блоком и размещение всего тяжеловесного оборудования в зонах, обслуживаемых мостовыми кранами.

8. Помещение тягодутьевых машин должно быть изолировано от котельного отделения и иметь независимую систему вентиляции (при размещении ТДМ в помещении). Компоновка должна обеспечивать свободное перемещение в сборе роторов и крышек механизмов, а также их электродвигателей мостовыми кранами.

9. В целях повышения надежности средств информационно-вычислительной техники, релейной, коммутационной аппаратуры и других электротехнических устройств, создания комфортных условий для обслуживающего персонала вынести блочные щиты управления, информационно-вычислительные комплексы и другие устройства АСУ ТП из деаэрационного отделения и разместить их в пристройке к ряду А машинного отделения.

10. Для повышения надежности электрических собственных нужд распределительного устройства 6 и 0,4 кВ, аккумуляторные батареи и щиты постоянного тока также разместить в указанной пристройке.

11. Систему золошлакоудаления из-под котлов, скрубберов и электрофильтров применить блочную - из двух нагнетателей и двух эрлифтов, обеспечивающую 100% резерв.

12. Для обеспечения требуемой санитарными нормами степени очистки газов в электрофильтрах от золы с высоким удельным электрическим сопротивлением применять двухступенчатую, комбинированную систему золоулавливания с предвключенной

ступеню кондиционирования или устанавливать электрофилтры в зоне высоких температур газового тракта ($350-400^{\circ}\text{C}$). Снижение температуры газов в мокрых скрубберах $\approx$ до 100°C , так же как и высокие температуры газов обеспечивают оптимальные условия для работы электрофилтров.

13. Для снижения содержания окислов азота на выходе из топki применять парогенераторы, которые по своим теплофизическим характеристикам и конструкциям горелок поддерживают концентрацию окислов азота в дымовых газах не более $0,5 \text{ г/нм}^3$ при оптимальном коэффициенте избытка воздуха. В соответствии с этими требованиями на Экибастузской ГРЭС-2 установлены парогенераторы П-57Р с двухпоточными горелками по первичному воздуху с различной концентрацией пыли в воздухе, что обеспечивает двухступенчатое сжигание топлива.

14. Для снижения выбросов окислов азота и серы до санитарных норм в проектах ТЭС должна предусматриваться установка соответствующего оборудования.

Заключение

В работе впервые выполнены комплексные исследования, включающие изучение основных закономерностей зажигания и выгорания пыли высокозольного экибастузского угля в факеле вихревых горелок, исследование теплообмена в топочной камере, динамики и уровня образования окислов азота, влияния целого ряда режимных параметров на технико-экономические показатели парогенератора, исследование пылеприготовительного оборудования, анализ опыта эксплуатации действующих электростанций и оценка эффективности принимаемых проектных решений.

Проведенные исследования показали, что при правильно выбранной схеме пылесжигания, рациональной конструкции топочных и горелочных устройств, учете опыта эксплуатации можно добиться высокой эффективности топливоиспользования даже при сжигании такого высокозольного угля как экибастузский, избежать ошибок при проектировании электростанций.

Полученные экспериментальные данные могут быть использованы для проверки существующих методов моделирования топочных устройств, дальнейшего развития теории топочных процессов, разработки оптимальной конструкции парогенератора и горелочных устройств, при проектировании ТЭС.

В работе получены следующие новые научные результаты:

1. Установлены основные закономерности зажигания и выгорания факела высокозольного экибастузского угля, в частности, показано, что:

- устойчивое и раннее зажигание факела и хорошее выгорание топлива обеспечивается созданием мощных приосевых обратных токов к корню факела за счет крутки аэросмеси и вторичного воздуха в вихревых горелках;

- при устойчивом и раннем зажигании факела температура в конце топki снижается на $50-70^{\circ}\text{C}$ вследствие интенсификации выгорания топлива на начальном участке факела.

2. Установлено, что в нормативном методе теплового расчёта котельных агрегатов рекомендуется заниженное значение поправки на смещение ядра факела относительно осей горелок для экибастузских углей, равное 0.05. В действительности указанная поправка значительно выше и при двухъярусной встречной компоновке горелок равна 0.1-0.2.

3. Установлено, что фактическое значение коэффициента тепловой эффективности экранов меньше, чем принимаемое при расчете теплообмена в топках парогенераторов для экибастузских углей. Завышенное значение коэффициента тепловой эффективности и заниженное значение поправки на смещение ядра факела к верху топki являются причиной заниженной расчетной температуры газов на выходе из топki.

4. Разработана конструкция вихревой горелки с параметрами крутки аэросмеси ($n_1=1.15-1.5$) и вторичного воздуха ($n_2=1.8-3.4$), обеспечивающими устойчивое и раннее зажигание факела и эффективное выгорание топлива. Настоящая горелка включена в нормативный метод расчета котельных установок.

5. Показано, что работа на пыли грубого помола уменьшает загрязнение топочных экранов, их обдувка повышает тепловую эффективность экранов и снижает температуру в ядре горения на $70-80^{\circ}\text{C}$ и на выходе из топki на $40-45^{\circ}\text{C}$.

6. Определена оптимальная тонкость помола экибастузского угля в молотковых мельницах, которая составляет $R_{90}=22-26\%$, что свидетельствует о возможности высокоэкономичной работы парогенератора на более грубой пыли по сравнению с рекомендациями нормативных материалов по расчету и проектированию пылеприготовительных установок.

7. Установлено, что месторасположение максимума температур зависит от тонкости пыли, поэтому при расчете теплообмена в топке парогенератора, проектируемого для сжигания экибастузского угля, следует учитывать изменение от тонкости пыли не только коэффициента тепловой эффективности экранов ψ , но и параметра "М".

8. Установлена зависимость срока службы бил, потребляемой мощности и оптимальной производительности молотковой мельницы от частоты вращения ротора. Показано, что оптимальная производительность мельницы при повышении числа оборотов ротора увеличивается пропорционально возрастанию окружной скорости в степени 1,4; это не подтверждает данных других исследователей, утверждающих, что производительность мельницы увеличивается пропорционально возрастанию окружной скорости в третьей степени.

9. Установлено, что схема пылесжигания с прямым вдуванием пыли и молотковыми или среднеходными мельницами экономичнее схемы с шаровыми барабанными мельницами и промбункером.

10. Показано, что молотковые и среднеходные мельницы имеют несомненные преимущества перед шаровыми барабанными, поэтому они являются более перспективными на ближайшее будущее для размолва каменных и бурых углей, в частности, для углей Украины.

11. Разработан экспресс-метод оценки эффективности новых технических решений при проектировании пылеугольных тепловых электростанций.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Бухман С.В., Ершин Ш.А., Алияров Б.К., Кравец А.Г. и др. Исследование работы топочных устройств Ермаковской ГРЭС на моделях и в натурных условиях. В кн.: Горелочные устройства КазНИИ энергетики. Алма-Ата, Наука, 1976. С.111-167.

2. Волобуев А.Н., Таланкин Л.П., Пугач Л.И., Серант Ф.А., Левит Г.Т., Кравец А.Г. Пути повышения эффективности размолва и сжигания экибастузских углей на примере котельных агрегатов ПК-39 Ермаковской ГРЭС. - В кн.: Вопросы проектирования и эксплуатации мощных парогенераторов на экибастузских углях. Материалы II Всесоюзного научно-технического совещания, Алма-Ата, 1976. С.59-63.

3. Волобуев А.Н., Таланкин Л.П., Пугач Л.И., Серант Ф.А., Левит Г.Т., Кравец А.Г. Сжигание экибастузских углей в топочной камере котла ПК-39-П, оборудованного схемой пылеприготовления с прямым вдуванием пыли. - В кн.: Вопросы проектирования и эксплуатации мощных парогенераторов на экибастузских углях. Материалы II Всесоюзного научно-технического совещания. Алма-Ата, 1976. С.63-68.

4. Исаров А.Г., Кравец А.Г. Новые компоновочные решения котла ТПП-312А. - Энергетическое строительство, 1980, N10. С.33-37.

5. Кравец А.Г. Повышение надежности и экономичности пылеугольных ТЭС с мощными энергоблоками. Монография. Харцызск, Силур-Полиграфист, 1995. 194с.

6. Кравец А.Г. Выбор типа углеразмольного оборудования для ГРЭС Экибастузского энергокомплекса. Материалы зонального совещания энергети-

- ков Сибири и Казахстана по использованию резервов и освоению новой техники. Алма-Ата, 1982.С.17-21.
7. Кравец А.Г. Освоение энергоблоков 300 МВт на высокозольных экибастузских углях. - Электрические станции, 1975, N3.С.5-7.
 8. Кравец А.Г. Особенности проектных решений по Зуевской ГРЭС-2. - Электрические станции, 1980, N9.С.9-11.
 9. Кравец А.Г. Совершенствование проектных решений ГРЭС Экибастузского энергокомплекса. - Электрические станции, 1984, N10.С.10-12.
 10. Кравец А.Г., Губарь В.Ф., Кравченко М.В. - Бюллетень изобретений, 1986, N30. - Авт. свид. СССР N1250782.
 11. Кравец А.Г., Костык В.И., Литвинов В.Г., Семенюк В.М. Надежность горелок котла ТП-100 при сжигании львовско-волинского угля. - Электрические станции, 1965, N3.С.5-7.
 12. Кравец А.Г., Левит Г.Т., Кузнецов Н.И. Опыт наладки парогенератора с молотковыми мельницами блока 300 МВт на экибастузском угле. - Теплоэнергетика, 1972, N2. С.11-17.
 13. Кравец А.Г., Терехова С.Е. Бюллетень изобретений, 1991, N31. Авторское свид. СССР N1672145.
 14. Серант Ф.А., Алиоров Б.К., Кравец А.Г., Остапенко В.Е., Волобуев А.Н., Дахов А.И. Об особенностях топочного процесса при сжигании экибастузских углей. - Электрические станции, 1975, N3.С.7-10.
 15. Серант Ф.А., Волобуев А.Н., Пугач Л.И., Кравец А.Г. Сопоставление схем пылесжигания и размола экибастузских углей. - В кн.: Вопросы проектирования и эксплуатации мощных парогенераторов на экибастузских углях. Материалы II Всесоюзного научно-технического совещания. Алма-Ата, 1976.С.83-88.
 16. Кравец А.Г. Результаты исследований по освоению сжигания экибастузских углей в парогенераторах Ермаковской ГРЭС. Материалы Всесоюзной конференции по горению твердого топлива. Новосибирск, 1978.С.21-27.
 17. Кравец А.Г. Повышение надежности и экономичности ТЭС на экибастузских углях за счет улучшения качества проектных решений. Материалы научно-технического совещания по повышению надежности ГРЭС Экибастузского энергокомплекса. Алма-Ата, 1983.С.51-55.
 18. Кравец А.Г. Выбор оптимальной схемы вентиляции главных корпусов электростанций с использованием математического моделирования. В кн. Вопросы сжигания канско-ачинских углей в мощных парогенераторах. Материалы Всесоюзной конференции по сжиганию канско-ачинских углей. Красноярск, 1990.С.119-124.
 19. Кравец А.Г. Нові принципи проектування пилосугільних ТЕС з потужними енергоблоками. Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. 1996. N4.
 20. Кравец А.Г. Вибір схеми пилоспалювання і розмолу палива для нових ТЕС України. Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту. 1996. N4.

А н н о т а ц и я

Kravets A.G. The increase of Reliability and Efficiency of Pulverized Coal Thermal Power Stations whis Powerful Power Units.

The thesis for competitor of scientific degree of Doctor of Technical Sciences on the speciality 05.14.04 - Industrial Heat Power Engineering. The Institute of Engineering Thermal Physics of the Ukrainian National Academy of Sciences. Kiev, 1996.

23 Scientific papers are defended in which there are the results of scientific and experimental researches of heat process and heat exchange conditions when burning Ekibastuz coal of high ash content, coal pulverization equipment with hammer mills. Here are given the results of systematic analysis of operational experience of power stations with power units of 300-500 MWt and the influence of adopted design solutions upon their reliability and efficiency.

Suggested new design principles of pulverized coal thermal power stations with powerful power units.

The Donbass State Academy of Civil Engineering and Architecture.

The Department of Thermal Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation.

Кравец А.Г. Повышение эффективности сжигания низкосортных углей на ТЭС с мощными энергоблоками. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.04 - промышленная теплоэнергетика. Институт технической теплофизики НАН Украины, Киев, 1996.

Защищается 23 научные работы, в которых содержатся результаты научных и экспериментальных исследований топочного процесса и условий теплообмена при сжигании высокосольного экибастузского угля, пылеприготовительного оборудования с молотковыми мельницами. Приведены результаты системного анализа опыта эксплуатации электростанций с энергоблоками 300-500 МВт и оценки влияния принимаемых проектных решений на их надежность и экономичность. Предложены новые принципы проектирования пылеугольных ТЭС с мощными энергоблоками.

Ключові слова : надійність, економічність, ТЕС, парогенератор, вогнева модель.

021.7E 8A

435887

AB 37.190

F88290