

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт
Кафедра теплотехники и гидрогазодинамики

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.А. Кулагин
«___» _____ 2019г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ
ПРИ СЖИГАНИИ КАНСКО-АЧИНСКИХ УГЛЕЙ»

13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

13.04.01.01 – Энергетика теплотехнологий

Научный руководитель _____ д.т.н., профессор А.П. Скуратов

Выпускник _____ Д.В. Оберман

Рецензент _____ д.т.н., профессор С.В. Беляев

Нормоконтролер _____ д.т.н., профессор А.П. Скуратов

Красноярск 2019

СОДЕРЖАНИЕ

	С.
Введение.....	3
1 Состояние вопроса.....	5
1.1 Шлакование и загрязнение поверхностей нагрева котлов при сжигании канско-ачинских бурых углей.....	5
1.2 Конструкции аппаратов очистки поверхностей нагрева.....	12
1.3 Выводы и постановка задач исследования.....	28
2 Особенности работы поверхностей нагрева котлов П-67.....	30
2.1 Конструкция котла.....	30
2.2 Эксплуатация котла при сжигании березовского угля.....	34
2.3 Выводы по главе 2.....	38
3 Разработка рекомендаций по усовершенствованию системы очистки топочных экранов при сжигании канско-ачинских углей.....	39
3.1 Водяная очистки зон локального шлакования топочных экранов.....	39
3.2 Конструкция устройства водяной очистки топочных экранов.....	41
3.3 Предложение по системе управления водяной очисткой поверхностей нагрева.....	44
3.4 Выводы по главе 3.....	46
Заключение.....	48
Список использованных источников.....	50

ВВЕДЕНИЕ

Общие запасы угля Канско-Ачинского угольного бассейна, пригодные для открытой добычи, превышают 160 млрд. т. Одним из наиболее перспективных среди добываемых открытым способом канско-ачинских углей (КАУ) является Березовское месторождение, бурый уголь которого в связи с низкой зольностью и низким содержанием серы часто называют «экологически чистым». Однако широкому использованию этих углей в энергетике препятствуют интенсивное шлакование и загрязнение поверхностей нагрева котлов.

Вопросы шлакования и загрязнения топочных экранов паровых котлов сохраняют свою актуальность, несмотря на многочисленные исследования, а также большой опыт проектирования и эксплуатации котельного оборудования при сжигании различных типов углей. Так, на стадиях опытных сжиганий березовского угля в различных котельных агрегатах, наладки, исследований и длительной эксплуатации специально разработанных «головных» котлов П-67 блоков 800 МВт Березовской ГРЭС-1, не удалось в полной мере устранить эти недостатки. Образование золошлаковых отложений на поверхностях нагрева приводят к значительному повышению температур по газовому тракту с соответствующим снижением надежности и экономичности котельной установки, увеличению выбросов золы и оксидов азота в атмосферу.

Объектом исследования является топочная камера котла П-67 Березовской ГРЭС-1.

Предметом исследования является процесс шлакования топочных экранов при сжигании КАУ.

Целью работы является повышение тепловой эффективности котла П-67 на основе рекомендаций по усовершенствованию системы очистки топочных экранов котла при сжигании шлакующих КАУ.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Провести анализ влияния шлакования и загрязнения поверхностей нагрева на надежность работы котельных агрегатов сжигающих КАУ.
2. Провести анализ существующих методов снижения уровня шлакования и загрязнения поверхностей нагрева.
3. Разработать рекомендации по усовершенствованию системы очистки топочных экранов при сжигании КАУ.

В работе рассмотрено поведение пылеугольного топлива в котлах различных конструкций и его влияние на топочные процессы при сжигании бурых КАУ. Проведен анализ работы поверхностей нагрева котлов при сжигании шлакующих углей. Определены области локального шлакования топочных экранов, требующие постоянной очистки. Рассмотрены современные конструкции аппаратов очистки поверхностей нагрева. Даны рекомендации по усовершенствованию системы очистки топочных экранов при сжигании канско-ачинских углей с применением водяной обмывки поверхностей нагрева.

Предложено устройство эффективной очистки поверхностей нагрева энергетических котлов за счёт резкого и интенсивного кинетического и термического воздействия технической воды на шлаковые отложения.

Рекомендована система защиты топочного процесса при водяной очистке, прерывающая подачу воды в аппарат при длительном охлаждении отдельных труб экранов и, как следствие, возможном нарушении циркуляции питательной воды в них при низком уровне тепловосприятости поверхностями нагрева.

1 Состояние вопроса

1.1 Шлакование и загрязнение поверхностей нагрева котлов при сжигании бурых канско-ачинских углей

Сжигание КАУ в топках котельных агрегатов сопровождается интенсивным шлакованием и загрязнением поверхностей нагрева, что обусловлено особенностями его минеральной части. В результате снижается паропроизводительность, длительность непрерывной кампании, надежность и экономичность котельных агрегатов [1-17].

Необходимость обеспечения надежной работы топочных экранов по условиям шлакования потребовало создания более совершенных топочных устройств. В связи с этим особую актуальность приобрели вопросы влияния организации топочного процесса и конструктивных особенностей топочно-горелочных устройств на шлакование экранов топок.

Как известно, при высоких температурах частицы золы могут переходить в расплавленное или размягченное состояние. Часть частиц соударяется с трубами экранов или поверхностей нагрева и может налипать на них, накапливаясь в большом количестве. Подобно шлакованию, загрязнения поверхностей нагрева котла приводят к увеличению сопротивления его газового тракта и ограничению тяги.

При проектировании котельной установки предусматриваются специальные устройства и мероприятия по контролю за состоянием поверхностей нагрева и очистки их от шлака и загрязнений. На остановленных котлах используют преимущественно механические способы очистки с применением различных скребков и водяную обмывку. Регулярно используемый в эксплуатации способ – очистка поверхностей нагрева при помощи паровой или пневматической обдувки, водяной (термоциклической) обмывки, дробе- и виброочистки, а также импульсную очистки.

Исследования характеристик КАУ, поведения их минеральной части при сжигании, а также опыт эксплуатации котлов показали высокую

шлаковую способность КАУ. Особенно этим отличается березовский уголь [5, 7, 9, 12-14]. Даже соблюдение требований по проектированию топочных устройств зачастую не обеспечивает надежную по условиям шлакования работу топочных экранов.

При размоле минеральная часть КАУ (таблица 1.1) хорошо отделяется от органической массы. Так, например, в исследованной пробе березовского угля внешняя зола составляет 10,1, а бородинского – 36,6 % общего количества золы, внешняя часть которой состоит в основном из SiO_2 . Оксиды кальция и магния сосредоточены в легких фракциях, т.е. в органической массе. Самые тяжелые фракции ($\rho > 2,86$) обогащены оксидами железа. Внутренняя зольность березовского угля составляет 4,0...5,0, бородинского – 7,5...8,0 %.

При исследовании механизма образования отложений при сжигании КАУ было установлено, что на поверхностях нагрева образуются отложения трех типов: первичные, прочно связанные с оксидной пленкой труб; вторичные, менее прочные, но быстрорастущие, и тыльные. Механизм образования этих отложений различен [1, 7, 12].

Установлено, что для прочных первичных отложений на конвективных поверхностях нагрева характерно стехиометрически равное содержание кальция и серы. При температуре горения, недостаточной для полного расплавления золowego остатка, по мере выгорания частицы угля остается золовой каркас, в котором при неполном выгорании превалирует восстановительная среда. Кальций, высвобождающийся по мере выгорания органики, обладает высоким сродством к кислороду и окисляется до CaO .

Непрерывное соударение горящих частиц с трубами приводит к постепенному образованию прочных отложений. Высокая прочность связывания последних с трубами, обусловлена взаимодействием сульфидов с оксидной пленкой.

Таблица 1.1 – Характеристики углей Бородинского, Березовского и Назаровского месторождений

Наименование	Значение		
	Бородинский	Березовский	Назаровский
Уголь			
Влага, W^r , %	33,0	35,5	38,5
Зольность, A^d , %	10,5	7,0	12,0
Зольность, A^r , %	7,0	4,5	7,4
Выход летучих, V^{daf} , %	45,2	48,0	48,0
Теплота сгорания низшая, Q^r_i , кДж/кг (ккал/кг)	15920 (3800)	15080 (3600)	12900 (3080)
Содержание серы, S^d , %	0,30	0,31	0,81
Химический состав золы, %:			
оксид кремния SiO_2	52,8	29,1	25,5
оксид алюминия Al_2O_3	11,8	14,0	12,2
оксид железа Fe_2O_3	5,5	8,7	17,6
оксид кальция CaO	22,1	41,1	38,1
оксид магния MgO	3,7	4,1	3,5
оксид калия K_2O	0,3	0,5	0,1
оксид натрия Na_2O	0,2	0,8	0,3
оксид титана Ti_2O	0,8	0,6	0,4
Температурные характеристики золы, °С:			
начала деформации t_a	1130-1280	1250-1500	1150-1190
плавления t_b	1170-1250	1420-1340	1170-1320
жидкоплавкого состояния t_c	1210-1500	1280-1430	1190-1380

Вторичные отложения образуются в результате соударения с трубами частиц золы, находящихся в полурасплавленном состоянии. Указанный механизм образования вторичных отложений характерен при сжигании топлив всех видов, если зола в топочной камере проходит стадию плавления.

Стекловидные частицы золы склонны к налипанию на трубы при температуре газов, при которой вязкость золы составляет не более $1 \cdot 10^4$ Па·с. Эта предельная температура впоследствии была названа температурой начала шлакования $t_{\text{шл}}$. Существенным является то обстоятельство, что на значение $t_{\text{шл}}$ практически не оказывает влияния скорость омывания газом поверхности нагрева в пределах 5...15 м/с, что позволяет определять этот параметр практически в любой зоне котла в области $t_{\text{шл}}$, где скорость газового потока остается в указанных пределах.

Тыльные отложения: образуются в теневой зоне поверхностей нагрева (труб или трубных досок воздухоподогревателей). Такие отложения наблюдаются при сжигании всех видов топлив, только на КАУ они постепенно упрочняются из-за процесса сульфатизации.

Отличительной особенностью минерального состава золы является повышенное содержание оксида кальция, особенно у низкотемпературных березовских углей (до 60 %).

В связи с этим, поведение минеральной части угля в процессе сжигания угольной пыли сильно зависит от зольности. Соответственно изменяются шлакующие свойства угля и плавкостные характеристики шлака. Это основная причина того, что в пылеугольных топках котлов, приспособленных для сжигания бородинского угля, невозможно обеспечить надежное сжигание березовского угля. Поэтому изменение состава минеральной части КАУ необходимо учитывать при оценке пригодности использования той или иной технологии сжигания как с точки зрения обеспечения надежной работы по условиям шлакования и обеспечения выхода жидкого шлака, так и требований по обеспечению нормативных выбросов азота, серы и золы.

Отложения в энергетических установках обычно делятся на шлакование и загрязнение. Под шлакованием обычно понимается образование на топочных экранах и ширмах, под загрязнением – на конвективных поверхностях нагрева: в пароперегревателе, экономайзере, воздухоподогревателе. К шлакованию относится процесс образования отложений при температурных условиях выше указанных критических, а к загрязнению – при более низких температурах газов. Критической температурой газов называют температуру начала шлакования, выше и ниже которой отложения значительно отличаются по составу, свойствам и скорости роста.

Последствия, оказывающие влияние на работу паровых котлов по причине шлакования и загрязнения, зависят не только от рассматриваемых процессов, но и от типа поверхности нагрева, на которые оказываются данные воздействия. Например, интенсивное шлакование топочных экранов приводит к таким последствиям, как падение глыб шлака в холодную воронку с завалом и разрушением шлаковых комодов, нарушению аэродинамики горелочных струй и выгорания угольной пыли из-за затягивания горелочных устройств шлаком, повышению температуры газов на выходе из топки в связи со снижением тепловой эффективности экранов, приводящему к усилению шлакования ширмового пароперегревателя. В свою очередь, шлакование и загрязнение ширмовых и конвективных поверхностей нагрева характеризуется такими негативными последствиями, как повышение температуры уходящих газов, повышение уровня температурных разверок в пароперегревателях, приводящее к превышению допустимой температуры металла змеевиков (рисунок 1.1).

При интенсивном росте уровня загрязнения конвективных поверхностей нагрева наступает ограничение производительности котельного агрегата по тяге, связанное с возрастающим аэродинамическим сопротивлением конвективных пакетов в связи с перекрытием межтрубного пространства отложениями.

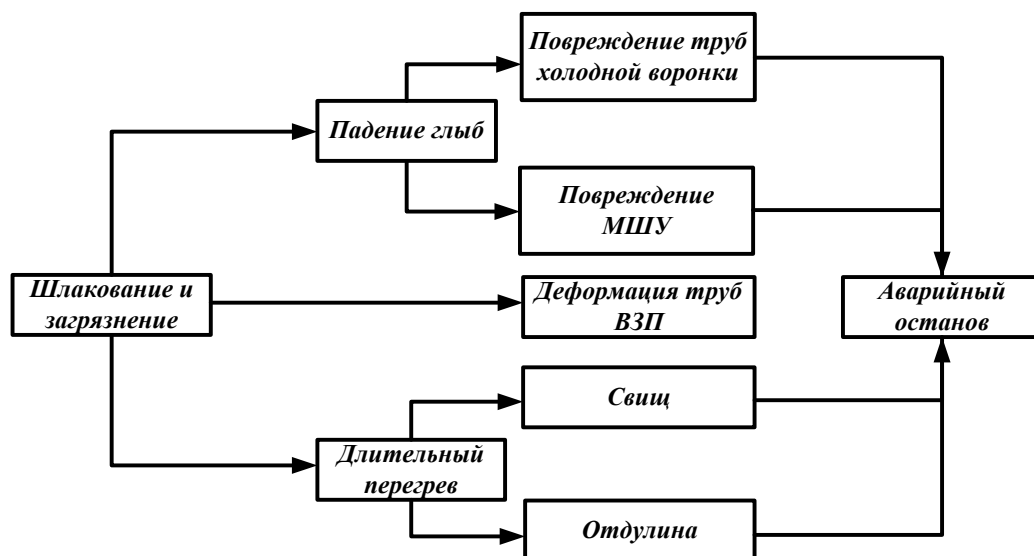


Рисунок 1.1 – Влияние шлакования и загрязнения на надежность работы котельных агрегатов

В целом, влияние представленных выше отрицательных факторов приводит к перерасходу топлива из-за снижения КПД котлов, снижению бесшлаковочной мощности, увеличению выбросов золы и оксидов азота, снижению надежности и ресурса располагаемого оборудования, а также повышению издержек на ремонт и ручную расшлаковку котлов (рисунок 1.2). Данные обстоятельства могут привести к понижению номинальной производительности котельных агрегатов.

Результаты обзора имеющихся литературных источников указали на необходимость более детальных исследований влияния конструктивных и режимных параметров на топочного процесспри сжигании березовского угля.

В настоящее время в качестве борьбы с интенсивным загрязнением и шлакованием в процессе эксплуатации паровых котлов существует несколько подходов к решению данных задач, которые можно классифицировать на активные и пассивные.

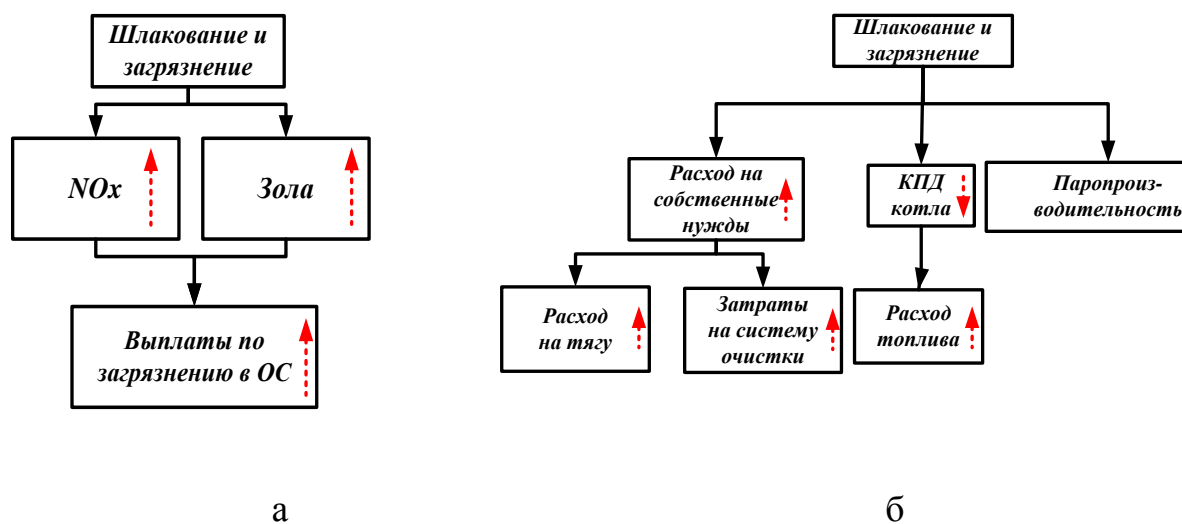


Рисунок 1.2 – Негативное влияние процессов шлакования и загрязнения на показатели работы котла:

а – экологические; б – на технико-экономические

Суть активных методов заключается в совершенствовании топочно-горелочных устройств, а также компоновки и конструктивного исполнения различных поверхностей нагрева котельных агрегатов [1, 12, 18, 19]. Пассивные методы направлены на использование в пылеугольных котлах средств очистки с комплексными системами технической диагностики.

Проблемы шлакования и загрязнения поверхностей нагрева котлов могут решаться по двум направлениям:

- создание и внедрение новых технологий сжигания и конструкций котлов;
- использование средств очистки,

которые в процессе эксплуатации обеспечивают работу поверхностей нагрева допустимым уровнем шлакования и загрязнения поверхностей нагрева.

Если первое направление требует больших затрат средств и времени для того, чтобы изменить технологию, произвести реконструкцию котельных агрегатов, то второе направление – внедрение средств очистки поверхностей нагрева менее затратной и быстрокупается.

Как показала практика создания, внедрения и эксплуатации методов и средств по обеспечению тепловой эффективности поверхностей нагрева

паровых котлов исходя из соотношения качества получаемого результата и стоимости реализации, наиболее предпочтительным считается комплексный подход, при котором зоны эффективной очистки поверхностей нагрева рассчитываются при проектировании котла с определением минимально допустимых поперечного и продольного шага труб конвективных поверхностей нагрева [19].

На сегодняшний день на существующих отечественных котлах широкое распространение борьбы с интенсивным шлакованием и загрязнением получил пассивный метод, в виде установки средств очистки поверхностей нагрева. Средства очистки были разработаны более чем столетие назад, как способ уменьшения роста отложений во время работы котельного агрегата. За это время было разработано большое количество видов средств очистки, отличающихся как конструктивом, так и выбором среды очистки [19].

1.2 Конструкции аппаратов очистки поверхностей нагрева

При росте отложений на топочных экранах снижается их тепловая эффективность, что приводит к шлакованию ширми интенсификации процессов загрязнения конвективных поверхностей нагрева, росту температурных разверок пароперегревателя, снижению регулируемого диапазона попрыскам, ограничению протяжимососов.

В периоды вынужденных остановок котлов растут затраты на расшлаковку.

Ограничение мощности котлов приводит к недовыработке электроэнергии, падению прибыли. Снижение КПД котла приводит к перерасходу топлива, увеличению выбросов в атмосферу азота, оксидов азота, углекислого газа.

Проблемы шлакования и загрязнения поверхностей нагрева котлов могут решаться по двум направлениям:

– создание и внедрение новых технологий сжигания и конструкций котлов;

–использование средств очистки,
которые в процессе эксплуатации обеспечивают работу поверхностей нагрева допус-
тимым уровнем шлакования и загрязнения поверхностей нагрева.

Если первоначально направление требует больших затрат средств в течение времени для того,
чтобы изменить технологию, произвести реконструкцию котельных агрегатов,
то второе направление –
внедрение средств очистки поверхностей нагрева менее затратной и быстрокупается

По нашим оценкам внедрение водяной очистки топки и паровой обдувки пароперегре-
вателя в водяного экономайзера позволяет повысить КПД котла не менее, чем на
0,5%. Это экономия топлива свыше 10 тыс. т.
натурального топлива в год для котла П-67.

С другой стороны, это повышение бесшлаковой мощности котла и выработка доп-
олнительной электроэнергии более, чем на 5%,
увеличение непрерывной кампании котла,
исключение или сокращение затрат на механическую очистку,
снижение температуры уходящих газов и существенно повышение эффективности
электрофильтров.

Применяемые способы очистки поверхностей нагрева представлены на рисун-
ке 1.3.

К основным средствам очистки обычно относятся:

– маловыдвижные и дальнобойные аппараты водяной обдувки топочных экранов;
– маловыдвижные, глубоководвижные,
многосопловые и траверсные аппараты паровой обдувки,
применяемые для всех поверхностей нагрева;
– устройства газо- и пневмоимпульсной очистки
(полурадикационные и конвективные поверхности нагрева,
регенеративный воздухоподогреватель);

–устройствастационарной «пушечной» обдувки
(полурадиационныеи конвективныеповерхностинагрева);
–устройствадробевойочистки
(поверхностинагреваконвективнойшахтыитрубчатоговоздухоподогревателя);
–устройствавибрационнойочистки
(полурадиационныеи конвективныеширмовыеповерхностинагрева);
–устройствазвуковойочистки
(поверхностинагреваконвективнойшахтыирегенеративноговоздухоподогревателя).

Наотечественныхкотлах, какправило,
устанавливалисьаппаратыТаллинскогозавода «Ильмарине» [20]).
Впоследниегодыпрошливсестороннююпроверку,
наладкуиэффективноработаютсерийныеобдувочныеаппараты,
изготовленныезаводом«Красмаш» ипоставляемыефирмой «ОКБЗенит»
(Красноярск). АппаратыразработаныспециалистамиФГУП
«Красноярскиймашиностроительныйзавод»
наосновеанализапреимуществинедостатковлучшихотечественныхизарубежных
образцов [21].



Рисунок 1.3 – Способы очистки поверхностей нагрева

Обдувка является основным и наиболее распространенным средством защиты поверхностей нагрева от шлакования и заноса золой. Несмотря на то, что обдувка должна носить профилактический характер, в процессе эксплуатации нередко появляется необходимость в удалении сформировавшихся отложений, что имеет место также на современных котлах. Исходя из этих соображений, необходимо обусловить два вида работы струи: золообдувку и расшлаковку. Первая относится к сыпучим, вторая - к прочным отложениям.

Энергия струи должна расщепить отложения на мелкие частицы и привести их в состояние витания, после чего поток топочных газов эвакуирует их за пределы агрегата.

Все известные в энергетической практике виды обдувки производят с помощью касательного, лобового или поперечного омывания [19-21].

Касательное омывание может производят либо вращающимся соплом, как это имеет место в приборе ОПП-5, либо при обдувке диагональных коридоров водяного экономайзера прибором ОПЭ. При касательном омывании струя как бы строгает слой отложений. Лобовое омывание характеризуется двумя признаками: перпендикулярностью между осью струи и слоем шлакозоловых отложений и совмещением в одной плоскости осей струй и трубы. При лобовом воздействии на трубу струя как бы разрубает шлаковую оболочку вдоль оси трубы по ее образующей и стремится сбросить ее. В чистом виде этот способ не применяют ввиду значительной сложности его осуществления и опасности эрозионного износа обдуваемых труб [19].

При поперечном омывании, струя воздействует по нормальям к трубе. В отличие от предыдущего струя пересекает тело трубы и шлаковые отложения на ней по схеме перерубания бруса поперек волокон. Поперечное омывание, например, имеет место при сочетании поступательного движения обдувочной струи с ее вращением.

Вследствие сложной конфигурации котельных пучков ни один из описанных видов омывания не существует изолированно. Но в каждом частном

случае обдувки, как правило, тот или иной вид омывания преобладает над остальными.

При расширении пар снижает температуру (примерно до 100 °С). В топке же и газоходах температура значительно выше. В результате местного неравномерного охлаждения шлака струей в нем возникают температурные поля, а, следовательно, и напряжения. В проточных отложениях появляются трещины.

Расщепление шлаковых отложений обдувочной струей происходит под воздействием трех факторов: термического, динамического и абразивного.

Специфической особенностью паровой обдувочной струи является присутствие влаги, доля которой может колебаться от 8 до 18 %.

Осаждаясь на поверхность шлака, капельки влаги мгновенно испаряются, поскольку вода в них нагрета до температуры насыщения, размер их мал, а тепловой напор шлака велик. В результате испарения капелек влаги происходит дополнительное охлаждение шлака, термические напряжения в нем еще более увеличиваются.

Поскольку воздушная струя на выходе из сопла всегда холоднее паровой по меньшей мере на 200 °С, то в рамках термического фактора воздушная обдувочная струя при прочих равных условиях эффективнее паровой. Даже при жидком шлаке, при резком охлаждении его обдувочной струей, шлаковая корка лишается пластических свойств, приобретает повышенную хрупкость.

Угол между направлением набегающей струи и омываемой поверхностью принято называть углом атаки. Наибольшей дальностью обладает струя с углом атаки 90°. Ударная сила струи зависит от скорости вытекания угла атаки и расстояния.

Обдувочные приборы расставляют таким образом, чтобы зоны активного действия обдувочных струй покрывали все очаги шлакования и заноса золой. Кроме того, следует помнить, что динамический напор должен быть достаточным для разрушения шлакового образования, но при этом не разрушить трубы. По данным разных исследований и наблюдений, верхний

предел принимается в интервале 1000...1100 кг/м², нижний – в интервале 25...200 кг/м² на расстоянии 1 мм от омываемой поверхности нагрева.

Очистка водой. Обдувочный аппарат водяной дальнобойный (ОВД-1) является аналогом разработанного СКБ ВТИ и выпускаемого в конце 70-х годов прошлого века заводом «Ильмарине» аппарата, который направляет перемещаемую в горизонтальной и вертикальной плоскостях струю воды на противоположный экран топки. На рисунках 1.4 и 1.5 показано обдувочное устройство Ильмарине для обдувки экранов поверхностей нагрева.

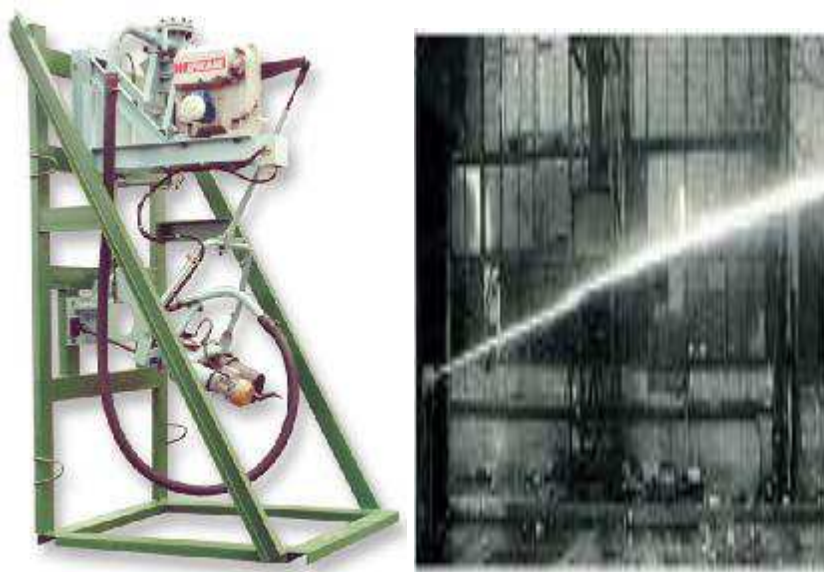


Рисунок 1.4 – Дальнобойный аппарат водяной обдувки ОВД-1

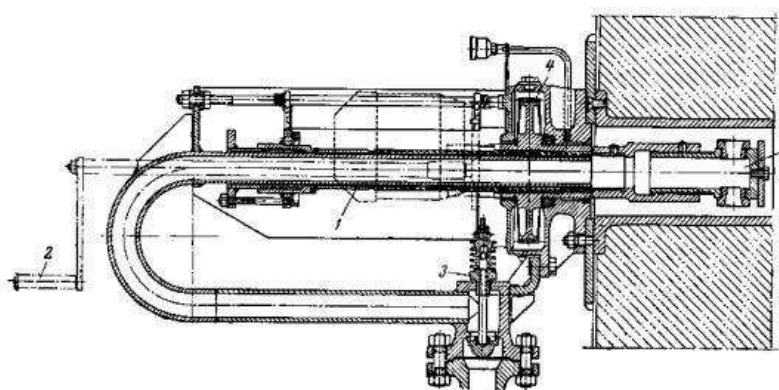


Рисунок 1.5 – Обдувочный прибор Ильмарине – ЦКТИ для обдувки экранов поверхностей нагрева:

1 – электродвигатель; 2 – ручной привод; 3 – клапанный механизм; 4 – редуктор; 5 – сопловая головка.

Конструкция аппарата ОВД-1

позволяет описывать змеевидную траекторию следа струи на противоположном экране некоторыми вариациями.

Особенностью данного аппарата является расположение сопла нетопки, дванезависимых привода для вертикальной и горизонтальной развёртки струи. Встроенный командный аппарат позволяет задавать зоны очистки прямоугольной и ступенчатой форм.

Аппарат WLB фирмы Clyde-Bergemann GmbH представлен на рисунках 1.6 и 1.7, основным отличием которого является наличие шарового шарнира, двухкоординатного привода с возможностью компьютерного задания любой траектории струи, локальных зон очистки и некоторого изменения скорости перемещения струи по экрану [22].

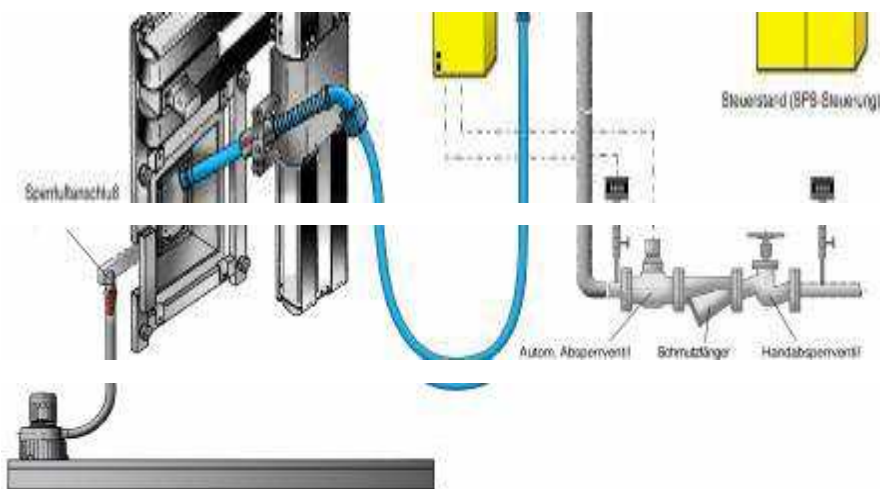


Рисунок 1.6 – Общий вид дальнобойного аппарата водяной обдувки типа WLB фирмы Clyde-Bergemann GmbH

В настоящее время на котлест. № 2 установлены четыре новых отечественных дальнобойных аппарата ОВД-2 с возможностью построения любой траектории струи и изменения скорости ее перемещения (рисунок 1.8) [19]. Основным достоинством этого аппарата следует считать отсутствие недостатков

адежного шарового шарнира и возможность визуального контроля качества струи воды на начальном участке.



Рисунок 1.7 – Аппарат типа WLB на котле и вид на амбразуру аппарата из топки



Рисунок 1.8 – Дальнобойный аппарат водяной обдувки типа ОВД-2

Обдувочные аппараты водяной обдувки маловыдвижные (ОВМ) (рисунки 1.9 и 1.10)

предназначены для очистки топочных экранов котлов и работают по схеме «на себя» [21,

23]. Для вращательного и поступательного движения обдувочной трубы используется единый привод с винтовой передачей.

Струя воды описывает на поверхности экрана спираль радиусом до 5,5 м.

Аппарат имеет автоматическое регулирование напора воды в зависимости от радиуса обдувки, дросселирующий шаровой клапан, что полностью исключает гидроудары в магистрали подвода воды.

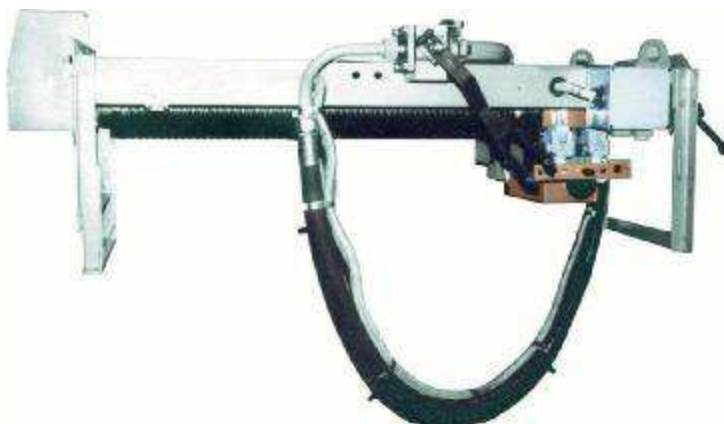


Рисунок 1.9 – Маловыдвижной аппарат водяной обдувки ОВМ



Рисунок 1.10 – Принцип работы маловыдвижного аппарата водяной обдувки

Глубоководвижные аппараты водяной обдувки (ОВГ), предложенные Галлинским политехническим институтом для котла П-67 в период отсутствия производства отечественных аппаратов водяной обдувки, конструктивно не отличались от глубоководвижных аппаратов паровой обдувки. Скорость вращения обдувочной трубы снижалась и уменьшался диаметр сопла до 10 мм.

Очистка паром предполагает различные схемы обдувки, представленные на рисунке 1.11.

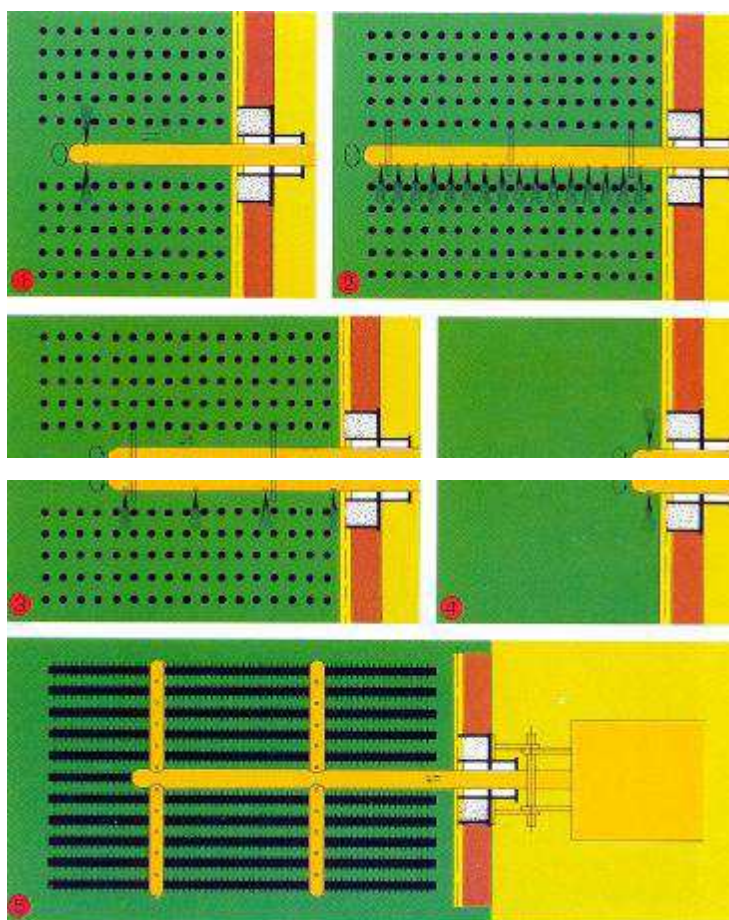


Рисунок 1.11 – Типы паровых обдувочных аппаратов:
1 – глубоководвижной; 2 – многосопловой стационарный; 3 – многосопловой выдвижной; 4 – маловыдвижной; 5 – многосопловой траверсный

Обдувочный маловыдвижной аппарат паровой обдувки типов ОГР-У или ОМП (рисунок 1.12)

предназначен для очистки топочных экранов от слабосвязанных отложений и работает по схеме «на себя». Аппараты ОГР-У, установленные по проекту на котле П-67, были демонтированы в начальный период эксплуатации первого блока в связи с их низкой эффективностью.



Рисунок 1.12 – Маловыдвижной аппарат паровой обдувки ОМП

Обдувочная труба современного аппарата ОМП с реечным приводом перемещает сопловую головку внутрь топки, где струя пара описывает спираль на поверхности экрана, сдувая отложения. Аппарат оснащён механизмом автоматического регулирования давления пара в зависимости от радиуса обдувки с целью снижения парозолового абразивного износа поверхностей экранных труб. Расчетный радиус действия струи достигает 2,8 м.

Глубоководвижные аппараты имеют винтовое полнооборотное или секторное движение обдувочной трубы с вводом/выводом ее из газохода.

Обдувочный глубоководвижной аппарат паровой обдувки типа ОГ представлен на рисунке 1.13 [21].

Он предназначен для очистки ширмовых и конвективных поверхностей нагрева.

Применяемые на котле аппараты ОГ-12

с цепным приводом оказались недостаточно надежны,

поэтому глубина их выдвижения была сокращена до 10 м,

что привело к существенному загрязнению центральных ширм.

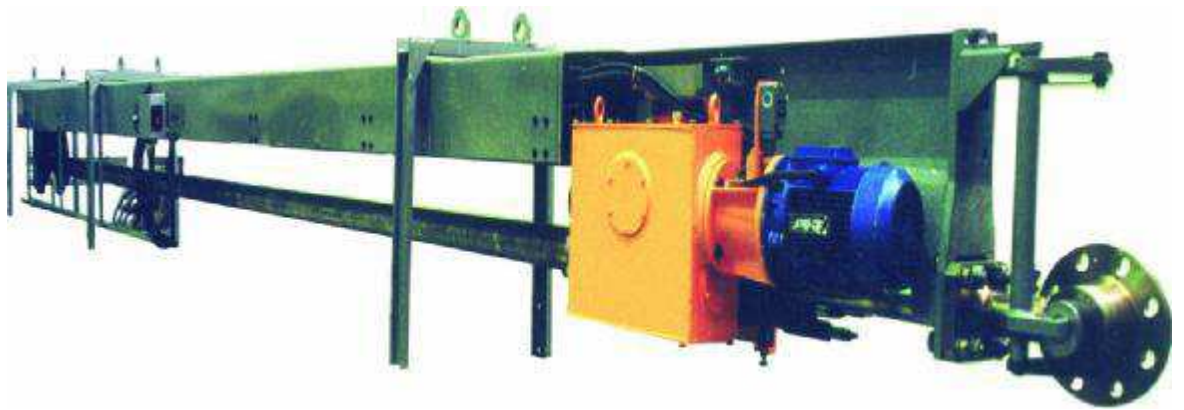


Рисунок 1.13 – Глубоководный аппарат паровой обдувки ОГ

Надежность и долговечность паровых обдувочных аппаратов зависят в значительной степени от нестационарного температурного режима обдувочных труб в зоне высоких температур. Обычно обдувочные аппараты питаются паром давления 22...30 кг/см².

Питание системы обдувки паром может быть осуществлено по автономной или групповой схеме. При автономной схеме система обдувки питается паром обдуваемого котла. Групповая же схема характеризуется наличием какого-либо постороннего источника питания, например, отбора турбин, центрального пароструйного компрессора или специального парового котла низких параметров и небольшой производительности. Групповая схема более экономически выгодна, чем автономная.

Виброочистка и встряхивание – две разновидности одного и того же способа защиты поверхности нагрева. Различаются они частотой и амплитудой колебания обдуваемого змеевика, а также величиной прилагаемой силы. При виброочистке частота колебаний исчисляется тысячами, а при встряхивании – единицами или десятками периодов в минуту.

Достоинство данного метода в том, что он не требует внесения в газородостороннего вещества (пара, воздуха, воды), а недостатком является ограниченность области применения (возможно использовать только для очистки эластичных трубных петель).

Возможны две формы вибрации змеевиков: соосная и поперечная. При соосной вибрации перемещения совпадают с плоскостью покоящегося змеевика (например, перемещение вертикальной ширмы вверх и вниз).

Поперечная вибрация заключается в попеременном отклонении змеевика в обе стороны от центрального положения покоя. Этот тип виброочистки получил более широкое распространение (рисунок 1.14).

Первый опыт виброочистки был проведён в СССР в 1949 году, частота колебаний была принята порядка 50 Гц. Сначала были опасения ухудшения структуры металла труб в результате виброочистки, однако после 2600 ч работы с виброочисткой, ухудшений свойств металла, по данным ВТИ, не наступило. Аналогичные данные были получены и в ГДР.

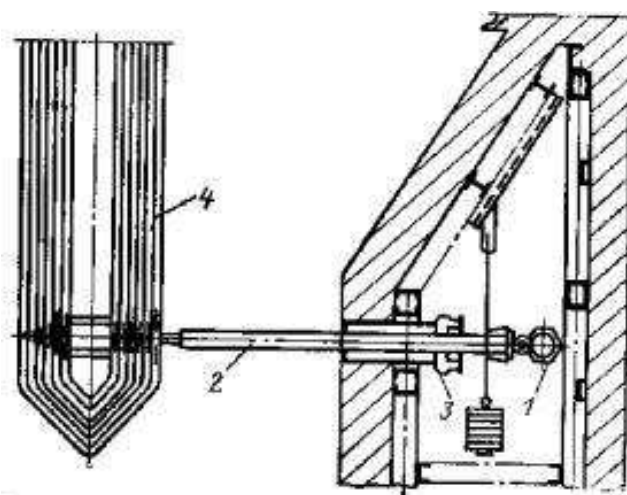


Рисунок 1.14 – Устройство для вибрационной очистки поверхности нагрева:
1 – вибратор; 2 – тяга; 3 – уплотнение; 4 – поверхность нагрева.

В связи с тем, что тяга постоянно должна находиться в газоходе, существует проблема её нагрева. Известно несколько конструкций штанг:

1. Массивная (сплошная) штанга. Прост в изготовлении, дешёв, но может применяться только до 600 °С

2. Полая трубчатая штанга с водяным охлаждением. Может применяться при любых температурах. Изготовлена по принципу «труба в

трубе». Охлаждающая вода 120 °С, в штанге она нагревается до 130...160 °С. Расход охлаждающей воды через одну штангу 1,5 т/ч.

3. Массивная штанга из жаропрочной стали. Массивна, громоздка и имеет высокую стоимость изготовления.

В России преимущественно применяют штанги с водяным охлаждением.

Для прохода тяги через обмуровку служит чугунная закладная втулка овальной формы, при этом большая ось вала установлена вертикально для обеспечения свободного перемещения штанги вниз на 35...40 мм. Вокруг штанги втулку заполняют асбестовой пушонкой, а снаружи прикрывают эластичным рукавом из асботкани.

Механическим приводом виброочистки служат:

- вибратор с электродвигателем;
- пневмоударный инструмент типа отбойного молотка;
- воздушный силовой цилиндр.

Применяют эксцентриковые вибраторы с короткозамкнутыми электродвигателями трехфазного тока мощностью 0,6...0,9 кВт на 288 об/мин. Виброочистку обычно осуществляют с частотой порядка 50 периодов в секунду при амплитуде колебаний от 0,2 до 1 мм на холодном котле и от 0,25 до 0,4 на работающем котле.

Дробеочистка по сравнению с обдувкой обладает двумя важными преимуществами: практически неограниченной дальностью дробевого потока и устранением (при регулярной дробеочистке) опасности завала поверхностей нагрева отложениями, удаляемыми с вышерасположенных узлов (рисунок 1.15).

Для очистки применяют чугунную дробь округлой формы. Мелкие дробины (менее 3 мм) могут выноситься потоком газов. Наибольший допустимый размер дробин ограничивается интенсивностью наклепа очищаемых поверхностей, а также располагаемым напором в системе пневмотранспорта. По данным ВТИ, предельный выгодный размер дробин –

4...5 мм. Но в ФРГ используют дробь 4-6мм, фирма «Ла-Монт» применяет дробь 4...8мм. Насыпной вес дроби примерно 4,5 т/м³.

Узел распределения дроби должен обеспечивать равномерное распределение дробевого потока по поперечному сечению конвективной шахты. В его состав входят: замедлитель 1, разбрасыватель 2 и кольцевой зонт 3.

При напорном варианте подъёмный тракт находится под давлением, создаваемым инжектором, расположенным в самой нижней точке системы. (рисунок 1.16). Сжатый воздух подаётся из воздуходувки под давлением 0,6 бар. Преимуществом является компактность и отсутствие эрозийного износа, так как воздух подаётся чистый, без золы.

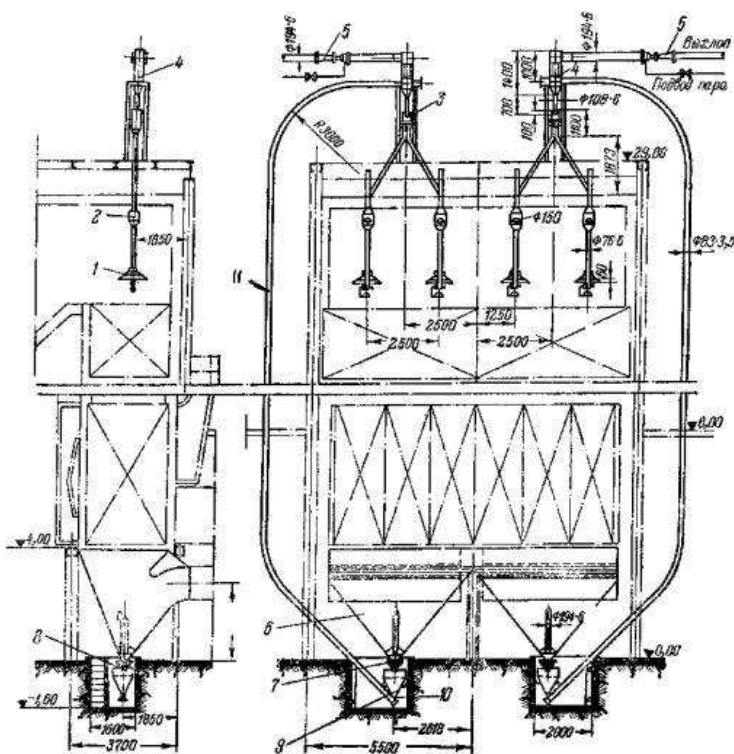


Рисунок 1.15 – Общий вид дробеочистительной установки:

- 1 – зонт с разбрасывателем; 2 – замедлитель; 3 – мигалка коническая;
- 4 – дробеуловитель; 5 – паровой эжектор; 6 – нижний бункер;
- 7 – камера регулируемого подвода воздуха; 8 – мигалка плоская;
- 9 – бункер дроби; 10 – питатель; 11 – подъемный дробепровод.

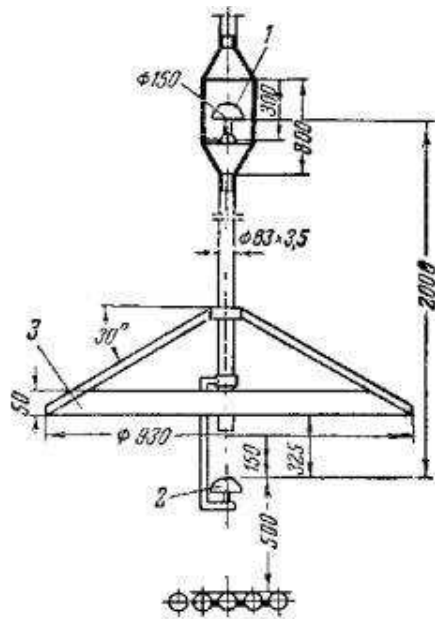


Рисунок 1.16 – Распределитель дробы под конвективной шахтой:
 1 – замедлитель сферический; 2 – разбрасыватель сферический;
 3 - кольцевой зонт

При эжекционном варианте, подъёмный тракт работает под разрежением, создаваемым эжектором или вакуумным насосом. Это простая схема, но она подвержена золовому износу.

Питатель равномерно дозирует дробь, один его конец присоединён в дробепроводу, а второй – защищён сеткой и открыт для свободного доступа воздуха. Вертикальный патрубок соединён с бункером дробы (рисунок 1.17).

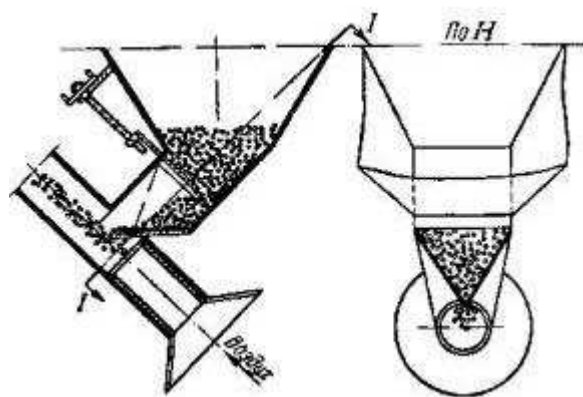


Рисунок 1.17 – Схема питателя дробы

Импульсная очистка основана на ударном воздействии волны газов. Устройство для импульсной очистки представляет собой камеру, внутренняя полость которой сообщается с газоходами котла, в которых расположены конвективные поверхности нагрева.

Эффективная импульсная очистка внутренних поверхностей котлов-утилизаторов, осуществляемая на различных предприятиях черной металлургии и энергетики, позволила предположить возможность применения ударно-волнового воздействия для удаления отложений с внутренних поверхностей агрегатов и транспортных систем различных технологических линий химической промышленности [20].

Все системы импульсной очистки можно разделить на две группы по виду применяемого топлива: 1) газоимпульсную очистку, для которой применяются различные виды газообразных топлив (природный, коксовый, сжиженный водород и другие газы); 2) жидкостную импульсную очистку, для которой применяются бензин, дизельное топливо, реже – керосин.

В системах импульсной очистки используют камеры импульсного горения, в которых создаются периодически выбрасываемые с большой энергией потоки продуктов сгорания. С помощью возникающих в импульсной камере и передаваемых в газоходы волновых колебаний происходит разрушение отложений и очистка труб [20].

1.3 Выводы и постановка задач исследования

Проведен анализ современного состояния топочных процессов при сжигании в энергетических котельных агрегатах бурых КАУ. Установлено, что вопросы шлакования и загрязнения топочных экранов паровых котлов сохраняют свою актуальность, несмотря на многочисленные исследования, а также большой опыт проектирования и эксплуатации котельного оборудования при сжигании КАУ. При этом вопросы образования золошлаковых отложений

требуют решения в направлении дальнейшего совершенствования конструкций котлов, их расчета и контроля, технологических методов сжигания угля. К числу таких вопросов относится необходимость совершенствования системы очистки топочных экранов.

Анализ изложенного литературного материала показал, что наиболее перспективным методом очистки поверхностей нагрева паровых котлов от золовых отложений является водяная обмывка. В настоящее время разработано несколько вариантов конструкций аппаратов водяной очистки, но серийное производство их отсутствует.

Целью работы является повышение тепловой эффективности котла П-67 на основе рекомендаций по усовершенствованию системы очистки топочных экранов котла при сжигании шлакующих КАУ.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

4. Провести анализ влияния шлакования и загрязнения поверхностей нагрева на надежность работы котельных агрегатов сжигающих КАУ.

5. Провести анализ существующих методов снижения уровня шлакования и загрязнения поверхностей нагрева.

6. Разработать рекомендации по усовершенствованию системы очистки топочных экранов при сжигании КАУ.

2 Особенности работы поверхностей нагрева котлов П-67

2.1 Конструкция котла

ПрямоточныйгазоплотныйоднокорпусныйкотелПп-2650-255 (П-67)
(рисунок2.1) Т-образнойкомпоновкисквадратнымсечениемтопки 23x23
мстангенциальныммногояруснымрасположениемгорелокпредназначендляработ
ывблокестурбинойК-800-240-5[1, 8, 9, 12, 19,
24].КотелПодольскогомашиностроительногозавода (ЗиО)
размещенвкотельномотделенииглавногокорпусаирассчитаннасжиганиеберезовс
когоугля. Проектнаяпроизводительностькотла – 2650 т/ч, параметрыпара:
давление– 255/38 кгс/см², температура– 545 °С.
Стенытопкиигазоходоввыполненыизцельносварныхгазоплотныхпанелей,
каркасыкотлаизданиясовмещены,
всеповерхностинагревакромевоздухоподогревателяподвешеныккаркасу.Основн
ые характеристики представлены в таблице 2.1.

Дляразмолатопливакотелоснащен 8-юмельницами-вентиляторами
(МВ3300/800/490),
которыерасположеныподвескаждойсторонквдратнойтопки.
Номинальнаяпроизводительностькаждоймельницы 70 т/чпри R₁₀₀₀ =
1,5 %,R₉₀=55% ивентиляции 200 тыс. м³/ч.
Сушкатапливаосуществляетсядымовымигазами,
отбираемымиизповоротныхкамерчерезспециальныеэкранированныегазоходы,
гдеониохлаждаютсядо 680°С.
Температураазросмесирегулируетсяприсадкойхолодныхгазовизтрактарециркул
яции. Температуразам мельницейсоставляет140...180°С.
Расчетныйрасходберезовскогоугля 460 т/ч;растопочноетопливо – мазут.

Дляравномерногораспределенияпоярусамгорелокпылегазовыхпотоконнад
сепараторомкаждоймельницы-вентилятораустановленвихревойпыледелитель.
Сцельюлучшегозаполненияфакеломхолоднойворонкигорелкинаклоненывнизна

10°. В нижней части топки была предусмотрена подача части горячего воздуха (до 8%) на нижнее дустье вдоль скатов холодной воронки через 16 сопел встречно-смещенной схемы для снижения механического недожога спровалом, однако они были демонтированы в связи с низкой надежностью.

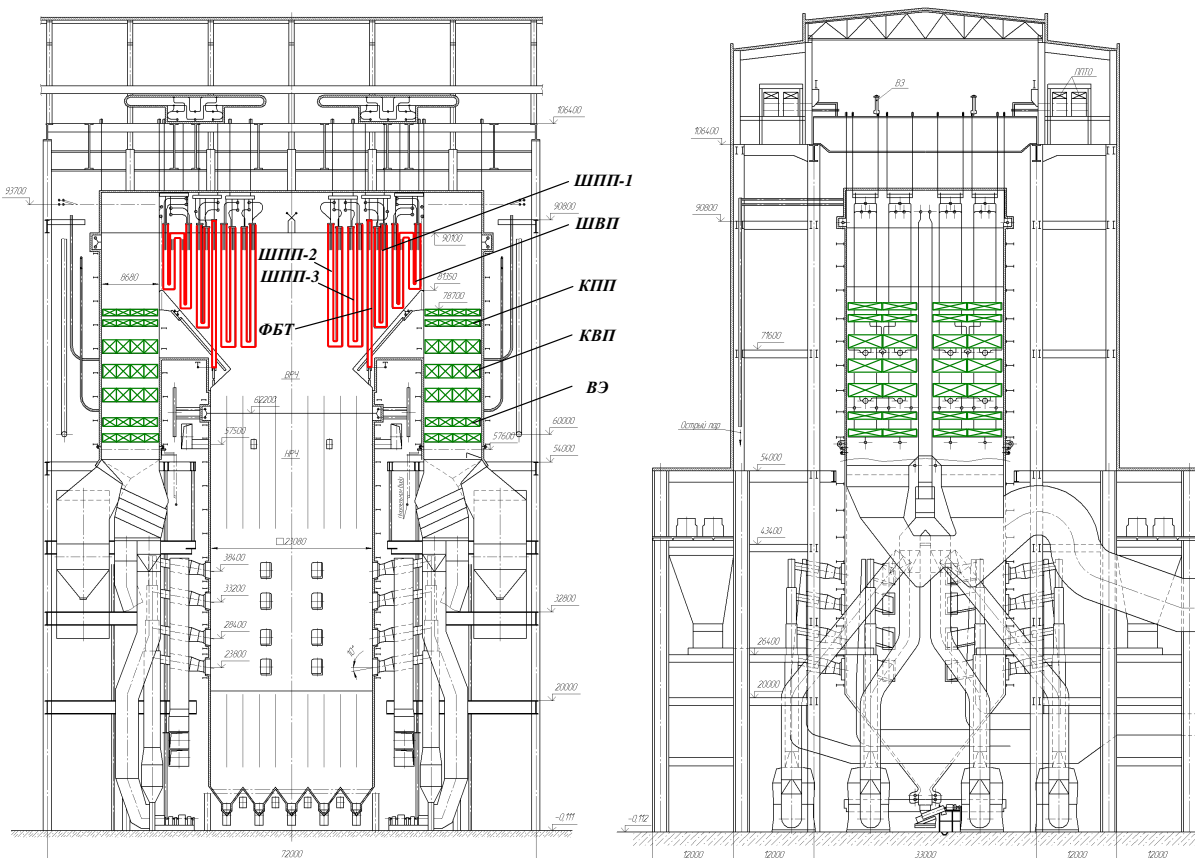


Рисунок 2.1 – Общий вид котла П-67

Для снижения температуры в зоне горения и на выходе из топки применяется рециркуляция дымовых газов из газоходов заводяным экономайзером при температуре 360°C , которые проходят через устройство азолоочистки и транспортируются двумя дымососами рециркуляции.

В проекте котла предусматривался тангенциальный ввод в верхнюю часть топки рециркулирующих газов, создающих вращение,

противоположное вращению основного факелас целью снижения общего уровня в
ыравнивания поля температур газов на выходе из топки.

Таблица 2.1 – Основные проектные характеристики котла П-67

№	Наименование	Обозначение	Значение
1.	Номинальная паропроизводительность, т/ч	$D_{пе}$	2650
2.	Расход пара через промперегреватель, т/ч	$D_{пп}$	2186
3.	Давление пара, кгс/см ² :		
	- на выходе из пароперегревателя	$P_{пе}$	255
	- на выходе из промперегревателя	$P_{пп}$	38
4.	Температура, °С:		
	- пара высокого давления	$t_{пе}$	545
	- пара на выходе из промпароперегревателя	$t_{пп}$	545
	- питательной воды	$t_{пит}$	274
	- уходящих газов	$T_{ух}$	140
	- горячего воздуха	$t_{гв}$	335

Расчетная температура факела 1250...1260°С.

Расчетная температура газов на уровне низа ширм второй ступени без учета газов рециркуляции и в верх топки составляет 1145°С, а с учетом подачив в верх топки 14% рециркулирующих газов – 1075°С.

Средняя температура газов на выходе из топки при этом равно соответственно 1102 и 1032°С.

Котел П-67

впервые в России был спроектирован комплексной системой очистки поверхностей нагрева (рисунок 2.2), которая включала в себя: 158 маловыдвижных паровых обдувочных аппаратов типа ОГР-У завода «Ильмарине», 12 дальнобойных аппаратов водяной обдувки типа АВО завода «Котлоочистка», 8 глубоководных аппаратов водяной обдувки типа ОВГ, предложенных Таллинским политехническим институтом, 10 мощных сопел (~7 МВт) паровой «пушечной» обдувки (ОППС), разработанных Ростовским участком завода «Котлоочистка» для очистки ширм на выходе из топки, 58 глубоководных аппаратов паровой обдувки типа ОГ-12 завода «Ильмарине»

для очистки ширм горизонтального газохода первичного и промежуточного перегрева пара,
 уникальную систему дробеочистки поверхностей нагрева конвективной шахты завода «Котлоочистка» и пневмоимпульсную очистку газоходов за котлом.

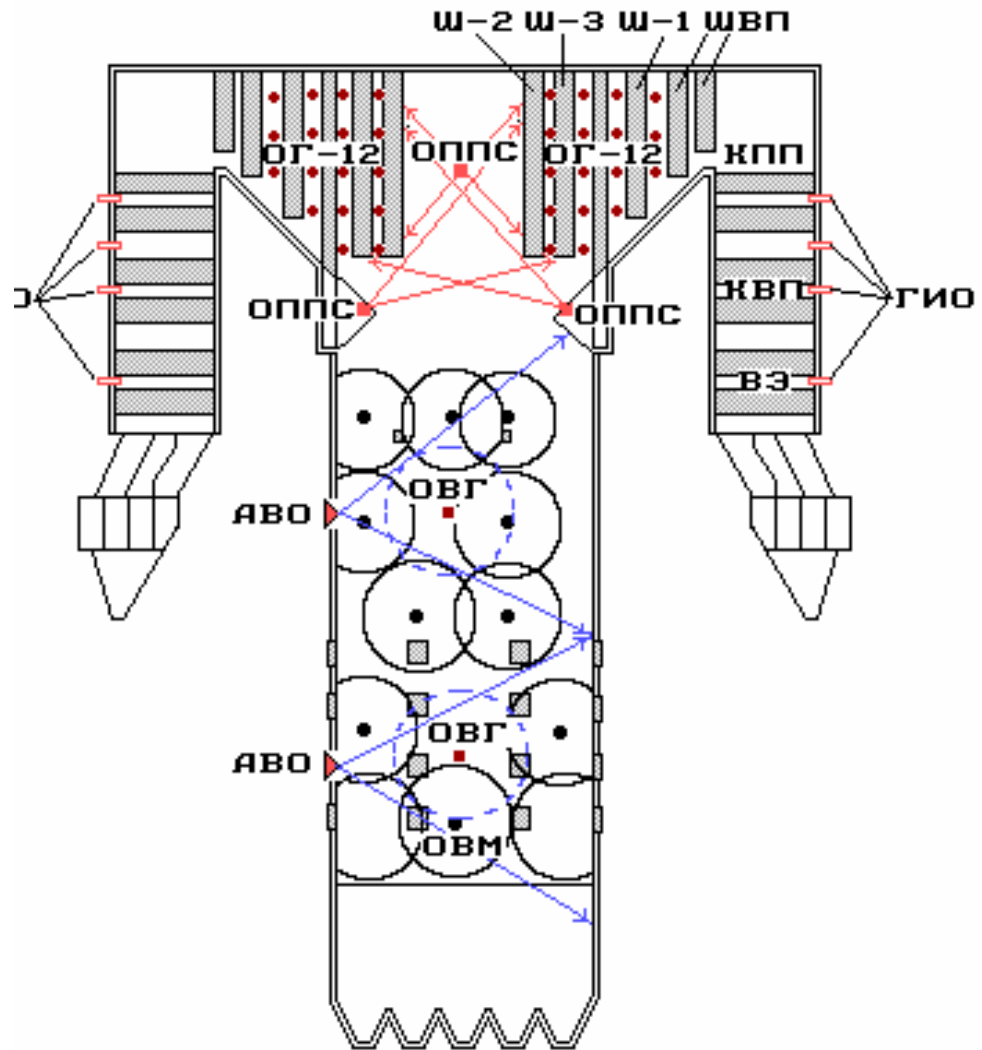


Рисунок 2.2 – Комплексная система очистки и модернизации котла П-67

Над топкой и в горизонтальном газоходе расположены ширмовые поверхности нагрева, причем первые ширмы по ходу газов цельносварные из плавниковых труб. Конвективные поверхности нагрева расположены в опускающем газоходе конвективной шахты. Все конвективные поверхности подвешены на подвесных трубах. Экономайзер мембранного типа.

Регулирование температуры перегрева первичного и вторичного пара производится впрыском.

Для подогрева воздуха применен трубчатый воздухоподогреватель. Для снижения температуры уходящих газов и повышения КПД электрофильтров использована система избыточного воздуха.

С целью лучшего заполнения факелом холодной воронки горелки наклонены вниз на 10° . В нижней части топки была предусмотрена подача части горячего воздуха (до 8%) на нижнее дутье вдоль скатов холодной воронки через 16 сопел по встречно-смещенной схеме для снижения мехнедожога с провалом, однако они были демонтированы в связи с низкой надежностью.

Для снижения температуры в зоне горения и на выходе из топки применяется рециркуляция дымовых газов из газоходов за водяным экономайзером при температуре 360°C , которые проходят через устройства золоочистки и транспортируются двумя дымососами рециркуляции.

Система пылеприготовления прямого вдувания с мелющими вентиляторами и газовой сушкой топлива. Отбор газов на сушку производится в районе поворотной камеры котла. Конструкция котла обеспечивает условия, необходимые для ремонта отдельных узлов котла. Основные технические решения по котлу – газоплотная подвесная конструкция, компоновка и конструкция поверхностей нагрева, параметры пара и высокая единичная мощность — соответствуют современным тенденциям и требованиям мирового котлостроения.

2.2 Эксплуатация котла при сжигании березовского угля

В угольной топке котла П-67 (рисунок 2.3) наиболее крупные (более 300—400 мкм) фракции угольной пыли под действием силы тяжести и в результате наклона горелок начинают выпадать вниз, имея при этом тангенциальную составляющую скорости. С учетом большого времени

выгорания они достигают скатов холодной воронки, все еще продолжая гореть. В результате в области стенок холодной воронки температура повышается. Газовый поток с горящими частицами движется по касательной вдоль середины левой и правой стены холодной воронки, постепенно поднимаясь к углам топочной камеры. Догорая, частицы с достаточно высокой температурой формируют шлаковые отложения в форме дуги, тянущейся до верхней части угла холодной воронки. В дальнейшем по углам топочной камеры происходит только подъемное движение газов, у которых тангенциальная составляющая скорости отсутствует. Поэтому по углам топочной камеры не происходит интенсивного шлакования, несмотря на значительное присутствие летучей золы.

При сгорании углей получается большое количество золы, способной образовывать шлаковые отложения. Если температура частиц золы будет выше температуры плавления золы, то расплавленный шлак осядет на стенках топки и поверхностях теплообменников, затвердеет и будет мешать работе котла. Однако если создать температурные условия, при которых зола останется твердой, то основная ее масса попадет в холодную воронку и золу можно будет удалить механически. Например, при помощи шнеков или транспортеров, как это и было задумано для котла П-67.

Однако выяснилось, что при достижении номинальной мощности во время эксплуатации котлов показатели интенсивности теплообмена в топке которых были ниже проектных, наблюдалось прогрессирующее шлакование топочной камеры, сопровождающееся ростом максимальной температуры газов на выходе, которая превышала проектные 1032°C более чем на 100°C . Образовавшиеся глыбы шлака при падении повреждали детали конструкции холодной воронки – нижней части топки под горелками, предназначенной для сбора и удаления твердых частиц шлака, а локальное шлакование ее скатов приводило к вынужденным остановкам котлов.

В нормативном методе теплого расчета котлов [24] используются два метода оценки загрязнения поверхностей нагрева:

спомощьюкоэффициентазагрязнения(отношениетолщинызагрязняющегослояк коэффициентуеготеплопроводности) икоэффициентатепловойэффективности ψ , представляющегособойотношениекоэффициентовтеплопередачизагрязненных ичистыхтруб.

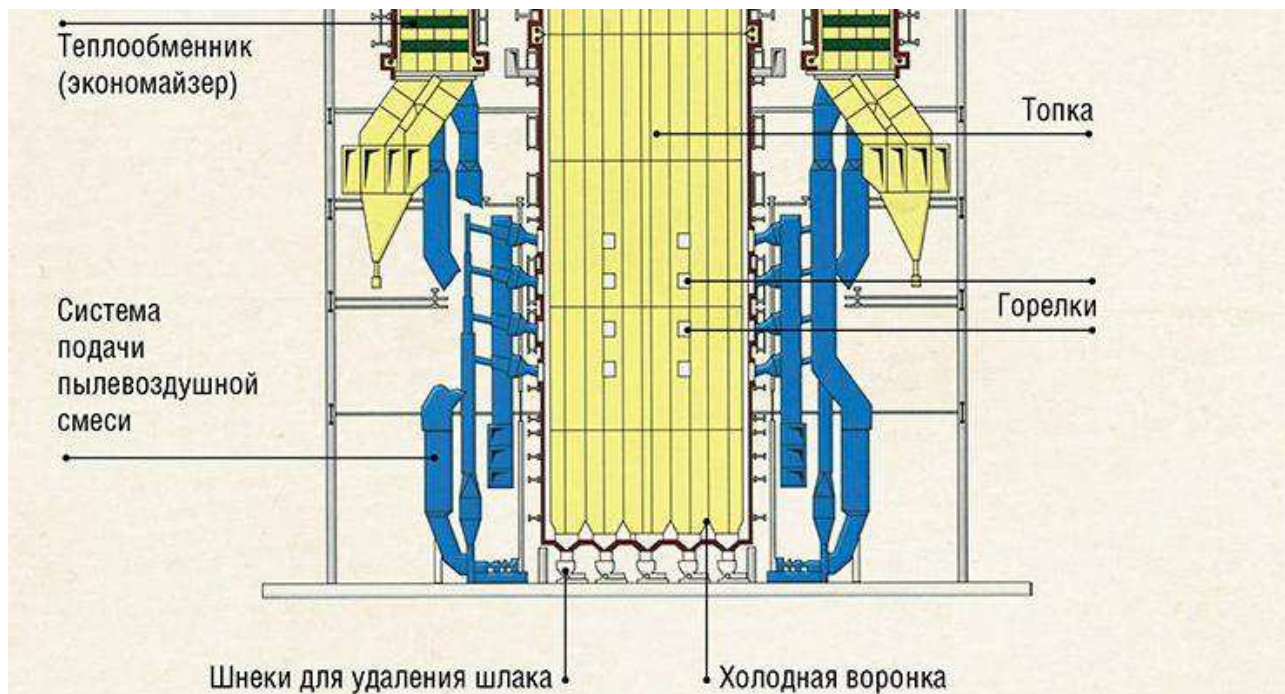


Рисунок 2.3 – Топочная часть котла П-67

Порезультатамбалансовыхиспытанийопределялиськоэффициентытепловойэффективностиповерхностейнагрева.

Ростпрочныхнаружныхотложенийнатопочныхэкранахбезстабилизациипродолжалсянескольколет.

ЭффективностьочисткикотлаП-67

существующимиаппаратамибыланедостаточнаввысока.

Ожидаемойсаморасшлаковкивпериодыостанововкотланенаблюдадось.

Резковозрослаинтенсивностьлокальногошлакованияэкрановвзонеактивногогоренияинаскатаххолоднойворонкипривысокихнагрузкахсобразованиемглыб, которыеповреждалиилиперекрывалишнекисистемышлакоудаления.

В процессе освоения котла в связи с низкой эффективностью и надежностью были демонтированы аппараты АВО и ОГРУ, взамен которых было установлено 20 малогабаритных аппаратов водяной обдувки типа ОВМ, число которых увеличилось за период с 1989 по 2000 год до 64 штук. Пушечная обдувка ширм позволяла сократить образование глыб, падающих в холодную воронку ширм, но не обеспечивала существенного повышения их теплосприятности.

Для увеличения надежности аппаратов ОГ-12 была сокращена глубина выдвижения обдувочных труб с 12 до 10 м, что привело к загрязнению центральных ширм потолка, росту температурных разверок и повышению повреждаемости металл труб.

Эффективность очистки ширм третьей, первой ступеней и ширм промпрегрева, расположенных в горизонтальном газоходе, аппаратами ОГ-12 в зоне очистки была достаточно высока, а выходящая ступень конвективного пароперегревателя в поворотной камере покрывала значительным слоем отложений.

Экспериментальные работы с отдельными устройствами виброочистки, пушечной обдувки, ультразвуковой, выполненные силами Березовской ГРЭС-1, ЦКТИ и других не дали желаемых результатов. Ежегодно в период текущих капитальных ремонтов котлоочистку в ручную более по луторам ежемесячно очищали конвективную шахту.

Анализ основных результатов исследований теплообмена в ширмовых конвективных поверхностях нагрева головного котла П-67 в период пуска наладочных и научно-исследовательских работ (1988-1992 гг.) показал существенное отличие проектных и фактических коэффициентов тепловой эффективности ширмовых конвективных поверхностей нагрева [1, 9, 18, 19].

Одной из главных причин перемаркировки энергоблоков с 800 до 700 МВт в 2000 году стала недостаточная эффективность проектной системы очистки поверхностей

нагрева, падение глыб шлака в холодную воронку, рост максимальных температур газов в поворотной камере перед выходными пакетами конвективного пароперегревателя, образование прочных отложений, снижающих тепловую эффективность и повышающих аэродинамическое сопротивление пакетов труб в конвективной шахте.

Уменьшающиеся по ходу газов поперечные шаг труб поверхностей нагрева конвективной шахты способствуют забиванию нижних пакетов труб кусками прочных отложений.

«Шахматная»

система подвесных труб исключает оптимально размещение паровых обдувочных аппаратов в конвективной шахте.

Снижение во времени тепловой эффективности воздуховодяного теплообменника (ВВТО),

работающего на сетевой воде и сокращение тепловой нагрузки в летний период приводит к повышению температуры уходящих газов,

снижению экономичности котла и эффективности электрофильтров.

2.3 Выводы по главе 2

1. Установлено, что при достижении номинальной мощности котлов показатели интенсивности теплообмена в топке были ниже проектных, наблюдалось прогрессирующее локальное шлакование топочной камеры, сопровождающееся ростом максимальной температуры газов на выходе, которая превышала проектные 1032 °С более чем на 100 °С. При этом имеет место существенное отличие проектных и фактических коэффициентов тепловой эффективности поверхностей нагрева.

2. Определено, что в процессе эксплуатации котла резко возросла интенсивность локального шлакования экранов в зоне активного горения на скатах холодной воронки при высоких нагрузках. При этом

существующими аппаратами оказалась недостаточна высока.

3. Показано, что определяющую роль в повышении бесшлаковочной мощности котлов играет модернизация комплексной системы очистки поверхностей нагрева от наружных отложений, оптимизация схем размещения обдувочных аппаратов, параметров и режимов их работы.

3 Разработка рекомендаций по усовершенствованию системы очистки топочных экранов при сжигании канско-ачинских углей

3.1 Водяная очистки зон локального шлакования топочных экранов

Основное внимание в данной работе уделено модернизации комплексной системы очистки топочных экранов. Модернизация заключалась в установке аппаратов водяной обдувки в областях интенсивного локального шлакования топочных экранов (рисунок 3.1). При этом на блоке ст. № 2 для повышения равномерности и эффективности очистки топочных экранов устанавливаются 8 дальнобойных аппаратов водяной обдувки типа ОВД. Кроме того, в зону интенсивного шлакования были перенесены аппараты ОВМ и ОВГ.

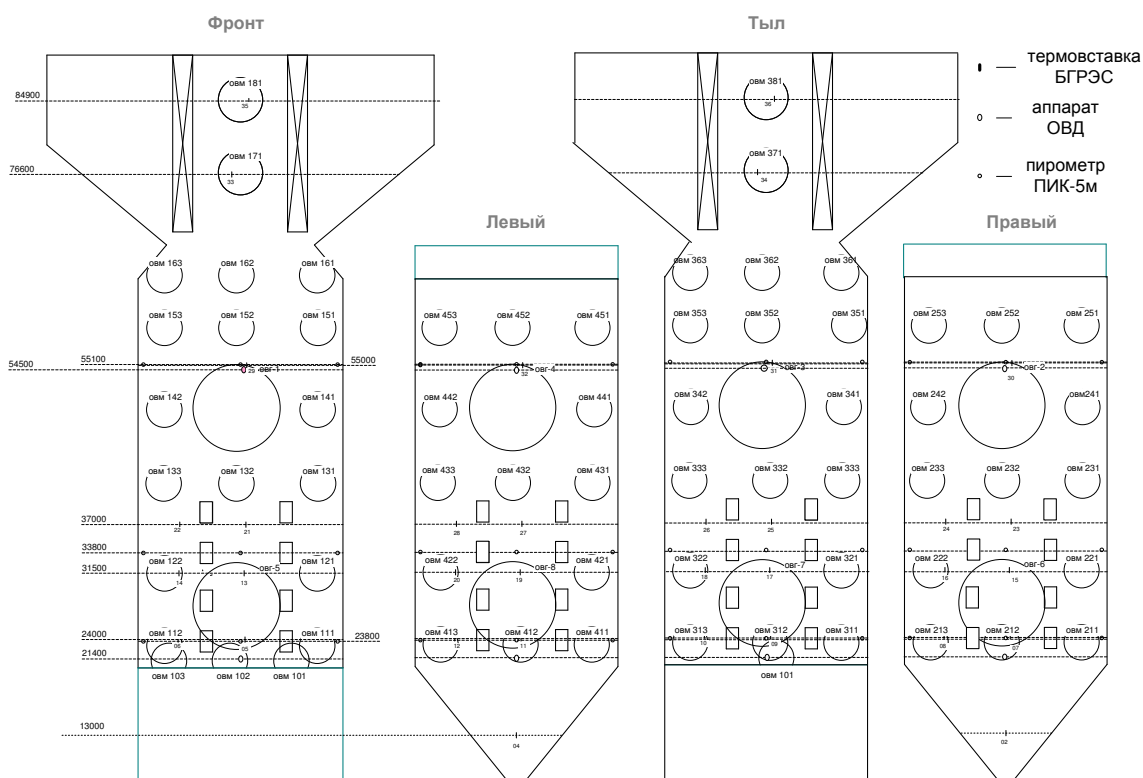


Рисунок 3.1 – Зоны очистки топочной камеры котла П-67 Березовской ГРЭС ст. № 2 аппаратами ОВД, ОВМ и ОВГ

Использование водяной очистки поверхностей нагрева паровых котлов имеет ряд особенностей, учет которых при разработке обмывочных устройств

является обязательным. Например, интенсивно действующая очистка, обеспечивающая высокую тепловую эффективность теплообменных поверхностей, вызывает одновременно повышенный износ металла труб, и, тем самым, уменьшает надежность агрегата и увеличивает затраты на восстановление труб.

Технические требования к параметрам водяной струи, которым должны соответствовать аппараты водяной очистки, следующие [20-22]:

- сопло аппарата должно обеспечивать компактность водяной струи;
- время контакта водяной струи с экранными трубами следует обеспечивать по всей зоне очистки в пределах 0,2-0,6 с.

Надо учитывать также, что узел сопла в топочной камере должен в межобмывочный период иметь достаточную плотность, при которой исключается увеличение присосов воздуха в топку.

Следует отметить, что если воздействию струи на условия работы металла труб поверхностей нагрева посвящено довольно много исследований, то водяные струи исследовались в основном с другой целью. Так, например, гидромониторные струи, предназначенные для резания, отбойки и размыва горных пород, должны обладать большим динамическим давлением на относительно небольшом расстоянии от насадки. Струи дождевальных машин, относящиеся к числу низконапорных струй, должны орошать возможно большую площадь равномерным дождем из мелких капель. Также неприменима теория распада струй жидкости, выбрасываемой через малое отверстие в воздух, при малых либо больших скоростях для более толстых струй.

Основными причинами распада водяной струи, вытекающей из сопла $d = 5$ мм при начальном давлении 0,3 МПа (т.е. при параметрах, используемых в аппаратах водяной очистки поверхностей нагрева), являются турбулентные пульсации, приводящие к отрыву отдельных частиц жидкости от основной струи, и смешивание струи с окружающей средой. Кроме указанных, на струю

воздействуют еще некоторые внешние факторы, как физические свойства окружающей среды, а также внешние силы (сила тяжести, центробежная сила). К особенностям водяной струи, используемой для очистки поверхностей нагрева, относится и тот факт, что раздробленная струя, состоящая из достаточно крупных образований, долетающих до обмываемой поверхности, принимает участие в обмывке. Под компактностью струи понимается условная длина струи от выходного сечения сопла до сечения, где через круг диаметром 38 см протекает 90% и через круг диаметром 26 см 10% от объема струи [20-22].

При водяной обмывке повышается вероятность разрыва экранных труб, испытывающих циклические тепловые нагрузки. Поэтому в настоящее время все чаще предлагаются альтернативные способы водяной очистки поверхностей нагрева, такие как устройства водяной очистки, в которых эффект очистки достигается за счёт использования резкого и интенсивного кинетического и термического воздействия технической воды на шлаковые отложения, в поверхностном слое которых возникают местные напряжения, приводящие к их разрушению.

Одним из наиболее перспективных методов очистки топочных экранов при сжигании КАУ является устройства водяной очистки УВО-1.02 (далее – УВО).

3.2 Конструкция устройства водяной очистки топочных экранов

УВО предназначено для очистки топочных поверхностей нагрева энергетических котлов от шлаковых отложений (рисунок 3.2). Области применения: энергетика, нефтехимическая промышленность, металлургия. Эффект очистки достигается за счёт использования резкого и интенсивного кинетического и термического воздействия технической воды на шлаковые отложения, в поверхностном слое которых возникают местные напряжения,

приводящие к их разрушению. УВО может эксплуатироваться при температуре окружающей среды не более плюс 70 °С.

На рисунке 3.3 показаны габариты УВО. Конструктивные особенности устройства следующие.

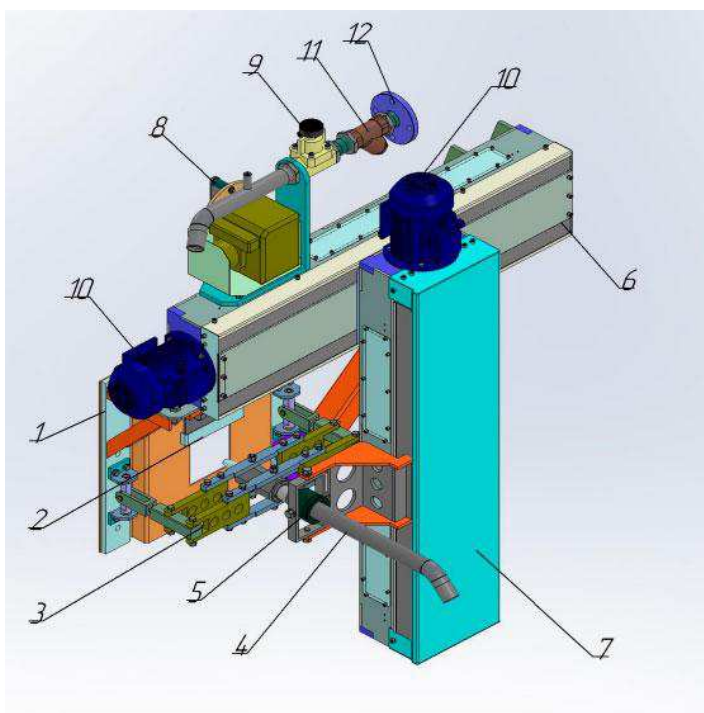


Рисунок 3.2 – Общий вид УВО:

1 – рама крепления; 2 – заслонка люка; 3 – механизм шарнирный;
 4 – гидромонитор с соплом; 5 – водило гидромонитора; 6 – стойка горизонтальная; 7 – стойка вертикальная; 8 – механизм электрический однооборотный (МЭО); 9 – электромагнитный клапан подачи воды;
 10 – электродвигатель привода; 11 – фильтр; 12 – входной фланец

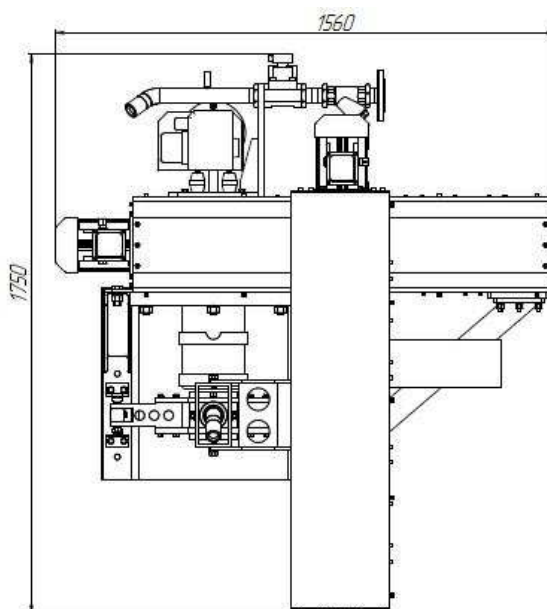


Рисунок 3.3 – Габариты УВО

Заслонка люка 2 необходима для защиты УВО, находящегося в дежурном режиме, от термического воздействия работающего котла. Механизм шарнирный 3 служит для преобразования возвратно-поступательного движения водила в возвратно-поступательное движение гидромонитора. Конструкция механизма представляет собой складывающийся параллелограмм, перемещающийся в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Гидромонитор с соплом 4 предназначен для подвода воды к люку и формирования водяной струи. Водило гидромонитора 5 предназначено для центрирования гидромонитора относительно люка. Представляет собой листовую сварную конструкцию с отверстиями для крепления к каретке стойки привода вертикальной развертки. Стойка горизонтальная 6 необходима для обеспечения движения гидромонитора в горизонтальном направлении. Она имеет сварной стальной корпус. Стойка вертикальная 7 необходима для обеспечения движения гидромонитора в вертикальном направлении, которая конструктивно выполнена идентично стойке горизонтальной. Механизм МЭО 8 служит в качестве привода механизма открытия и закрытия заслонки люка. Электромагнитный клапан подачи воды 9 обеспечивает подачу воды. Подача воды производится только во время очистки. Электродвигатель привода 10 предназначен для перемещения гидромонитора в заданном направлении.

Технологические и технические параметры устройства УВО приведены в таблицах 3.1-3.3.

Таблица 3.1 – Режимы электропитания и электрической нагрузки приводов

№	Наименование параметра	Значение
1	Мощность, кВт	1,1
2	Напряжение трехфазной сети перемен. тока частоты 50 Гц, В	400
3	Частота вращения, об/мин	1500

Таблица 3.2 – Технологические параметры УВО

№	Наименование параметра	Значение
1	Давление воды, МПа	0,6 - 2
2	Температура воды, не более, °С	50
3	Условный проход присоединительного фланца, мм	50
4	Угол развертки обдувочной струи, градус	90
5	Дальность боя обдувочной струи, не более, м	30
6	Масса, кг	280
7	Климатическое исполнение	УЗ.1
8	Температура эксплуатации, не более, °С	70

Таблица 3.3 – Показатели надежности

№	Наименование параметра	Значение
1	Вероятность безотказной работы за 1000 циклов	0,90
2	Срок службы, лет, не менее	10

3.3 Предложение по системе управления водяной очисткой поверхностей нагрева

Управление УВО осуществляется терминалом локальной автоматики котельного оборудования АПМ.ТЛА1.016.СО.ОД-4. Рама крепления 1 (см. рисунок 10) предназначена для крепления УВО к экрану котла с помощью шести отверстий и соединения узлов УВО.

Комплекс очистки, включает четыре УВО и одну общую систему управления (СУ). Способ очистки, реализуемый УВО, заключается в интенсивном воздействии водяной струи на золошлаковые отложения. Последовательность работы УВО задается системой управления. Каждое УВО в

отдельности можно запрограммировать на индивидуальную траекторию очистки.

УВО эффективно производит очистку на расстоянии до 30 м.

Последовательность действий УВО в автоматическом режиме:

– при нажатии кнопки «Старт» системы управления (далее СУ) к УВО подается вода под давлением;

– на МЭО подается питание, и заслонка лючка открывается до срабатывания выключателя в МЭО;

– на электромагнитный клапан подается питание, и он открывается.

Изопла струя воды поступает на очищаемую поверхность;

– на двигатель горизонтального привода подается питание. Ходовой винт начинает вращение, и ходовая гайка передвигает каретку. Каретка приводит в движение вертикальную стойку, которая через водило перемещает гидромонитор. Струя воды горизонтально перемещается по экрану котла, идет процессочистки. СУ считывает импульсы, выдаваемые энкодером. По достижению заданной длины горизонтального шага очистки СУ выдает команды на отключение питания двигателя горизонтального привода и включение двигателя вертикального привода. Гидромонитор отклоняется в вертикальной плоскости. Струя воды вертикально перемещается по экрану котла. Энкодер вертикального привода выдает импульсы в систему управления. По достижении заданной длины вертикального шага очистки СУ выдает команду на отключение питания двигателя вертикальной стойки и включение двигателя горизонтального привода. Поочередная работа приводов горизонтального и вертикального приводов осуществляется до завершения очистки по заданной траектории движения;

– на электромагнитный клапан подается питание, и он закрывается, отключая подачу воды;

– на МЭО подается питание для закрытия заслонки люка.

После завершения работы одного УВО, СУ переходит к управлению следующим УВО. Таким образом, будет пройден весь цикл обдувки системы очистки. Вариант траектории очистки представлен на рисунке 3.4.

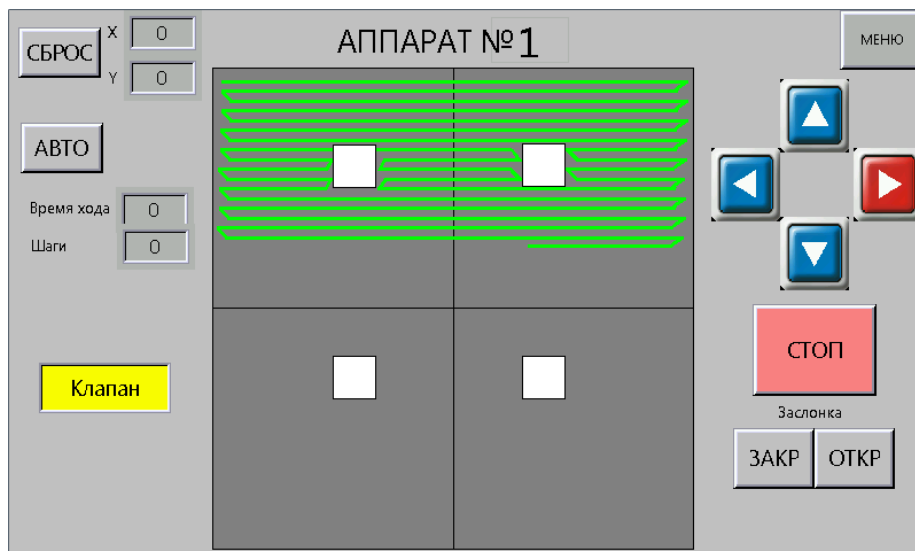


Рисунок 3.4 – Траектория очистки поверхности нагрева котла с выделением неочищаемых зон (скриншот с панели оператора СУ)

3.3 Выводы по главе 3

На основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1.

Для повышения равномерности и эффективности очистки топочных экранов в местах локального шлакования рекомендовано установить 8 дальнобойных аппаратов водяной обдувки типа ОВД. Кроме того, в зону интенсивного шлакования следует перенести аппараты ОВМ и ОВГ.

2. Рассмотрен принцип водяной очистки экранонных поверхностей нагрева котлов, работающих на сильношлакующих топливах. Показано, что разрушение отложений достигается в основном под действием внутренних напряжений, возникающих в слое при периодическом их охлаждении водяными струями, истекающими из сопловых.

3. Показано, что при водяной обмывке повышается вероятность разрыва экранных труб, испытывающих циклические тепловые нагрузки. Предложено устройство водяной очистки поверхностей нагрева, при работе которого эффект разрушения золошлаковых отложений достигается за счёт использования резкого и интенсивного кинетического и термического воздействия технической воды на их поверхностный слой.

4. Предложена система защиты топочного процесса при водяной очистке, прерывающая подачу воды в аппарат при длительном охлаждении отдельных труб экранов и, как следствие, возможном нарушении циркуляции питательной воды в них при низком уровне тепловосприятости поверхностями нагрева.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практика создания, внедрения и эксплуатации методов и средств по обеспечению тепловой эффективности поверхностей нагрева паровых котлов исходя из соотношения качества получаемого результата и стоимости реализации показала, что наиболее предпочтительным вариантом борьбы с интенсивным шлакованием и загрязнением является установка современных средств очистки поверхностей нагрева.

При выполнении диссертационного исследования был разработан комплекс рекомендаций по усовершенствованию системы очистки топочных экранов при сжигании КАУ, позволяющий повысить тепловую эффективность топочных экранов паровых котлов. Были получены следующие результаты.

Установлено, что аэродинамическая структура газовых потоков в топочной камере обладает высокой неравномерностью: крупномасштабный центральный вихрь инициирует вторичные вихри в углах топочной камеры, которые приводят к набросу потока на стенку топки, температура которой начинает повышаться. На этой перегретой поверхности образуются шлаковые отложения.

Определены места интенсивного шлакования, которые находятся на фронтальной и задней стенках котла выше зоны активного горения – на высоте 45...65 м, а также около горелок.

Показано, что основная причина шлакования – осаждение мелкой фракции золы, частицы которой вовлекаются в движение вторичными вихрями в углах топочной камеры. Обладая достаточно высокой температурой, они достигают экрана, где и образуют шлаковые отложения.

Установлено, что использование водяной обмывки не приводит к сильному золовому износу очищаемых труб, так как скорости истечения воды из сопел сравнительно невысоки. Так, в результате регулярного применения (2–3 раза в смену) комплексной очистки котла, возможно обеспечить практически неограниченную длительность его рабочей кампании при номинальной

паропроизводительности и нормальных параметрах. Рассмотрены особенности конструкции и работы водяной очистки поверхностей экранов.

Предложено устройство эффективной очистки поверхностей нагрева энергетических котлов за счёт резкого и интенсивного кинетического и термического воздействия технической воды на шлаковые отложения.

Рекомендована система защиты топочного процесса при водяной очистке, прерывающая подачу воды в аппарат при длительном охлаждении отдельных труб экранов и, как следствие, возможном нарушении циркуляции питательной воды в них при низком уровне тепловосприятости поверхностями нагрева.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пронин, М.С. Совершенствование технологий пылеугольного сжигания канско-ачинских углей с учетом особенностей поведения их органической и минеральной массы: монография / М.С. Пронин. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. – 224 с.
2. Залкинд, И.Я. Зола и шлаки в котельных топках / И.Я. Залкинд, В.С.Вдовченко, Э.П. Дик. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 79 с.
3. Пронин, М.С. Особенности сжигания канско-ачинских углей в пылеугольных топках / М.С. Пронин, В.Г. Мещеряков, С.Г. Козлов [и др.] // Сб. науч. тр.: Повышение эффективности и экологической безопасности сжигания углей на электростанциях Сибири. – Красноярск, 1995. – С. 5-13.
4. Клейменова, И.И. Характеристика углей Канско-Ачинского бассейна как энергетического топлива / И.И. Клейменова // Материалы научно-технического совещания по экономическому сжиганию бурых углей Канско-Ачинского бассейна. – Красноярск, 1967. – С. 14-29.
5. Лебедев, И.К. Состав минеральной части березовского угля / И.К. Лебедев, С.К. Карякин, А.С. Загорин // Краткие тезисы докладов: Расширение добычи и использования канско-ачинских углей. – Красноярск, 1972. – Ч. 1. – С. 156-161.
6. Шарловская, М.С. Влияние минеральной части сибирских углей на загрязнение поверхностей нагрева парогенераторов / М.С. Шарловская, А.С. Ривкин. – Новосибирск: Наука, 1973. – 242 с.
7. Дик, Э.П. Шлакующие свойства ирша-бородинского и березовского углей Канско-Ачинского бассейна / Э.П. Дик, А.Н. Соболева // Теплоэнергетика. – 2004. – № 9. – С. 34-39.
8. Дик, Э.П. Особенности поведения минеральной части канско-ачинских углей в топках котлов и задачи исследований / Э.П. Дик, И.Я. Залкинд, М.Я. Процайло, В.С. Вдовиченко [и др.] // Тез. Докл. к краевому науч.-техн.

совещанию: Вопросы сжигания канско-ачинских углей в мощных парогенераторах. – Красноярск, 1978. – Ч.2. – С. 234-238.

9. Маршак, Ю.Л. Шлакование топочной камеры при сжигании березовского угля / Ю.Л. Маршак, С.Г. Козлов, Э.П. Дик, С.И. Сучков [и др.] // Теплоэнергетика. – 1980. – № 1. – С. 16-22.

10. Пронин, М.С. О надежности жидкого шлакоудаления при сжигании углей Канско-Ачинского бассейна / М.С. Пронин, М.Я. Процайло, Ю.Л. Маршак // Теплоэнергетика. – 1982. – № 3. – С. 58-59.

11. Маршак, Ю.Л. Основные вопросы сжигания углей Канско-Ачинского бассейна на тепловых электростанциях / Ю.Л. Маршак, М.Я. Процайло, В.М. Иванников, О.Н. Кучерявый // Электрические станции. – 1981. – № 1. – С. 18-24.

12. Козлов, С.Г. Повышение эффективности сжигания углей Канско-Ачинского бассейна в топках с твердым шлакоудалением: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 17.06.09 / Козлов Сергей Георгиевич. – Красноярск: СФУ, 2009. – 20 с.

13. Маршак, Ю.Л. Опытное сжигание березовского угля в полуоткрытой вихревой топке с жидким шлакоудалением котлов БКЗ-320-140 ПТ / Ю.Л. Маршак, М.С. Пронин, М.Я. Процайло, В.В. Васильев [и др.] // Теплоэнергетика. – 1982. – № 5. – 35-44.

14. Пронин, М.С. Результаты опытного сжигания отсевов березовского угля в котле БКЗ-320-140 Ачинской ТЭЦ / М.С. Пронин, А.И. Новиков, С.Г. Козлов [и др.] // Сб. науч. тр.: «Повышение эффективности и экологической безопасности сжигания углей на электростанциях Сибири». – Красноярск, 1995. – С. 109-112.

15. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов / Под ред. Э.Х. Вербовецкого и Н.Г. Жмерика. – Санкт-Петербург, 1996. – 270 с.

16. Ленкевиц, Г. Развитие пылеугольных котлов для бурого угля. Паровые котлы западноевропейских стран / Г. Ленкевиц. – М-Л.: ГЭИ, 1957. – С. 3-12.
17. Отс, А.А. Процессы в парогенераторах при сжигании сланцев и канско-ачинских углей / А.А. Отс. – М.: Энергия, 1977. – 312с.
18. Белый, В.В. Исследование теплообмена и модернизация топочной камеры котла П-67 блока 800 МВт / В.В. Белый, С.В. Порозов, В.В. Васильев, А.А. Дектерев, Е.С. Тэпфер // Теплофизика и аэромеханика, 2007, Т. 14, № 2.
19. Порозов, С.В. Повышение тепловой эффективности поверхностей нагрева мощных котельных агрегатов при сжигании шлакующих углей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 07.12.06 / Порозов Сергей Викторович. – Красноярск:КГТУ, 2006. – 21 с.
20. Аппараты и устройства очистки поверхностей нагрева: Отраслевой каталог / НИИЭ НИИЭинформэнергомаш. – М., 1987. – 88 с.
21. Методические указания по расчету и эксплуатации аппаратов водяной обдувки поверхностей нагрева паровых котлов (МУ 34-70-124-86) / М.Н.Майданик, В.В. Васильев, Л.Ю. Воробьева, А.А. Отс [и др.]– М., 1985. – 60 с.
22. Порозов, С.В. Системы очистки поверхностей нагрева фирмы «Клайд БергеманнГмбХ» / С.В. Порозов, А.Д. Александров, В.А/ Котляревский // Тез. докл. Международного семинара «Опыт внедрения новой техники и технологий в энергетике». – Шарыпово, 2003. – С. 25-28.
23. Левицкий, Создание новых маловыдвижных аппаратов паровой и водяной очистки / Г.Г. Левицкий, М.Н. Майданик, В.В. Васильев // Тр. ЦКТИ № 248. – Л., 1989. –С. 49-56.
24. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). – М.: Энергия, 1973. – 295 с.


Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра теплотехники и гидрогазодинамики

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 В.А. Кулагин

«___» _____ 2019 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ТОПОЧНЫХ ЭКРАНОВ
ПРИ СЖИГАНИИ КАНСКО-АЧИНСКИХ УГЛЕЙ»

13.04.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

13.04.01.01 – Энергетика теплотехнологий

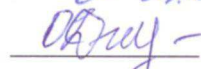
Научный руководитель


29.06.19

д.т.н., профессор

А.П. Скуратов

Выпускник



Д.В. Оберман


Рецензент



д.т.н., профессор

С.В. Беляев

Нормоконтролер


29.06.19

д.т.н., профессор

А.П. Скуратов

Красноярск 2019