

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

Политехнический институт
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Т. А. Кулагина
подпись
« _____ » _____ 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

20.03.01 «Техносферная безопасность»

«Усовершенствование системы золоулавливания отходящих
газов на угольной ГРЭС»

Пояснительная записка

Руководитель _____ канд. техн. наук Л. В. Кулагина
подпись, дата

Выпускник _____ И. Л. Чекалов
подпись, дата

Консультанты по разделам:

Консультант по _____ С. В. Комонов
нормативно-правовой базе _____
подпись, дата инициалы, фамилия

Нормоконтроль _____ С. В. Комонов
подпись, дата инициалы, фамилия

Красноярск 2018

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме: «Усовершенствование системы золоулавливания отходящих газов на угольной ГРЭС» содержит 87 страниц текстового документа, 25 использованных источников; 6 рисунков, таблиц, 5 листов графического материала.

Объект исследования – угольная Гидрорециркуляционная электростанция.

Целью исследования является усовершенствование ГОУ отходящих газов на угольной ГРЭС.

Задачи работы:

- Рассмотреть структуру энергоблока;
- изучить образования выбросов на ГРЭС твердых отходов от сжигания твердого топлива;
- разработать мероприятия по снижению выбросов золы в отходящих газах;
- провести расчет эффективности золоулавливания после мероприятий;

АННОТАЦИЯ
к выпускной квалификационной работе
на тему: Усовершенствование системы золоулавливания отходящих
газов на угольной ГРЭС

ВКР выполнена на 87 страниц, включает 5 таблиц, 6 рисунков и 25 литературных источников.

Объектом исследования является угольная Гидрорециркуляционная электростанция.

Целью исследования является реконструкция (модернизация) ГОУ.

В ВКР входит введение, семь глав, итоговое заключение по работе.

Во введении раскрывается актуальность выпускной квалификационной работы по реконструкции ГОУ на ГРЭС, ставится проблема, цель и задачи.

В первой главе дана характеристика предприятия.

Во второй главе выявлены характерные выбросы ГРЭС.

В третьей главе рассмотрены методы аппаратного улавливания твердых частиц в отходящих газах.

В четвертой главе проведен расчет применения газоочистных аппаратов.

В пятой главе представлена нормативно-правовая база.

В заключении сформулированы выводы по выпускной квалифицированной работе.

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

Политехнический институт

Кафедра «Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ Т. А. Кулагина

подпись

« _____ » _____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме бакалаврской работы

Студенту: Чекалову Илье Львовичу

Группа ЗФЭ 13-02Б. Направление (Специальность): 20.03.01
«Техносферная безопасность»

Тема выпускной квалификационной работы: «Усовершенствование системы золоулавливания отходящих газов на угольной ГРЭС».

Утверждена приказом по университету: № 4892/с от 05.04.2018 г.

Руководитель ВКР: Л.В. Кулагина, канд. техн. наук.

Исходные данные для ВКР: справочная литература, методическая литература, результаты замеров, СНиПы, ГОСТы, учебная литература, научные статьи.

Перечень разделов ВКР: введение, общие сведения о предприятии, характерные выбросы ГРЭС, обзор методов золоулавливания, проведение расчета применения аппаратов очистки от выбросов твёрдых частиц в

атмосферу, оценка величины предотвращенного экологического ущерба, расчет платы за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, нормативно-правовая база, заключение и список используемых источников.

Перечень графического материала:

Лист 1 – План схема местности, район станции;

Лист 2 – План схема энергоблоков 1,2 первой очереди;

Лист 3 – Схематический чертёж электрофильтра, рукавного фильтра;

Лист 4 – Схематический чертеж комбинированного электрофильтра;

Лист 5 –Сводная диаграмма эффективности.

Руководитель ВКР

Л. В. Кулагина

подпись

Задание принял к исполнению

И. Л. Чекалов

подпись

«__»_____2018 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения ВКР

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения
Сбор и анализ исходных данных, документации и литературы	04.06.2018-05.06.2018
Постановка задач, освоение методик расчётов	06.06.2018-07.06.2018
Выполнение расчетов, оформление работы, формирование выводов	08.06.2018-11.06.2018
Графическая работа по черчению решений.	12.06.2018-16.06.2018
Работа над нормативной правовой базой	17.06.2018-20.06.2018
Оформление документации согласно СТО	21.06.2018-24.06.2018

Руководитель ВКР

Л. В. Кулагина

Задание принял к исполнению

И. Л. Чекалов

«__» _____ 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Общие сведения о предприятии	10
1.1 Месторасположение и природно-климатические условия в регионе расположения предприятия	10
1.2 Характеристика предприятия, источники загрязнения атмосферы.....	11
1.3 Описание работы энергоблока первой очереди	16
1.4 Описание котла БКЗ.....	17
2 Характерные выбросы ГРЭС	20
2.1 Состав и характеристики угля	25
2.2 Воздействие выбросов от ГРЭС на организм человека	28
3 Обзор методов золоулавливания.....	30
3.1 Классификация оборудования для очистки газов	30
3.2 Описание и принцип работы электрофильтров	35
3.2.1 Типы электрофильтров	36
3.3 Описание и принцип работы рукавного фильтра.....	45
3.4 Описание и принцип работы комбинированного электрофильтра	51
4 Проведение расчета применения аппаратов очистки от выбросов твёрдых частиц в атмосферу	54
4.1 Расчет электрофильтра.....	55
4.2 Расчет рукавного фильтра	61
4.3 Расчет комбинированного электрофильтра	65
5 Нормативно-правовая база	73
Заключение	82
Список используемых источников.....	85

ВВЕДЕНИЕ

На угольных электростанциях тепловая энергия сжигаемого топлива преобразуется в паровом котле в паровую энергию, приводящую во вращение турбины турбоагрегата. При вращении турбины, механическая энергия с помощью генератора переходит в электрическую. Топливом для электростанций могут служить уголь, торф, горючие сланцы, а также газ и мазут.

Весьма существенно его значение на электростанциях и котельных. Сжигание в паровых котлах бурых углей с большим содержанием золы обострило проблему очистки газов от продуктов сгорания. В период интенсивного развития энергетики в 50-70-е годы большинство электростанций проектировалось с использованием аспирации в виде инерционных сухих аппаратов типа циклон, при использовании которых не достигается требуемый результат по очистке отходящих газов от котлов. Это вызывает необходимость замены традиционных систем ГОУ на более современные. В Российской энергетике на долю ГРЭС приходится до 62% выработки электроэнергии. Основными факторами ГРЭС являются: удаленность от потребителей электроэнергии, что определяет в основном выдачу мощности на высоких и сверхвысоких напряжениях, и блочный принцип построения электростанции. Мощность современных ГРЭС обычно такова, что каждая из них может обеспечить электроэнергией не один крупный район страны. Но при этом мы не должны забывать об экологической стороне этого вопроса. На данный момент решение вопроса связанного с уменьшением выбросов в атмосферу от предприятий энергетики разделилось на два направления:

Первое направление – это усовершенствование аппаратной очистки, что и рассмотрено в данной работе, при существующей типовой комплектации для ГРЭС, постсоветского периода дошедшего до наших дней.

Второе направление – это усовершенствование процесса сжигания и углеподготовка. Сухой способ очистки с помощью электрофильтров на данном этапе развития не дает значимый эффект при улавливание серы и оксидов. Но в

совокупности с правильным сжиганием топлива и углеподготовке, можно достичь значительных результатов.

1 Общие сведения о предприятии

1.1 Месторасположение и природно-климатические условия в регионе расположения предприятия

Гидрорециркуляционная электростанция (ГРЭС), расположенная в Загустайской долине в городе Гусиноозёрске, на северо-восточном берегу Гусиного озера, находится в Республике Бурятия. Расположена в Забайкалье, на Селенгинском среднегорье, в Гусиноозёрской котловине, в 6 км от железнодорожной станции Загустай, в 110 км к юго-западу от Улан-Удэ.

Территория Селенгинского района занимает степную юго-западную часть Гусино-Удинской котловины, которая ограничена и пересечена хребтами Хамар-Дабан, Хамбинский, Моностойский, с юга район отделяет Боргойский хребет, а к юго-востоку тянутся песчаные степи. Южная часть района сильно пересечена полноводной рекой Селенгой и ее правыми притоками реками Чикой и Хилок. Река Темник левый приток реки Селенга разделяет Большой Хамар Дабан от Малого Хамар Дабана. Расстояние от самой южной точки района и северной составляет около 120 км. Южная часть – Убур-Дзокойская администрация, на территории которой наблюдается движущиеся пески. Северная часть – хребет Хамар-Дабан, где высота над уровнем моря составляет 1564 м, наблюдается зона гольцовая и подгольцовая. Площадь района составляет 8269 км². Характерной чертой является большая засушливость первой половины летнего периода и избыточной влажности второй половины.

Сложный рельеф так же оказывает огромное влияние на погоду в районе и обуславливает своеобразное распределение атмосферных осадков, ветрового режима и других погодных явлений.

В среднем самым продолжительным, холодным и малоснежным является зима. Средние температуры в январе колеблются в пределах от -17 до -23 градусов. Снежный покров уверенно формируется в начале ноября и держится вплоть до конца марта начала апреля.

Летний период, как было сказано выше, начинается, как правило, с довольно теплой и засушливой погоды, столбики термометров уже в конце мая могут достигать в дневные часы +30 градусов, но постепенно температуры выравниваются, и средние показатели самого теплого месяца составляют +16...+17 градусов. В то же время вторая часть лета изобилует кратковременными, но, очень обильными дождями и грозами. Несмотря на кратковременность теплого периода при умелом использовании земель, с учетом микроклиматических особенностей местности здесь выращивают неплохие урожаи огородных и полевых культур. Всего за год на территорию района выпадает до 400 мм осадков, львиная доля которых приходится на период с июля по сентябрь месяц.

1.2 Характеристика предприятия, источники загрязнения атмосферы.

Тепловая электростанция (ГРЭС) установленной мощностью 1130 МВт, расположенная в Загустайской долине в городе Гусиноозёрске, на берегу Гусиного озера, Республика Бурятия.

ГРЭС является градообразующей и крупнейшей в Республике Бурятия электростанцией конденсационного типа и одним из крупнейших предприятий Забайкалья. За долгие годы деятельности Гусиноозёрская ГРЭС выработала более 158 млрд. кВт/ч электроэнергии. Станция обеспечивает электроэнергией жителей и предприятия Бурятии, Монголии и соседних регионов, а также передаёт тепловую энергию жителям города Гусиноозёрск в котором проживает более 24 тыс. чел., и близлежащих поселков. Выработка электроэнергии на станции составляет около 4,6 млрд. кВт/ч в год. Отпуск тепла – около 310 тыс. Гкал.

Первые четыре энергоблока первой очереди были введены в эксплуатацию с 1976 по 1979 гг. Ввод второй очереди станции был осуществлён в 1988 г., запуском в работу энергоблока № 5. Шестой энергоблок был введён в работу в 1992 г. В 1993-1996 гг. была проведена реконструкция энергоблока первой

очереди № 2. В конце октября 2013 года после реконструкции и технического перевооружения был введен в эксплуатацию энергоблок второй очереди №4 мощностью 210 МВт [3].

В тоже самое время Гусиноозерская ГРЭС является одним из основных загрязнителей окружающей среды на территории района, так и республики.

Важнейшей экологической проблемой является разработка мероприятий по сохранению озера Гусиное, которое на данный момент является источником питьевой и технической воды. Размещение на берегах озера мощного промышленного предприятия топливно – энергетического комплекса ежедневно приводит к биологическому, техническому и тепловому экологическому загрязнению водоема. Ежегодно для промышленного и хозяйственного использования из озера Гусиное забирается свыше 600000 м³, при этом более 90 % приходится на Гусиноозерскую ГРЭС, которая имеет 3 водных источника загрязнения озера. Это воды, поступающие после охлаждения пароагрегатов ГРЭС, дождевая канализация и воды золоотвалов. Также стабильным источником загрязнения озера Гусиное являются очистные сооружения г. Гусиноозерск и п. Гусиное Озеро. Долголетняя разработка угольных месторождений в Гусиноозерском угольном бассейне привела к существенным нарушениям геологической среды. Сотни миллионов кубометров горных пород вынуты из земных недр и разбросаны практически на всем восточном побережье озера. Гусиноозерский промышленный узел является крупнейшим загрязнителем воздушной среды. Валовой объем выбросов в воздух составляет свыше 30 тыс. тонн в год, при этом на Гусиноозерскую ГРЭС приходится 96 % [4].

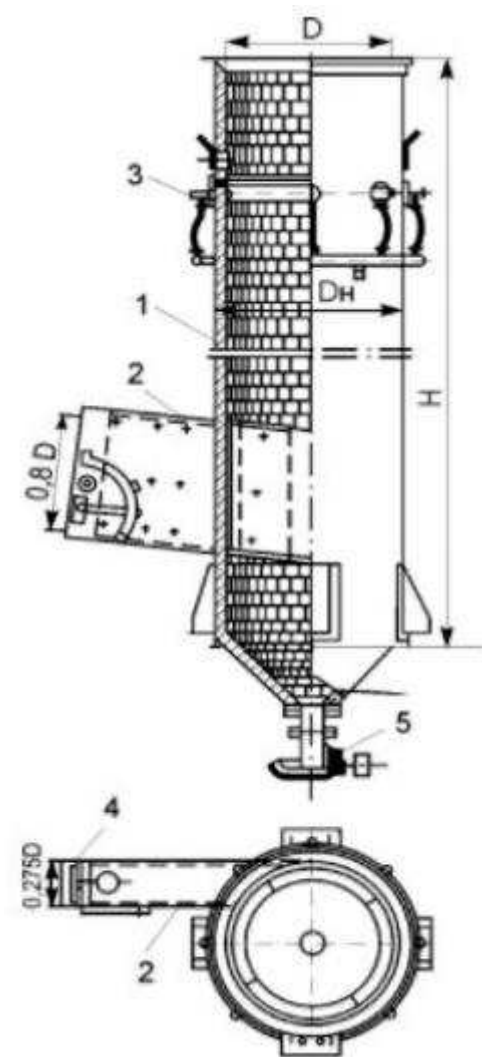
На электростанции первой очереди установлено четыре энергоблока с турбинами К-210-130-3 и котлами БКЗ-640-140ПТ1. Проектное топливо энергоблоков, это уголь БЗР Хольбольджинского разреза, Загустайского разреза.

На второй очереди станции установлены два блока с турбинами К-215-130-3 и котлами ТПЕ-215. Проектное топливо энергоблоков – уголь Д, ДГ

Тугнуйского разреза. В качестве растопочного топлива применяется мазут М-100.[4]

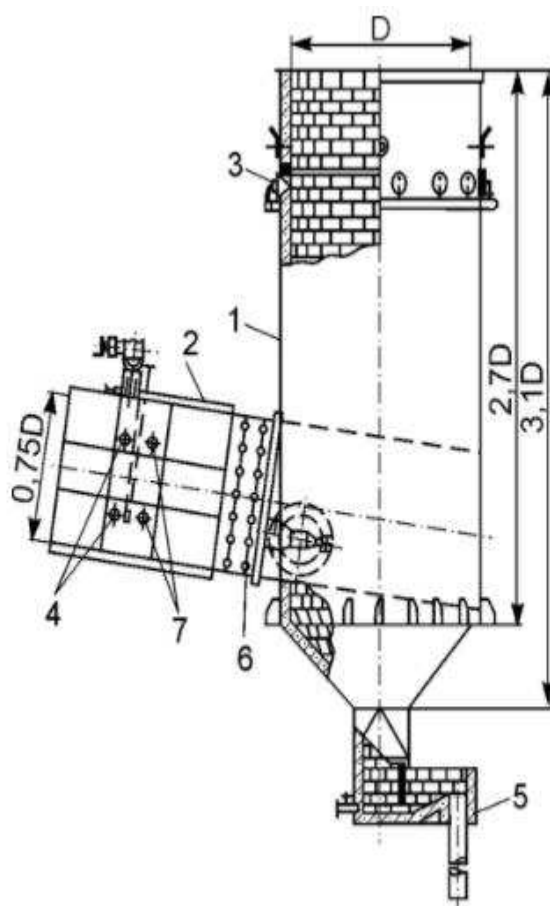
На первой очереди энергоблоков, за котлами БКЗ-640-140ПТ1 установлены Трубы Вентуре разработанные ОРГРЭС, 6 штук в каждой установке.

Принцип работы мокрого золоуловителя с коагулятором Вентури заключается в следующем (рисунок 1, 2).



1 – корпус; 2 – вх. патрубок газа; 3 – оросительные сопла; 4 – выход газа; 5 – бункер.

Рисунок 1 – Мокрый золоуловитель – центробежный скруббер



1 – входной патрубок запыленного газа; 2 – подача воды через оросительные сопла; 3, 4, 5 – конфузор, горловина и диффузор коагулятора Вентури; 6 – скруббер-каплеуловитель.

Рисунок 2 – Мокрый золоуловитель – золоуловитель с коагулятором Вентури

В конфузор коагулятора через форсунки подается орошающая вода, которая дополнительно диспергируется (распыляется) скоростным газовым потоком на мелкие капли. Летучая зола при прохождении с дымовыми газами через коагулятор частично осаждается на каплях и на его орошаемых стенках. Далее капли и неуловленные частицы золы поступают в корпус аппарата – центробежный скруббер, где дымовые газы освобождаются от капель и дополнительно очищаются от золы, после чего дымососом выбрасываются в

атмосферу. Гидрозоловая пульпа сбрасывается через гидрозатвор в канал системы гидрозолоудаления (ГЗУ) [6].

В конфузоре пылегазовый поток разгоняется от 4-7 до 50-70 м/с. Дополнительное дробление капель воды осуществляется в горловине. В диффузоре происходит столкновение частиц золы с каплями воды (кинематическая коагуляция) и снижение скорости пылегазового потока, который, в свою очередь, тангенциально вводится в скруббер. Размер капель тем меньше, чем больше скорость газа в горловине.

Захват частиц золы каплями может происходить по двум причинам:

1. быстро несущиеся со скоростью газов частицы золы попадают в капли, которые еще не успели разогнаться «поток» газа. Тогда они попадают в каплю за счет разности скоростей.

2. за счет турбулентных пульсаций частиц золы, которые попадают в практически мало пульсирующие капли.

За истекший период была выполнена замена большая часть золоулавливающих установок данного типа на предприятиях энергетики по причине разрушения их элементов, вызванных следующими причинами:

– нерасчетный режим работы золоулавливающей установки (реальный объем дымовых газов, поступающих на очистку, гораздо выше объема, указанного в техническом задании, что приводит к повышенным скоростям, вибрации, разрушению сварных швов, большому брызгоуносу) – Карагандинская ТЭЦ-3, Верхнетагильская ГРЭС, Серовская ГРЭС.

– периодическая работа в безводном режиме (чего не должно быть в принципе у системы «мокрой» золоочистки), приводящая к выпадению лопаток, заносу ячеек завихрителей золой, большому износу («сухое» трение), разрушению сварных швов и основного металла (из-за их «перезакалки» при подаче на работающем котле холодной воды на титановые элементы, находящиеся в зоне температуры уходящих газов котла (150-180°C)) – Алматинская ТЭЦ-1, Жезказганская ТЭЦ.

– не достижение требуемого результата по твердому золоулавливанию.

1. 3 Описание работы энергоблока первой очереди

Поступающий на ГРЭС уголь выгружается разгрузочными устройствами из вагонов и подается через дробильное помещение конвейерами в бункера сырого топлива или на склад резервного топлива. Уголь измельчается в мельницах. Угольная пыль через сепаратор и циклон, из пылевых бункеров с горячим воздухом, подаваемым мельничным вентилятором, подается в топку котла. Высокотемпературные продукты сгорания нагревают воду в теплообменниках котла до состояния перегретого пара. Пар, расширяясь в ступенях турбины, приводит во вращение ее ротор и соединенный с ним ротор электрогенератора, в котором возбуждается электрический ток.

Полученную электроэнергию при помощи повышающих трансформаторов преобразуют в ток высокого напряжения, который передается на открытое распределительное устройство (ОРУ), а затем в энергосистему. Отработавший пар поступает в конденсатор. Образовавшийся там конденсат подается конденсатными насосами через регенеративные подогреватели низкого давления в деаэратор. Здесь при температуре, близкой к температуре насыщения, происходит удаление растворенных в воде газов, вызывающих коррозию оборудования, и вода подогревается до температуры насыщения.

Потери конденсата восполняются обессоленной в специальных установках водой, добавляемой в деаэратор. Деаэрированная и подогретая вода подается питательными насосами в регенеративные подогреватели высокого давления, а затем в экономайзер котла. Цикл преобразования рабочего тела повторяется.

Газы, образующиеся при сгорании топлива, проходят последовательно топочную камеру, поверхности пароперегревателя и водяного экономайзера, где отдают теплоту рабочему телу. Получаемое излишнее тепло отводится в систему централизованного теплоснабжения (на нужды отопления и горячего водоснабжения). Затем в золоуловителях газы очищаются от летучей золы и через дымовую трубу дымососами выбрасываются в атмосферу.

Шлак и зола из-под топочной камеры, воздухоподогревателя и золоуловителей смываются водой и по каналам поступают к насосам, перекачивающих их на золоотвалы.

1.4 Описание котла БКЗ

Котёл имеет однокамерную топку полуоткрытого типа. Камера горения выполнена в виде двух сообщающихся восьмигранных предтопок, каждый из которых оборудован восемью горелками, расположенными в два яруса по тангенциальной схеме. Трубы фронтного, боковых и заднего экранов в своей нижней части образуют слабонаклонный под, в котором выполнены две летки, предназначенные для удаления шлака [1].

Для растопки каждый котёл оборудован двумя муфельными горелками, расположенными с боков камеры горения на отм. 7 м.

Пароперегреватель.

Пароперегреватель радиационно-конвективного типа состоит из трех частей: радиационной (трубы потолка), полурadiационной (ширмы на входе в горизонтальный газоход), конвективной (расположен в поворотном горизонтальном газоходе).

Движение пара в пароперегревателе происходит 2 отдельными потоками. Каждый поток имеет 2 перебреса по ширине газохода. Кроме того, предусмотрено двухразовое смещение потоков. Это позволяет снизить температурные развертки в самих потоках и между ними [1].

Во время работы котла регулирование температуры перегретого пара осуществляется в парохладителях первой и второй ступени впрыском конденсата, получаемого в змеевиковых конденсаторах. Охлаждение насыщенного пара в конденсаторах производится питательной водой, прошедшей 1-ую ступень водяного экономайзера, которая после конденсатора направляется в водяной экономайзер 2-ой ступени. Через конденсатор проходит

вся питательная вода. Образующийся конденсат поступает в конденсатосборник, а затем в пароохладители 1-ой и 2-ой ступени.

Подача конденсата на впрыск в пароохладители 1-ой ступени осуществляется с помощью паровых эжекторов, расположенных в камерах пароохладителей 1-ой ступени. В пароохладители 2-ой ступени конденсат поступает за счет перепада давления между пароохладителем и конденсатором.

Водяной экономайзер и воздухоподогреватель.

Конвективная шахта представляет собой опускной газоход котла с размещением в нем водяного экономайзера и воздухоподогревателя установленных в рассечку. Вторая по ходу воды ступень водяного экономайзера занимает всю глубину газохода, после чего шахта разделяется на 2 симметричных газохода.

В каждом из них последовательно размещены 2-я по ходу воздуха ступень воздухоподогревателя, 1 ступень водяного экономайзера и 1-я ступень воздухоподогревателя. Опорные балки 2-ой ступени экономайзера охлаждаются от дутьевого вентилятора со сбросом его в короб горячего воздуха.

Экономайзер выполнен в виде пакетов змеевиков из труб 32x4 (Ст20). Воздухоподогреватель выполнен по 2-х поточной схеме, четырехходовым из труб 40x1,5 (материал ВП ст.2сп).

Топливный и газо-воздушный тракты.

Котельный агрегат оборудован четырьмя индивидуальными системами пылеприготовления с прямым вдуванием.

Топливо из бункера сырого угля с помощью скребкового питателя СПУ700×5000 подается в мельницу типа ММТ 1500/2510/735, где производится его размол и сушка. В качестве сушильного агента используется смесь дымовых газов, отсасываемых из верхней части топочной камеры, и уходящих газов, забираемых после дымососа из напорного короба с помощью дымососа рециркуляции [1].

После мельницы аэросмесь поступает в инерционный сепаратор, где из потока отделяются крупные частицы пыли и возвращаются в мельницу. Далее

аэрозоль поступает в мельничный вентилятор ВВСМ-3У (вентилятор валковых среднеходных мельниц), затем в пылеконцентратор, где происходит разделение пыли и сушильного агента. Пыль из пылеконцентратора направляется в основную горелку, а запыленный сушильный агент – в сбросную. Таким образом, отсос дымовых газов на сушку и транспорт пыли от мельницы до горелок осуществляется мельничными вентиляторами ВВСМ-3У.

Комплекс очистки поверхности нагрева.

Комплекс очистки поверхности нагрева от шлакования и заноса включает:

- обдувку топки водой аппаратами типа ОГ (обдувочный глубоководвижной);
- виброочистку ширмовых поверхностей нагрева;
- обдувку пароперегревателя паром аппаратами типа ОГ;
- дробеочистку конвективных поверхностей нагрева [13].

2 Характерные выбросы ГРЭС

Основные загрязняющие вещества – это зола, диоксид серы, оксиды азота, углерода, в частности, угарный газ (СО), соединения тяжёлых металлов, канцерогенный бензапирен (С₂₀Н₁₂). Точный состав выбросов различается в зависимости от типов применяемых котлов и вида сжигаемого топлива. Вдобавок, вблизи действующей ГРЭС уменьшается процентное соотношение кислорода в воздухе. ГРЭС выделяют около 46% всего сернистого ангидрида и 25% угольной пыли выбрасываемой в атмосферу промышленными предприятиями. Сернистый ангидрид, диоксид серы и оксиды азота, переносятся на большие расстояния и осаждаются с осадками, загрязняя гидро и литосферу.

Одно из следствий этих выбросов – кислотные дожди. В данной работе были рассмотрены проблемы только золоулавливания. Так же существует проблема загрязнения водного бассейна. Особенность предприятий энергетики – это использование большого количества чистой воды. В связи с этим для создания водохранилищ происходит затопление плодородных земель, а иногда и населенных пунктов. Созданные сооружения нарушают первоначальный речной ток, это приводит к мелководью, а так же и изменению течения грунтовых вод. Последствия этих изменений нарушают протоки, и возникают болота и засоление почв, которые становятся непригодными для выращивания культур сельского хозяйства. Гниение растительности, возникающее в следствии затопления при сооружении водохранилищ, приводит к негативным изменениям природы. Энергию на ГРЭС получают от паровых турбин. Возникающий от нагрева пар и циркулирует через водоемы. Сбрасывание теплой воды образует тепловое загрязнение на ГРЭС.

Основные химические примеси ГРЭС, выбрасываемые в атмосферу, являются следующие компоненты:

Оксид углерода (СО) – газ, не имеющий цвета и запаха, иногда его называют «угарный газ». Образуется при неполном сгорании сырья, а так же при нехватке кислорода. При попадании в организм человека вступает в реакцию с

молекулами кислорода и влияет на гемоглобин в крови. В процессе реакции происходят побочные действия, это головная боль и тошнота, а при высоких дозах смерть.

Допустимая разовая ПДК CO – 5 мг/м³, а среднесуточная – 3 мг/м³.

Двуокись серы (SO₂) (диоксид серы, сернистый ангидрид) – бесцветный газ с резким запахом. Образуется в процессе сгорания серосодержащих ископаемых видов топлива, в основном угля, а также при переработке сернистых руд. Максимальная разовая ПДК для диоксида серы составляет 0,5 мг/м³, а среднесуточная – 0,05 мг/м³.

Окислы азота (оксид и диоксид азота) – газообразные вещества: монооксид азота NO и диоксид азота NO₂ объединяются одной общей формулой NO_x. При всех процессах горения образуются окислы азота, причем большей частью в виде оксида.

В летний период при интенсивном солнечном облучении продолжительностью 12-14 ч вследствие высокой растворимости в воде (облака, дождь) и сорбции на увлажненных поверхностях азотная кислота быстро выпадает на земную поверхность.

Максимальная разовая ПДК диоксида азота составляет 0,2 мг/м³. При концентрациях свыше 0,15 мг/м³ возникают острые заболевания органов дыхания.

Озон (O₃) – газ с характерным запахом, более сильный окислитель, чем кислород. Его относят к наиболее токсичным из всех обычных загрязняющих воздух примесей. В нижнем атмосферном слое озон образуется в результате фотохимических процессов с участием диоксида азота и летучих органических соединений (ЛОС). Озон относят к 1-му классу опасности, при этом максимальная разовая ПДК составляет 0,16 мг/м³, а среднесуточная – 0,03 мг/м³.

Углеводороды – химические соединения углерода и водорода. К ним относят тысячи различных загрязняющих атмосферу веществ, содержащихся в несгоревшем бензине, жидкостях, применяемых в химчистке, промышленных растворителях и т.д. Многие углеводороды опасны сами по себе. Например,

бензол, один из компонентов бензина, может вызвать лейкемию, а гексан – тяжелые поражения нервной системы человека. Бутадиен является сильным канцерогеном.

Пыли которые образуются в процессах производства обычно подразделяют на 4 вида:

Первый вид, это механическая пыль которая образуется в результате воздействия на сырьё с измельчением его на более мелкие фракции или в результате мех обработки, зависит от технологического технологического процесса;

Второй вид, это возгоны. Возгоны образуются в результате охлаждения газов;

Третий вид, это летучая зола которая образуется в результате горения топлива;

Промышленная сажа, это следствия процессов реакции углерода и кислорода под воздействием температурных режимов

Основной параметр, характеризующий взвешенные частицы, – это их размер, который колеблется в широких пределах от 0,1 до 850 мкм. Из этой гаммы наиболее опасны частицы от 0,5 до 5 мкм, поскольку они оседают в дыхательных путях, и именно их вдыхает человек [6].

В этой работе рассмотрены проблемы улавливания твердых частиц и рассмотрены варианты решения проблемы золоулавливания с помощью аппаратной очистки. В Таблице 1 показаны данные содержания твердых частиц в отходящих газах на ГРЭС, которые значительно превышают нормы ПДВ для котло-агрегатов.

Таблица 1 – Блок № 1, смесь угля Баин-Зурхе-Загустайский

Расчетные величины	Обозначения	Ед. измерения	До ЗУУ Na – 170 МВт	До ЗУУ Na ~ 200 МВт
Объемный расход газа в газоходе при рабочих условиях	$Q_{ог}$	м ³ /с	368,92	434,25
Объемный расход газа в газоходе при нормальных условиях	$Q_{ог}^N$	нм ³ /с	211,7	252,21
Массовая концентрация золы	H_i	г/м ³	10	13,6
Массовый выброс золы	M_H	г/с	4119,12	4846,02
Температура уходящих газов	$T_{ух}$	°С	156	183

Таблица 2 – Блок № 2, уголь Окино-Ключи

Расчетные величины	Обозначения	Ед. измерения	До ЗУУ Na – 181 МВт	До ЗУУ Na ~ 200 МВт
Объемный расход газа в газоходе при рабочих условиях	$Q_{ог}$	м ³ /с	412,3	455,58
Объемный расход газа в газоходе при нормальных условиях	$Q_{ог}^N$	нм ³ /с	240,61	265,86
Массовая концентрация золы	H_i	г/м ³	22,95	25,35
Массовый выброс золы	M_H	г/с	4157,86	4594,32
Температура уходящих газов	$T_{ух}$	°С	154	170

Таблица 3 – Блок № 3, смесь угля Баин-Зурхе-Загустайский

Расчетные величины	Обозначения	Ед. измерения	До ЗУУ Na – 170 МВт	До ЗУУ Na ~ 200 МВт
Объемный расход газа в газоходе при рабочих условиях	$Q_{ог}$	м ³ /с	331,54	399,05
Объемный расход газа в газоходе при нормальных условиях	$Q_{ог}^N$	нм ³ /с	201,65	237,231
Массовая концентрация золы	H_i	г/м ³	10,75	12,64
Массовый выброс золы	M_H	г/с	2166,27	2548,55
Температура уходящих газов	$T_{ух}$	°С	138	163

В соответствии с нормами выбросов для мощных ГРЭС и ТЭЦ степень улавливания золы должна быть не менее 98-99,5%, возрастая с увеличением мощности станций. На данный момент содержание твердых частиц 350 мг/нм³ для энергетических котлов и 150 мг/нм³ для котлов водогрейных. В перспективе нормы выбросов будут уменьшаться до европейских норм. Для обеспечения таких высоких требований необходим тщательный выбор типа золоулавливающих устройств. Качественное улавливание золы обеспечивает надежную работу дымососов, уменьшает негативную нагрузку на здоровье человека и окружающую среду.

В настоящее время на электростанциях наибольшее распространение получили электрофильтры, мокрые золоуловители с трубами Вентури или без последних, а также батарейные циклоны. Последние рассматриваются наряду с единичными циклонами как первая ступень улавливания на крупных котельных установках, а также применяются в мелких котельных.

Но при этом следует отметить, что оборудование разработанное ранее в Советском союзе достигало требованиям эффективности того времени и в современной промышленной отрасли оно уже не может достичь требуемых результатов.

Проблема которая остро стоит на данный момент в очистке отходящих газов – это возможность провести реконструкцию в стеснённых условиях существующих установок станций, которые были запроектированы по советским нормам. При использовании оборудования старого образца это можно достичь только при увеличении габаритов аппарата. Это обусловлено законами термодинамики. Так как для более эффективного улавливания требуется снизить скорость газа в электрофильтре, т. е. увеличить время заряжения частиц. В связи с этим на данный момент научными организациями проводятся эксперименты в области электростатики и изучаются режимы более эффективного воздействия на частицы электричеством, т. е. ионизация.

В связи с территориальным нахождением залежей угля в регионах с преобладанием температур ниже точки замерзания и там же размещены

предприятия потребители этой руды, то использование мокрой очистки, содержание и утилизация химических растворов, становится проблематичным и дорогостоящим. Использование в энергетике рукавных аппаратов на данный момент не дало эффективных результатов на энергетических котлах. На данный момент не имея разработок к созданию не дорогой и очень прочной ткани, делает использование рукавных фильтров финансово не рентабельно. Мы должны понимать, что затраты на получение энергии должны быть тоже разумными. В связи с выше изложенным ,на данный момент самое дешевое решение, по достижению требований улавливания твердых частиц в энергетике это электрофильтр. Но и с использованием электрофильтра существуют задачи при сжигании высокоомного угля. На данный момент эти задачи успешно решаются на Рефтинской ГРЭС, Омской ТЭЦ 5 и тд., взамен установленных рукавных фильтров импортного производства, которые не смогли работать при высокоабразивной угольной пыли.

2.1 Состав и характеристики угля

Загустайское месторождение – резервное поле разреза Холбольджинский с аналогичными характеристиками качества угля и в основном предназначено для подземной отработки. В настоящее время ведутся подготовительные работы к освоению участка Загустайского месторождения, предназначенного для отработки открытым способом силами ООО «Орхон-1» [7].

Таблица 4 – Качественные характеристики угля «разреза «Загустайский»

Показатель	Единицы измерений	Величина
Влага общая	%	не более 24,7
Зольность на сухую массу	%	не более 21,7
Низшая теплота сгорания	ккал/кг	не менее 3800
Предельное минимальное значение калорийности низшей теплоты сгорания	ккал/кг	3500
Предельное максимальное значение калорийности низшей теплоты сгорания	ккал/кг	–
Летучие (на сухую беззольную массу)	%	40,9
Сера	%	0,7
Температура плавления золы (в окислительной атмосфере):		
Начальной деформации	° С	1260
Класс крупности	мм	0-300
Химический состав золы (на сухую массу):		
SiO ₂	%	51,4
Al ₂ O ₃	%	24,9
Fe ₂ O ₃	%	9,3
CaO	%	9,8
Na ₂ O	%	0,4
K ₂ O	%	1,6
MgO	%	1,3
TiO ₂	%	0,9

Таблица 5 – Качественные характеристики угля разреза «Баин-Зурхе»

Показатель	Единицы измерений	Величина
Влага общая	%	23,5
Зольность на сухую массу	%	21,6
Низшая теплота сгорания	ккал/кг	4100
Предельное минимальное значение калорийности низшей теплоты сгорания	ккал/кг	≤3600
Предельное максимальное значение калорийности низшей теплоты сгорания	ккал/кг	—
Летучие (на сухую беззольную массу)	%	44,0
Сера	%	0,7
Температура плавления золы (в окислительной атмосфере):		
Начальной деформации	°С	1230
Класс крупности	мм	0-300
Химический состав золы (на сухую массу):		
SiO ₂	%	46,6
Al ₂ O ₃	%	19,6
Fe ₂ O ₃	%	12,1
CaO	%	9,8
Na ₂ O	%	0,7
K ₂ O	%	1,9
MgO	%	3,3
TiO ₂	%	0,9

Таблица 6 – Качественные характеристики угля разреза «Окино-Ключевской»

Показатель	единицы измерений	величина
Химический состав (на бессульфатную массу)		
Зольность, A_d	%	16,9
SiO_2	%	52,6
Al_2O_3	%	28,8
Fe_2O_3	%	11,2
CaO	%	3,9
Na_2O	%	0,3
K_2O	%	0,5
MgO	%	1,5
TiO_2	%	1,2
SO_2	%	2,4
Температура начала деформации, t_A	°C	1170
Температура плавления, t_B	°C	1440
Температура жидкоплавкого состояния, t_C	°C	1450

2.2 Воздействие выбросов от ГРЭС на организм человека

Выбросы ТЭЦ содержат сажу, диоксид серы, оксиды азота, углерода, соединения тяжёлых металлов, бензапирен и прочие.

Оксид углерода, является наиболее распространенной причиной отравлений, как в промышленных, так и в домашних условиях. Тысячи людей ежегодно умирают в результате отравлений оксидом углерода. Предполагается что число жертв не летального отравления, страдающих от расстройств нервной системы, намного выше.

Оксид углерода может стать причиной инфаркта миокарда и вызвать отек легких, он легко проникает через плаценту и воздействует на зародыш, который

чувствителен к любой нехватке кислорода, это воздействие может быть настолько серьезным, что может подвергнуть опасности нормальное развитие плода.

Среди всех окислов группы NO_x самым опасным для окружающей среды и здоровья человека является диоксид азота. Класс опасности – второй. Вещество высокотоксично. Диоксид азота в воздухе, даже в небольших концентрациях, способен приводить к существенным изменениям в организме человека. Является острым раздражителем. Снижает иммунитет. Помимо бензапирена, риск развития онкологии повышают и мелкодисперсные взвешенные вещества, содержащиеся в выбросах ГРЭС.

Повышает вероятность заболеваний органов дыхательной, сердечно-сосудистой и центральной нервной систем; снижается иммунитет; ухудшает качество продукции сельского хозяйства, снижает урожайность; оказывает негативное воздействие на климат.

1) При вдыхании угарный газ за счет имеющейся в его молекуле связи ($\text{C}=\text{O}$) образует прочные комплексные соединения с гемоглобином крови человека и тем самым блокирует поступление кислорода в кровь. Это вызывает головные боли, тошноту, а при более высокой концентрации смерть.

2) Длительное воздействие диоксида серы на человека приводит вначале к потере вкусовых ощущений, стесненному дыханию, а затем - к воспалению или отеку легких, перебоям в сердечной деятельности, нарушению кровообращения и остановке дыхания.

3) Оксид азота достаточно быстро окисляется до диоксида, который представляет собой красно-белый газ с неприятным запахом, сильно действующий на слизистые оболочки человека.

3 Обзор методов золоулавливания

При сжигании минерального топлива, часть топлива переходит в золу и в дальнейшем вылетает в отходящих газах. Зольность бурых углей составляет (10-55 %). Высокая зольность влияет на запылённость отходящих газов и составляет 60–70 г/м³. Количество образующейся золы и несгоревшего топлива напрямую зависит от вида и характеристики топлива, способа его сжигания и конструктивной особенности топки. Зола и несгоревшие остатки топлива осаждаются на стенках топки и газоходах. Для сравнения, при факельном сжигании угольного топлива и мокром способе шлакоудаления существенно уменьшается унос золы и составляет 31-41 %, в то время при сухом способе удаления шлаков унос золы составляет 74-85 %. Удельное содержание золы в отходящих газах составляет, например, при работе парогенератора на АШ и сухом шлакоудалении до 20 г/м³, а при использовании бурых углей – до 40 г/м³, что значительно превышает допустимые концентрации твердых частиц в газах, установленные санитарно-техническими нормами. В парогенераторных установках для очистки продуктов сгорания от твердых частиц применяют следующие устройства:

- инерционные золоуловители, в которых под влиянием инерционных сил твердые частицы золы отделяются от газо-воздушной смеси.
- конструкции по типу циклон
- электрофильтры, где очистка газов происходит путем ионизации и силе электромагнитного притяжения.
- 2х ступенчатые ГОУ, где первая ступень циклоны вторая фильтр.
- Рукавные фильтры, на малых котельных где температуры отходящих газов не высокие

3.1 Классификация оборудования для очистки газов

Выбросы химических, нефтехимических и других предприятий смежных отраслей могут содержать смолянистые частицы, жирные аэрозоли, которые

значительно усложняют их очистку в типовых газоочистных системах. Такие выбросы наблюдаются при сушке продукта в процессах по производству мыла и поверхностно активных веществ, полимеров, при получении лакокрасочных материалов, аминов, жирных кислот, а также при обжиге/сжигании резиновых изделий, в процессах с образованием тяжелых фракций нефтепродуктов, различных масел и тому подобное. Таким образом, данные выбросы отличаются следующими особенностями: – частицы с высокоадгезионными свойствами в виде различных аэрозолей (пыли, туманы); – относительно высокая температура газов (более 100 °С); – размерность частиц (менее 5 мкм); – наличие кислых, агрессивных примесей; – пожароопасность. Анализ по выбору оптимальной газоочистной системы, удовлетворяющей очистке газов с особенностями, описанными выше, позволяет заключить: – использование сухих систем (фильтровальных установок, адсорбционных) нецелесообразно в связи с высокой адгезией частиц, что приведет к частой замене фильтровальных элементов или загрузки адсорбера, не считая других операционных факторов использования данных методов; – окислительные системы (термическое и каталитическое сжигание) помимо наиболее высоких капитальных и эксплуатационных затрат в сравнении с альтернативными газоочистными методами, могут потребовать дополнительных систем по подготовке газов, с целью улавливания твердых смолянистых пылей для предотвращения засорения горелок и других внутренних устройств; – электрофильтры требуют обоснования по способности наэлектризовывать тот или иной тип аэрозоля с дальнейшим его удалением с осадительного электрода, что по-нашему мнению, скорее приведет к его обрастанию слоем смолянистых веществ и увеличению электрического сопротивления; – мокрые системы (различные типы скрубберов) отличаются наименьшими эксплуатационными затратами, при этом создание определенного гидродинамического режима позволит избежать непосредственного контакта внутренних устройств с адгезионными частицами. Однако, типовые мокрые системы ограничены по эффективности улавливания микронных и субмикронных частиц, а также снабжены контактными устройствами, например,

насадочным слоем или тарелками, склонными к засорению. В соответствии с анализом можно заключить, что очистка таких газов в скрубберах рациональна, однако требует рассмотрения вопроса по повышению эффективности очистки и нивелирования адгезионных свойств частиц на внутренние устройства скрубберов. Существуют следующие пути повышения эффективности очистки газов в скрубберах: – увеличение поверхности контакта взаимодействующих фаз; – увеличение степени взаимодействия контактирующих фаз. При увеличении поверхности контакта взаимодействующих фаз прямым способом – увеличением поверхности насадочного слоя, например в насадочных скрубберах, проблема засорения слоя адгезионными частицами возрастает, поскольку увеличение поверхности контактных устройств неминуемо приводит к уменьшению порозности слоя. Возможен косвенный способ увеличения поверхности контакта взаимодействующих фаз, заключающийся в образовании мелкодисперсной среды из жидкой фазы вместо пленки. Собственно, увеличение степени взаимодействия контактирующих фаз за счет перехода ведения процесса в контролируемом турбулентном режиме, позволяет, как увеличить поверхность контакта (за счет образования мелких капель), так и интенсифицировать взаимодействие фаз (постоянное обновление поверхности контакта). К аппаратам, в которых возможно интенсифицировать процесс косвенным способом, относятся скрубберы инерционного типа: скрубберы Вентури, ротационный скруббер, динамический. Однако, для безостановочной работы данных скрубберов с газами, содержащими смолянистые соединения, необходимо организовывать геометрию аппарата, поддерживающую определенный гидродинамический режим. Под этим понимается создание мелкодисперсной фазы для улавливания загрязняющих частиц и отсутствие в аппарате сухих зон, а также неподвижных внутренних устройств.

На предприятиях энергетики для улавливания твердых частиц и некоторых газообразных отходящих компонентов используются очистные установки, которые можно подразделить на четыре основные группы по принципу их работы.

1. Механическая очистка
2. Очистка с применением жидкости(абсорбента)
3. Фильтрование ,
4. Электростатическая Так же аппараты могут классифицироваться по принципу действия и отрасли использования.

Инерционные пылеуловители. В данном виде аппарата эффект достигается путем использования центробежной силы, возникающей при движении частиц в вихревом потоке. К данному типу можно отнести следующие устройства: пылесадительные камеры, жалюзийные пылеуловители, так же аппараты циклонного типа ,скрубберы и с трубы Вентури.

Пористые фильтры. К данному типу аппарата можно отнести аппараты принцип очистки газов которых базируется на пропускании потока газа через пористый материал. Это фильтры: тканевые, кассетные, с наполнителем в виде мелкой фракции ,так же фильтровальной поверхностью может быть пористая пластмасса, керамика, металлокерамика и другие материалы.

Электрофильтры. В этих аппаратах газ пропускается через электрическое поле высокого напряжения. В результате этого он ионизируется, заряжает содержащиеся в газе частицы пыли или жидкости, которые осаждаются на электродах электрофильтра. Аппараты могут быть мокрыми и сухими.

Акустические пылеуловители. В них газ подвергается действию мощного звукового поля. В результате содержащаяся в газе мелкая пыль приходит в колебательное движение, частицы сталкиваются между собой и укрупняются. Очистка газа от укрупненной пыли осуществляется в аппаратах обычного типа, установленных последовательно за звуковым коагулятором.

Абсорберы. В этих аппаратах из газа улавливаются отдельные газообразные компоненты, которые растворяются в жидкости, подаваемой на орошение аппарата, или вступают с ней в химические реакции. К ним относятся скрубберы с насадками, полые скрубберы, барботеры, пенные аппараты и турбулентные газопромыватели. Существует довольно большое количество разнообразных мокрых золоуловителей, однако, наиболее распространенными

являются золоуловители с трубами Вентури. Основными достоинствами этих аппаратов являются сравнительно высокая и стабильная степень очистки газов от золы, относительно небольшие капитальные и эксплуатационные затраты. Вместе с тем, одной из главных проблем мокрого золоулавливания является рост трудноудаляемых минеральных отложений в скрубберах. Чаще всего такие отложения возникают в переходной области, отделяющей хорошо орошаемую поверхность от сухой. Эти граничные отложения состоят из летучей золы, преимущественно тонких фракций, обогащенных в той или иной степени гипсом. Указанные отложения образуются при сжигании практически всех видов твердого топлива и, хотя они отличаются друг от друга своими размерами и физико-химическими свойствами, как правило, нарушают течение очищаемых газов, повышая тем самым гидравлическое сопротивление мокрых золоуловителей, что может привести к ограничению нагрузки котлоагрегата. Необходимо отметить, что орошение мокрых золоуловителей оборотной водой приводит к ускорению процесса образования отложений вследствие увеличения содержания пересыщенного раствора CaSO_4 по мере испарения из них влаги. Основными методами борьбы с отложениями являются:

- Добавление свежей воды к оборотной, с целью снижения концентрации сульфатом кальция.
- Стабилизация уровня отложений за счет их механического разрушения грубыми частицами золы, содержащимися в дымовых газах, за счет специальной конструкции золоуловителя.

Одновременно с улавливание золы в мокрых золоуловителях с трубами Вентури происходит процесс теплообмена между дымовыми газами и орошающей водой. При этом дымовые газы охлаждаются, а орошающая вода, как в виде капель, так и в виде пленки на стенках мокрого аппарата нагревается и частично испаряется, увеличивая влагосодержание очищенных газов. Во избежание коррозии газового тракта за золоуловителями (газоходов, дымососов и дымовых труб) температура очищенных газов должна быть выше их точки росы на 15-20° С. Необходимо отметить, что помимо указанных недостатков, данная технология требует довольно громоздкого водооборотного хозяйства, плохо применима для углей с высоким содержанием

солей кальция, вследствие отложения не только гипса, но и карбоната кальция, а так же сложности обезвоживания золы.

По эффективности аппараты подразделяются на два типа : грубой и тонкой очистки.

Аппараты грубой очистки улавливают частицы размером более 10 мкм, а аппараты тонкой очистки менее 10 мкм. К аппаратам тонкой очистки можно отнести абсорберы скруббера, рукавные и кассетные фильтры а так же трубы Вентури.

Одним из основных моментов при выборе технического решения по улавливанию вредных примесей в газе следует учитывать транспортировку и хранения уловленных элементов, так как в процессе реакции и выделения образуются новые вещества которые требуют существенные затраты по обеспечению их безопасного хранения.

Если эти компоненты образуют в растворе кислоты, следует защищать аппараты и шламовую канализационную систему от коррозии и предусматривать нейтрализацию сточных вод [8].

3.2 Описание и принцип работы электрофильтров

В современном развитии науки электрофильтры – наиболее экономически эффективные газоочистительные аппараты. Расходы связанные с эксплуатацией электрофильтров значительно ниже чем расходные материалы или абсорбенты применяемые в других видах аппаратов. В тоже время электрофильтры дают существенную степень очистки газов от твердых частиц.

Принцип работы электрофильтра заключается в воздействии электромагнитного поля на частицы. Частица получает отрицательный заряд от коронирующего электрода под воздействием электромагнитной силы движется к осадительным электродам имеющим положительный заряд. Основным фактором влияющим на работу электрофильтра является компонентное содержание в золе элементов которые являются диэлектриками и трудно

поддаются заряду. Для поддержания силы поля в электрофилт্রে происходит встряхивание электродной системы при котром электроды освобождаются от слоя золы. Электрофилт্রে применяются в условиях , где влияние механических разрушающих факторов достаточно велико. Это высокие температуры, высокая абразивность пыли и тд. Так же следует отметить, что при соблюдении всех параметров которые требуются для эффективной работы электрофилт্রে, можно достичь эффективность при улавливании более 99% Расход электроэнергии на очистку 1 тыс. м³ газа в электрофилт্রে составляет всего 0,2 кВт.

3.2.1 Типы электрофилт্রে

Электрофилт্রে серии УГ, разработанные в 70-х годах, состоят из профилированных тонкостенных широкополосных элементов открытого профиля с нижним молотковым встряхиванием. Коронирующие электроды имеют рамную конструкцию. Меж электродное расстояние 300 мм.

Электрофилт্রে серии ЭГА, ЭГБМ разработанные в конце 80-х начало 90-х годов – горизонтальные, имеют максимальную применяемую температуру 330 градусов. Рамные коронирующие электроды. Имеют от двух до четырех полей. Межэлектродное расстояние 350 мм.

Электрофилт্রে серии УГТ – унифицированные, горизонтальные, высокотемпературные. Предназначены для работы с газами с температурой до 425 градусов. Коронирующие электроды – подвешенные с грузами, прутковые.

Электрофилт্রে типа ЭГАВ, ЭГВМ – электрофилт্রে новых разработок с межэлектродным расстоянием до 400 мм, с пониженным зажиганием короны за счёт модернизации игл коронирующих элементов, верхнее встряхивание позволяющее увеличить площадь осаждение.

Электрофилт্রে АЛЬСТОМ – свыше 4000 электрофилт্রে АЛЬСТОМ установлено в разных странах мира, в том числе и в России, на электростанциях, утилизаторах отходов, целлюлозно-бумажных комбинатах, в цементном производстве и металлургии. Более 800 из них установлено на ТЭС. В

теплоэнергетике, как правило, применяются электрофильтры со спиральными коронирующими электродами и межэлектродным расстоянием 400 мм. Электрофильтры имеют следующие конструктивные особенности. Конструкция корпуса обеспечивает газоплотность и минимальную поверхность для теплоизоляции благодаря размещению несущих конструкций во внутренней части корпуса. Электрофильтр оборудован корпусом, что позволяет обеспечивать с высокой точностью межэлектродное расстояние в процессе сборки. При этом отпадает необходимость в стабилизирующих элементах или направляющих. Встряхивание коронирующих устройствами, которые обеспечивают равномерное газораспределение по всей площади поперечного сечения. При необходимости осуществляется коррекция газораспределения путем установки дополнительных газоотклоняющих пластин. При оценке эффективности улавливания и работы механизмов встряхивания необходимо принимать во внимание общую площадь осаждения, встряхиваемую за 1 раз. Чем больше такая площадь, тем выше вторичный унос пыли с газовым потоком. Система встряхивания АЛЬСТОМ обеспечивает очень маленькую площадь отряхивания за один удар. Это снижает общую эффективность улавливания, но предотвращает залповые выбросы из дымовой трубы.

Фильтры комплектуются быстроходными приводами со временем оборота 30 с и менее, что снижает общее время залпового выброса при встряхивании и позволяет эффективно управлять электрическим режимом в моменты встряхивания. Система коронирующих электродов подвешивается на четырех изоляторах. Система подвески имеет боксовую структуру, что обеспечивает неизменность ее конфигурации. Конструкция АЛЬСТОМ выполнена таким образом, что каждая система подвешивается за верхние углы вне системы осадительных электродов. Ни одна часть системы подвески не выступает за верхний и нижний края осадительных электродов. В поперечном сечении рамы подвески круглые или прямоугольные.

Целью такой конструкции является снижение напряженности электрического поля в этих зонах до минимального уровня для предотвращения

пробоев. Сами коронирующие электроды подвешены полностью внутри межэлектродного пространства и достаточно удалены от краев или выступающих частей осадительных электродов. Вся система коронирующих электродов полностью закреплена и образует жесткую боксовую структуру. Система коронирующих электродов АЛЬСТОМ собирается и налаживается по месту внутри электродов осуществляется падающими молотками, смонтированными на горизонтальном валу. Эти молотки ударяют по специальным балкам встряхивания, смонтированным на верхней части рам коронирующих электродов.

Таким образом, все вибрации, вызванные падающими молотками, передаются коронирующим электродам. Такой механизм встряхивания работает на каждой секции, питаемой от одного агрегата питания. Привод механизма осуществляется через изолирующий вал и расположен в верхней части электрофильтра. Работой мотор-редуктора управляет контроллер ЕРІС-Ш, который обеспечивает оптимальный режим встряхивания. Этот режим может быть подстроен во время пуска в эксплуатацию. При изменении условий эксплуатации режим может быть легко изменен. Каждое поле электродов поддерживается четырьмя изоляторами, расположенными в изоляторных коробках. Коробки оборудованы шарнирными крышками, чтобы обеспечить легкий доступ к изоляторам для осмотра и обслуживания. В каждой коробке имеется приспособление, позволяющее временно подвесить систему коронирующих электродов, если изолятор должен быть заменен.

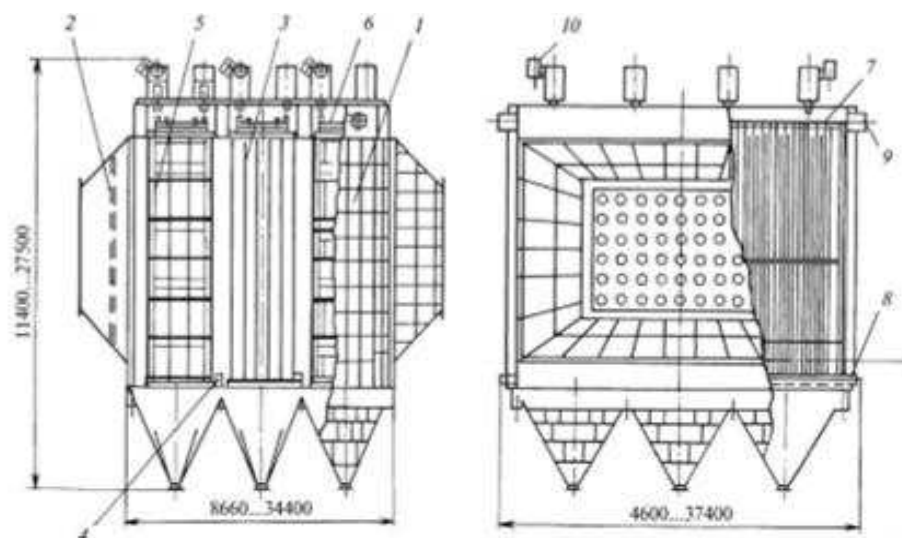
Электрофильтры «Кондор Эко» На базе собственного опыта создания последнего поколения электрофильтров ЭГВ, а также международного опыта ВТИ и холдинговая группа «Кондор Эко» разработали высокоэффективный, сухой, компактный электрофильтр типа ЭГСЭ для техперевооружаемых и вновь строящихся российских ТЭС.

Конструкция электрофильтра ЭГСЭ (рис. 3) стала итогом сравнительного анализа конструкций аппаратов зарубежных и отечественных производителей, а также совместных исследований и опытно-конструкторских работ. Главной

особенностью электрофильтров ЭГСЭ является применение осадительных электродов высотой до 18 м, коронирующих электродов с пониженным напряжением зажигания коронного разряда, а также верхнее расположение системы встряхивания коронирующих электродов.

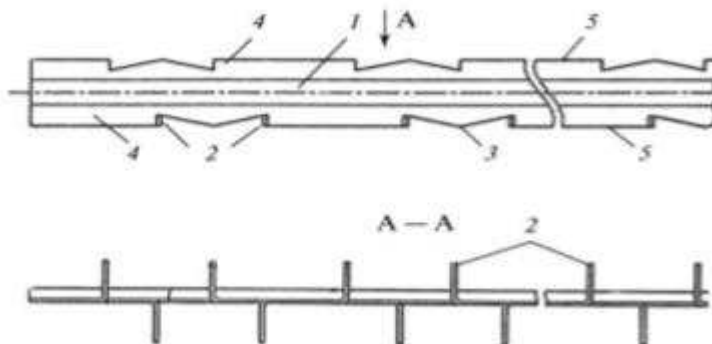
Применение электродов высотой 18 м открывает новые возможности в разработке электрофильтров, обеспечивающих выполнение европейских требований по остаточной запыленности дымовых газов до 30 мг/м^3 и по размещению замещающих золоуловителей на месте существующих малогабаритных электрофильтров и мокрых золоуловителей. Кроме того, это позволяет избежать сложной двухъярусной компоновки электрофильтров на новых мощных энергоблоках, таких, например, как новый энергоблок 800 МВт Березовской ГРЭС. В качестве коронирующего элемента (рис. 3.) в данной конструкции применен элемент с боковыми иглами, с пониженным напряжением зажигания короны и рассредоточенными центрами зажигания коронного разряда.

Особенностью этих коронирующих электродов (рис. 4) является примерно вдвое сниженное напряжение зажигания короны, что увеличивает эффективную скорость дрейфа частиц и повышает устойчивость работы электрофильтра. Это особенно важно для высокозольных углей и сжигаемых в котлах с жидким шлакоудалением углей с малым выходом летучих. Новая конструкция узлов встряхивания и верхнее размещение механизмов встряхивания коронирующих электродов позволили уменьшить межпольные промежутки и габаритные размеры аппаратов. Конструктивное исполнение электродных систем и их механизмов встряхивания позволило увеличить высоту и число осадительных элементов в одном электрополе.



1 – корпус; 2 – система газораспределения; 3 – осадительные электроды; 4 – механизм встряхивания осадительных электродов; 5 – коронирующие электроды; 6 – рама подвеса коронирующих электродов; 7 – механизм встряхивания коронирующих электродов; 8 – привод механизма встряхивания осадительных электродов; 9 — привод механизма встряхивания коронирующих электродов; 10 – токоподвод

Рисунок 3 – Электрофильтр ЭГСЭ:



1 – профилированная центральная часть корпуса элемента; 2 – коронирующие наконечники, отогнутые; 3 – коронирующий наконечник в плоскости корпуса элемента с большим, чем у отогнутых, углом при вершине; 4 – плоские краевые секции корпуса элемента; 5 – торцевые линии (плоскости) плоских краевых секций

Рисунок 4 – Коронирующий электрод с дополнительными точками зажигания

Совершенно новыми узлами в представленном электрофилт্রে ЭГСЭ являются приводы коронирующих и осадительных электродов. В приводе использован итальянский редуктор, отечественный электродвигатель и японская система управления. Такое сочетание используемых комплектующих позволило получить привод с регулируемой частотой вращения вала, с плавной регулировкой пуска двигателя и, что самое главное, позволило осуществить впервые в нашей практике защиту электродвигателя от перегрузок при заклинивании вала механизма встряхивания.

Существенно изменена верхняя часть корпуса электрофилтра, что позволило значительно повысить ремонтпригодность аппарата и обеспечило устойчивый температурный режим в изоляторных коробках. В целях снижения металлоемкости применяется увеличенное до 400 мм межэлектродное расстояние. Большое влияние на эффективность и стабильность показателей электрофилтра оказывает система автоматического управления электропитанием. Учитывая, что значительная часть российских ТЭС сжигает угли, зола которых имеет повышенное удельное электрическое сопротивление (УЭС), на новом электрофилтре устанавливают микропроцессорную систему управления электропитанием с возможностью оптимизации режима электропитания и реализации прерывистого электропитания, что особенно эффективно при улавливании зол с высоким УЭС. Микропроцессорная система управления MCS II непрерывно в автоматическом режиме анализирует электрические параметры электрополей, оптимизирует работу агрегатов питания и управляет работой механизмов встряхивания.

Основными преимуществами системы управления MCS II являются:

– работа агрегатов питания в режиме прерывистого либо непрерывного электропитания в зависимости от удельного электрического сопротивления золы. При наличии обратной короны оптимальную очистку обеспечивает режим прерывистого питания, параметры которого автоматически подбираются контроллером;

– регулирование скорости подъема напряжения и времени выдержки после пробоя для поддержания максимального уровня напряжения на электродной системе;

– помехозащищенность измерительных цепей;

– функция контроллера, позволяющая снижать напряжение на электродах при работе механизмов встряхивания, что является значительным резервом повышения эффективности электрофильтров;

– возможность работы в составе АСУ ТП энергоблока со сбором и сохранением всей информации о работе электрофильтра. Электрофильтр может быть оснащен высокочастотными агрегатами электропитания, располагаемыми на его крыше, без потребности в специальном помещении для агрегатов питания, что особенно важно при замене существующих золоуловителей. Электрофильтр ЭГСЭ имеет следующие преимущества перед действующими аппаратами:

– площадь осаждения (в объеме заданного корпуса) увеличилась на 35..50%;

– время пребывания частиц в активной зоне увеличилось на 35...40 %;

– удельная металлоемкость (на единицу площади осаждения) снизилась на 20 % [9].

Электрофильтры ЭГАВ – полная копия ЭГСЭ, но имеет более облегчённую конструкцию корпусных элементов, высокоэффективные горизонтальные аппараты с верхним расположением механизмов встряхивания электродов, предназначенные для очистки неагрессивных невзрывоопасных технологических газов и аспирационного воздуха от пыли в энергетике. В них соединены преимущества американской технологии электростатической очистки газов с достоинствами европейской технологии очистки газов в электрофильтрах. Удаление осажденной на электродах пыли – механическое, периодическим встряхиванием ударами молотков. Новое конструкторское решение узлов встряхивания, их верхнее размещение, применение новой электродной системы позволили улучшить технические характеристики в сравнении с серийными аппаратами:

- площадь осаждения (в объ-е заданного корпуса) увеличилась на 35–50 %;
- время пребывания частиц в активной зоне увеличилась на 35 –50 %;
- удельная металлоемкость (на единицу площади осаждения) снизилась на 6–20 %.

Конструктивное исполнение электродных систем и их механизмов встряхивания выполнено с расчетом повышения уровня ускорений, возникающих при ударе на элементах электродов, что позволяет увеличить высоту и число осадительных элементов при соотношении высоты электродов к их ширине более чем в 5–8 раз, увеличивать число полурам в рамках коронирующих электродов по высоте и ширине электрофильтра при его неизменных габаритах и, следовательно, максимально использовать и увеличить активную зону электрофильтра, повысить надежность и ремонтпригодность его за счет снижения числа полей.

При разработке ЭГАВ была использована система обеспечения надежности функционирования аппаратов и установок газоочистного и пылеулавливающего оборудования на основе требований экологических норм. Концепция, заложенная в разработанной ОАО «СФ НИИОГАЗ» системе обеспечения надежности (СОН) и экологической безопасности, отличается от действующих принципов разработки, проектирования и эксплуатации аппаратов тем, что привязка новых отечественных электрофильтров для ТЭЦ осуществляется по пяти основным направлениям:

- по технологическим требованиям;
- по производительности, степени очистки, скорости потока и т.д. с одновременным выбором новой компоновки электродных систем;
- по экономическим требованиям;
- рентабельности, прибыли, стоимости ремонта, запчастей и т.д.;
- по экологическим требованиям;
- обеспечение экологической безопасности и, соответственно, минимальных выбросов в процессе эксплуатации разработанных электрофильтров или установки (50мг/м^3 , или менее) на весь срок эксплуатации;

– по стратегии технического обслуживания и ремонта электрофильтра с учетом ремонтного цикла энергоблоков;

– по температурным процессам, имеющим место в моменты пуска и останова электрофильтров и в режиме их непрерывной работы.

Соединение преимуществ европейской технологии пылеулавливания с достоинствами американской электростатической очистки газов позволят получить выходную запыленность менее 50 мг/нм³. Верхнее расположение механизмов встряхивания позволило в ЭГАВ решить еще одну проблему, имеющую место в электрофильтрах, а именно – частые пробои валов изоляторов, которые электрически разделяют механизм встряхивания коронирующих электродов от приводов. Разработана специальная изоляторная коробка для этого привода, в которой имеется двойная защита, простая и надежная, от запыления проводящей пылью вала изолятора.

Для защиты токоподвода от запыления изолирующих поверхностей проводящей пылью применена предложенная специалистами доменного цеха ОАО «Северсталь» конструкция подвеса рам коронирующих электродов, которую они на практике применили на работающих электрофильтрах доменных дворов.

Особое место занимает система управления. Она разработана комплексно под конкретную установку газоочистки доменных дворов ДП-1 и ДП-2 ОАО «Северсталь». Для этого проекта и был предложен электрофильтр ЭГАВ. компоновка установки, состоящей из двух электрофильтров ЭГАВ2 (аналог ЭГСЭ для энергетики), представляет собой удачное техническое решение. Место, отведенное под строительство, имело очень ограниченную площадку, со всех сторон занятую существующими коммуникациями. Достичь выходной запыленности 50–60 мг/м³ без верхнего расположения механизмов встряхивания невозможно. Расчетное время пребывания частиц в активной зоне, которое определялось из условия получения при пусковых испытаниях 40–50 мг/м³, потребовало выбрать электрофильтр с конкретным числом осадительных элементов, а разбивка его на поля с размерами межполюсных промежутков 900

мм, обеспечила при этом хорошее газораспределение, позволила вписаться в отведенную площадку.

3.3 Описание и принцип работы рукавного фильтра

Рукавные фильтры это аппараты тонкой очистки, которые могут обеспечить очистку до 30мг/м^3 на выходе. Данные аппараты применяются во всех отраслях промышленности и при обеспечении чистого воздуха в больших строениях городской инфраструктуры. Рукавные фильтры (рис. 5) обычно бывают прямоугольной, квадратной или круглой формы. Внутри аппарата размещен пористый материал, форму и жёсткость которому придают решетчатые каркасы. Рукава бывают круглой или овальной формы. Фильтрация отходящих газов осуществляется путем прохождения их через тканевую поверхность с осаждением твердых частиц фракции превышающей сечении микро ячейки ткани, на поверхности фильтровального материала. В зависимости от конструкции рукавного фильтра, газ может проходить фильтрацию как с наружной поверхности рукава так и с внутренней. Для очистки слоя пыли возникающей в процессе фильтрации на поверхности рукава, которая приводит к увеличению гидравлического сопротивления, за счёт уменьшения пропускной способности, используют вибрационное или пневматическое встряхивание рукава.

Фильтр может работать как под давлением, так и под разрежением. Соответственно фильтр может, устанавливается как на напоре, так и на всосе вентилятора (дымососа).

Корпус фильтра имеет преимущественно прямоугольную или квадратную форму.

Диапазон рабочих температур определяется типом применяемого фильтровального материала.

Система регенерации рассчитана на использование сжатого воздуха давлением до $0,6\text{ МПа}$ (6 кгс/см^2). Сжатый воздух, поступающий на

регенерацию, должен быть очищен и осушен не хуже 9-го класса по ГОСТ 17433-80, что соответствует 2–4 классам DIN ISO 8573-1, в зависимости от условий эксплуатации.

Фильтры изготавливаются в климатическом исполнении УХЛ с категорией размещения 4 по ГОСТ15150-69, предназначены для установки в производствах Г и Д по СНиП2-09.02-85. При установке на открытом воздухе фильтры комплектуются узлами и деталями, обеспечивающими их работоспособность в заданных условиях эксплуатации.

Классификация рукавных фильтров по способу регенерации фильтровального материала:

Механическое встряхивание

Данный метод подразумевает механическое воздействие на рукав, в следствие резкого изменения направления амплитуды колебания происходит отделение осаждённых частиц от поверхности фильтрования. Преимущество данного метода заключается в технологической простоте применения. Основным недостатком служит деформация и износ механизмов вызванных резкими колебаниями.

Обратная продувка

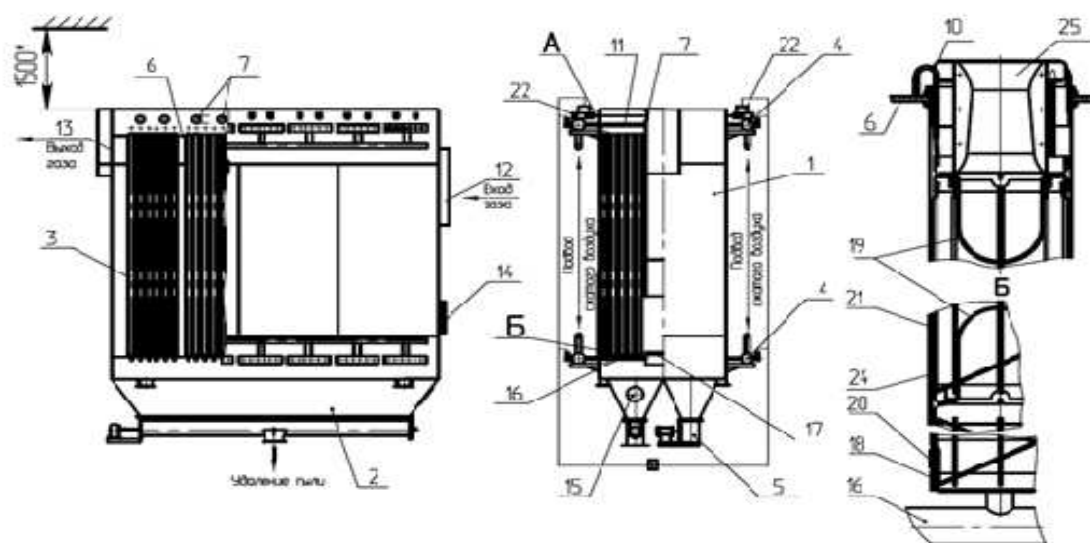
Данный метод предусматривает продувку рукава с стороны чистого газа перенаправленным потоком воздуха. Обратная продувка более эффективна с применением других методов регенерации.

Импульсная продувка

Данный метод зарекомендовал себя как наиболее эффективный, примененный к отечественным и зарубежным рукавным фильтрам.

Система импульсной регенерации включает в себя: подачу чистого сжатого воздуха по коллекторным(газораспределительным) трубам в центр рукава. На конце труб расположены пневмо-клапана, которые по импульсу АСУ производят резкий выброс сжатого воздуха под давлением 0,35-0,6 МПа превышающем средне секундную пропускную способность игло-пробивной ткани внутрь рукава

Возникновение потребности размещения более большого количества фильтровального полотна в аппарате привело к новым разработкам по типу кассетного фильтра или ячейкового. Аппарат оснащается фильтровальным материалом который собран между собой в ячейки путем сшивания или термической спайкой. Такой метод позволит произвести реконструкцию рукавного фильтра без изменения габаритов корпуса при увеличении эффективности фильтрации на 70%.



1 – корпус; 2 – бункер; 3 – фильтроэлемент (рукав с каркасом); 4 – клапанная секция; 5 – винтовой транспортер; 6 – рукавная плита; 7 – клапан; 10 – оголовник; 11 – раздающая труба; 12 – вход газа; 13 – выход газа; 14 – монтажный люк; 15 – люк; 16 – раздающая труба; 17 – площадка обслуживания; 18 – патрубок; 19 – пружинная скоба; 20 – хомут; 21 – рукав; 22 – пневмоцилиндр; 24 – каркас; 25 – диффузор

Рисунок 5 – Схемы рукавного фильтра

В связи с вышеизложенным рассмотрев соотношение эффективности и эксплуатационных характеристик, можно сделать вывод, что рукавные фильтры являются наиболее эффективным способом фильтрации, промышленных и бытовых воздушных потоков. Рукавные фильтры способны работать непрерывно и не требуют постоянного обслуживания.

Так же следует отметить, что при константе площади фильтрации, можно изменять габариты рукавных фильтров как по длине так и по ширине, высоте в зависимости от габаритов места установки.

Срок замены рукавов в случае если пыль не абразивная, составляет 2 года. На предприятия энергетики в основном пыль является абразивной особенно при использовании сырья каменных углей. По этому рукавные аппараты не прижились в отрасли ТЭЦ, ГРЭС в связи с высокими температурами и абразивностью золы.

Есть большое количество различных типов волокон для производства нетканых иглопробивных полотен. Мы должны кратко охарактеризовать самые важные из них, которые используются при повышенных температурах. Полиэфирное волокно Волокна, изготовленные из полиэтилентерефталата, применяются наиболее часто, поскольку они сравнительно дешёвы и демонстрируют достаточно хорошую химическую устойчивость. Устойчивость к окислительному воздействию хорошая, основным слабым местом является гидролитическая деструкция во влажных условиях, особенно если при высоких температурах присутствуют щёлочи.

м-Арамид Ароматические полиамиды часто используются в системах фильтрации горячих газов. Они негорючие, устойчивы к большинству растворителей, но их устойчивость к гидролитическому воздействию ограничена. Таким образом, они используются преимущественно в сухих условиях.

Полифениленсульфид ПФС показывает очень высокую устойчивость к гидролитическому воздействию в кислой и в щелочной среде, так как основная цепь полимера не сформирована гидролитическим воздействием. Этот негорючий и нерастворимый материал не очень устойчив в присутствии окисляющих веществ.

Полиимид Негорючий желтоватый волоконный материал, обладающий отличной устойчивостью к температурным воздействиям. Устойчивость к окисляющим веществам и кислотам достаточно хорошая.

Диаминодифенилсульфонтеререфалат. Фильтроматериалы на основе диаминодифенилсульфонтеререфалата показывают высокую устойчивость к воздействию щелочных и кислотных сред, гидролиза. Политетрафторэтилен Волокна ПТФЭ обладают уникальной химической устойчивостью и очень хорошей устойчивостью к температурным нагрузкам. Волокна являются негорючими, нерастворимыми и антиадгезионными. Сложные фильтровальные материалы В шестидесятые и семидесятые годы, когда нетканое иглопробивное полотно начало применяться особенно успешно, было меньше возможностей для разработки высококачественных фильтровальных материалов, чем сегодня. Некоторые из полимеров, которые сегодня широко используются, были неизвестны, например, общепринятые в наши дни полиимид и полифениленсульфид. Микроволокна еще несколько лет назад не существовали. Процессы прочёсывания и кристаллизации в иглах необходимо было изменить для работы с этими тонкими волокнами. Использование микроволокна позволяет снизить перепад давления и избежать забивания фильтровальных рукавов.

Фильтровальные материалы из нетканого иглопробивного полотна типа MPS® представляют собой нетканый войлок с волокнами в 2-3 раза меньшего размера, чем обычные, что приводит к намного меньшему размеру пор материала. Результатом этой конструкции является повышенная эффективность фильтрации в отношении мельчайших частиц даже меньше одного микрона в диаметре. Этот особый эффект возможен благодаря использованию тончайших существующих волокон и получающегося в результате этого увеличения площади фильтра. Поскольку эти тонкие волокна вызывают поверхностно ориентированную фильтрацию пыли, эти фильтровальные материалы приводят только к небольшому перепаду давления. Таким образом, эксплуатационные расходы низки из-за того, что требуемый объём сжатого воздуха небольшой, благодаря лёгкой очистке рукавов. Компактные несущие холсты демонстрируют дополнительное положительное влияние на эффективность сепарации. Тончайшие волокна с диаметром в диапазоне 9 -14 микрон имеются во всех типах названных выше волоконных полимеров. Положительные результаты

использования тонких волокон были впервые доказаны в лабораторных фильтрационных установках, но в то же время известны и много положительных результатов в практическом применении.

Фильтровальный материал с микропористым ПТФЭ покрытием Рынок предлагает различные фильтровальные материалы из нетканого иглопробивного полотна с микропористым поверхностным слоем. Эти покрытия вызывают поверхностно ориентированную фильтрацию пыли, пыль не проникает в глубину фильтровального материала. Микропористые поверхностные покрытия на основе ПТФЭ демонстрируют дополнительные положительные результаты. Этот полимер антиадгезивен по своей химической природе. По этой причине осевшая пыль будет легко удалена с поверхности фильтра. По сравнению с обычным фильтровальным материалом, перепад давления в фильтре с ПТФЭ покрытием значительно ниже. Потребление сжатого воздуха снижается, и срок службы рукавов будет увеличен. Кроме того, это покрытие обладает очень хорошей устойчивостью к температурному и химическому воздействию, что позволяет производителю использовать такой вид обработки поверхности для всех названных выше термостойких волоконных полимеров.

Керамические фильтровальные элементы .Эти фильтровальные элементы состоят из керамических волокон, которые также называются каолиновые силикатные волокна. Форма жёстких элементов придаётся посредством специальной процедуры. Эти фильтровальные элементы являются самонесущими, и им не нужно несущего каркаса. Это очень важно для использования при высоких температурах, так как металлические компоненты будут иметь проблемы из-за различных коэффициентов термического расширения разных материалов. Керамические фильтры могут выдерживать экстремальные температурные и химические условия. Они используются при непрерывной нагрузке вплоть до 850°C, химический распад происходит только в присутствии больших объёмов плавиковой кислоты. Очистка этих фильтров осуществляется посредством сжатого воздуха также, как и с обычным текстильным фильтровальным материалом, либо обратным воздухооток, либо

эжекторной очисткой. Герметичное отделение исходного газа от чистого воздуха осуществляется мягким минеральным войлоком, который также компенсирует различное расширение металлической разделительной пластины с изменениями температуры. Следует отметить, что содержание пыли в очищенном газе составляет меньше 1 мг на кубический метр при нормальных условиях в практических условиях, независимо от того, какие это практические условия. В университетах и в практических условиях проводились испытания с различными типами пыли, различными соотношениями объема воздуха к объему ткани и различными уровнями пыли в исходном газе при температурах между 400 и 900 °С в течение продолжительных периодов времени. Сегодня множество проблем с фильтрацией решены использованием этих сложных фильтровальных материалов

3.4 Описание и принцип работы комбинированного электрофильтра

Комбинированный электрофильтр (рис. 6) состоит из полей электрофильтра и рукавного фильтра, размещенных в одном корпусе. Торцевая часть корпуса закрыта рукавной плитой. В плите навстречу потоку газа установлены фильтро-элементы. Кроме этого, раздающие трубы сжатого воздуха для регенерации рукавов установлены горизонтально. Устройство регенерации снабжено программным контроллером, обеспечивающим регенерацию фильтро-элементов, начиная с верхних рукавов, а длительность паузы между моментами регенерации больше времени падения пыли между соседними рукавами. Технический результат: рациональное использование объема корпуса, упрощение монтажа, улучшение газораспределения в электрофильтре. Изобретение относится к области очистки газов от пыли и может быть использовано в теплоэнергетике, металлургии, промышленности строительных материалов и других отраслях.

Известен комбинированный пылеулавливающий аппарат, состоящий из фильтра и электрофильтра [патент №2248837]. Отличительной особенностью

этого аппарата является то, что последовательно за электрофильтром установлен тканевый фильтр с соотношением активных объемов фильтра к электрофильтру 0,1-0,9, а электрофильтр и фильтр расположены в одном или разных корпусах. Недостатком этого аппарата является тот факт, что при размещении фильтра в корпусе электрофильтра требуется существенная переделка корпуса.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению по технической сущности решаемой задачи и совокупности общих существенных признаков является комбинированный пылеулавливающий аппарат (прототип), изготавливаемый фирмой ВНА. Изготавливаемые этой фирмой аппараты содержат фильтрующие элементы, которые при размещении в корпусе электрофильтра «висят вертикально». [Рекламный проспект фирмы ВНА «Модернизация электрофильтров, осуществляемая фирмой ВНА, info-switzerland@bha.com.] Это прогрессивное решение, однако оно при вертикальном расположении фильтроэлементов имеет следующие недостатки:

- рукавный фильтр занимает объем более одного поля электрофильтра;
- необходимость изготовления специальных устройств для организации требуемого направления движения очищаемого газа в фильтрах;
- сложность монтажа аппарата фильтрации;
- необходимость изменения направления потока очищаемого газа;
- ухудшение качества газораспределения потока газа в последнем поле электрофильтра.

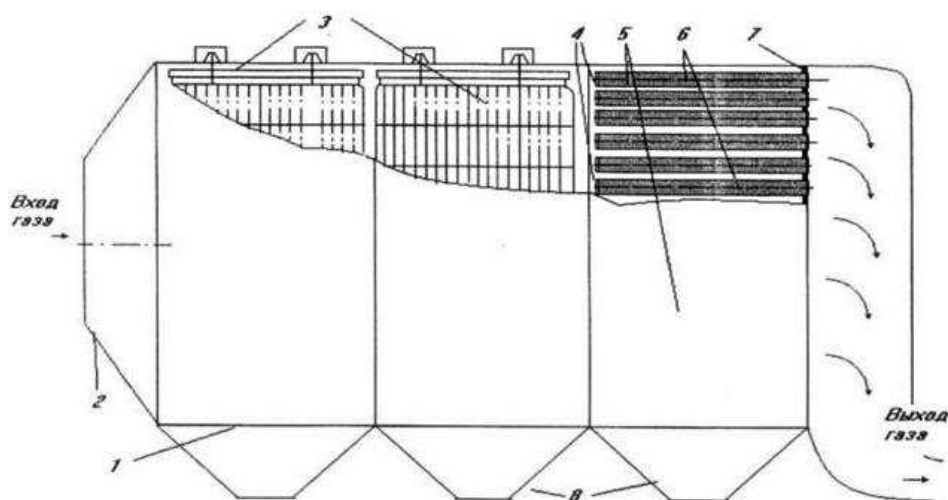
Технической задачей предлагаемого изобретения и достигаемый при ее решении технический результат заключаются в том, что предлагаемое горизонтальное размещение фильтроэлементов позволяет:

- рационально использовать объем корпуса и вписываться в габариты одного поля электрофильтра.
- упростить монтаж фильтра;
- оставить неизменным направление газов в корпусе;

– улучшить газораспределение в последнем поле электрофильтра.

Указанный технический результат достигается тем, что в корпусе торцевая по ходу газа часть электрофильтра закрыта рукавной плитой, в которой устанавливаются фильтровальные элементы доньшками навстречу потоку газа.

Таким образом, движущийся очищаемый пылегазовый поток сохраняет свое первоначальное направление. Длина рукавов может быть выполнена на всю длину поля. При хорошей регенерации рукавов заполняется весь объем поля.



1 – корпус комбинированного электрофильтра; 2 – диффузор; 3 – поля электрофильтра; 4 – доньшки фильтроэлементов; 5 – рукавный фильтр; 6 – фильтроэлементы; 7 – рукавная плита; 8 – бункера

Рисунок 6 – Комбинированный рукавный фильтр

Функционирование комбинированного электрофильтра осуществляется следующим образом. Поступающий на очистку газ входит в корпус через диффузор, где подвергается предварительной очистке в полях электрофильтра. Далее газ очищается в рукавном фильтре, где проходит через фильтроэлементы и подвергается окончательной очистке от пыли до уровня нескольких граммов пыли на 1 м^3 очищаемого газа.

4 Проведение расчета применения аппаратов очистки от выбросов твёрдых частиц в атмосферу

Исходные данные

- объемный расход очищаемых газов максимальный от одного КА, $\text{нм}^3/\text{с}$ ($\text{нм}^3/\text{ч}$): 211,76 (762352);
- максимальная температура газов, $^{\circ}\text{C}$: 180;
- объемный расход очищаемых газов максимальный от одного КА, при рабочей температуре, $\text{м}^3/\text{с}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$): 368,92 (1328112);
- максимальная запыленность, $\text{г}/\text{м}^3$: 10;
- требуемая остаточная запыленность, $\text{мг}/\text{нм}^3$: 300;
- тип дымососа Д25х2ШБ, 2 шт.;
- максимальный напор ДС, $\text{кг}/\text{см}^2$: 524 (5кПа)
- максимальная производительность ДС (Д-25-2шб), $\text{м}^3/\text{ч}$: 646000;
- размеры площадки: длина 27м, ширина 36м, высота 24м;
- размеры существующих золоуловителей: длина установки в ряд 6 штук 34000 мм, ширина 5500 мм, высота 23700 мм;
- плотность газов $\rho_0 = 1,31 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- размер взвешенных частиц: 2-15 мкм содержание 80%;
- напряжение работы электрофильтра 80 кВт;

Состав дымовых газов % (объем):

$\text{CO}_2=14$;

$\text{H}_2\text{O}=16$;

$\text{O}_2=7$;

$\text{N}_2=56$.

$\text{SO}_2 = 17$

Дисперсный состав пыли и содержание по массе:

<1 мкм – 3%

1-2 – 5%

2-15 – 80%

15-30 – 7%

> 30 – 5%

4.1 Расчет электрофильтра

1) Плотность газов при рабочих условиях:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{0\Gamma} \frac{273(P_{\text{бар}} \mp P_{\Gamma})}{(273+t_{\Gamma}) \cdot 101,3} = 1,31 \frac{273 \cdot (101,3-5)}{(273+180) \cdot 101,3} = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

2) Рекомендуемый аппарат с площадью активного сечения 210 м² количестве 2 штук.

Скорость газа:

$$W_{\Gamma} \frac{V_{\Gamma}}{F} = \frac{210}{176} = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

3) Относительная плотность газа при стандартных условиях ($P_{\text{бар}}=101,3$ кПа, $t = 20$ °C)

$$\beta = \frac{T_{\text{ст}}(P_{\text{бар}} \pm P_{\Gamma})}{(273+t_{\Gamma}) \cdot 101,3} = \frac{(101,3-5) \cdot (273+20)}{(273+180) \cdot 101,3} = 0,62$$

4) Критическая напряжённость электрического поля:

$$E_{\text{кр}} = 3,04 \left(\beta + 0,0311 \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) \cdot 10^6 = 3,04 \left(0,62 + 0,0311 \sqrt{\frac{0,62}{0,001}} \right) \cdot 10^6 = 4238926 \text{ В/м,}$$

где R_1 – радиус иглы коронирующей.

5) Критическое напряжение короны:

$$U_{кр} = E_{кр} \cdot R_1 \left(\frac{\pi H}{S} - 2,31 \cdot \ln \frac{2R_1 \pi}{S} \right)$$

$$U_{кр} = 4238926 \cdot 0,001 \left(\frac{3,14 \cdot 0,10}{0,24} - 2,31 \cdot \ln \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,001}{0,24} \right) = 54\,458 \text{ В,}$$

где H – расстояние между коронирующим и осадительным электродом 100 мм

S – шаг коронирующего элемента 240 мм

б) Линейная плоскость тока короны:

$$i_0 = \frac{4\pi^2 \cdot K \varphi U (U - U_{кр})}{9 \cdot 10^9 \cdot S^2 \left(\frac{\pi H}{S} - 2,31 \cdot \ln \frac{2R_1 \pi}{S} \right)}$$

$$i_0 = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,016 \cdot 80000 \cdot (80000 - 54458)}{9 \cdot 10^9 \cdot 0,24^2 \cdot (1962,5 - 2,31 \ln 0,035)} = 0,023 \cdot 10^{-3} \text{ А/м}$$

где K – коэффициент подвижности ионов;

φ – коэффициент зависимости от соотношения H/S – табличная величина.

$$\varphi = \frac{H}{S} = \frac{100}{240} = 0,4$$

7) Напряжённость электрического поля:

$$E = \sqrt{\frac{8i_0 H}{4\pi \epsilon_0 K_0 S}} = \sqrt{\frac{80,023 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1}{4 \cdot 3,14 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,24}} = 3,2 \cdot 10^5 \text{ В/м,}$$

где ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м

8) Вязкость компонентов, входящих в состав газа при рабочих условиях
Нс/м²:

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273+C}{T+C} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+t}{273}\right)^3},$$

где μ_0 – коэффициент динамической вязкости газа при нормальных условиях
С – коэффициент, характерный для каждого вида газа (табл. № 7)

Таблица – 7

Вид газа	С	$\mu_0 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м ²
N ₂	114	17
H ₂ O	961	10
CO ₂	254	13,7
O ₂	131	20,3

Коэффициенты динамической вязкости газообразных составляющих
равны:

$$\mu_{N_2} = 17 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+114}{453+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+180}{273}\right)^3} = 24,8 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$$

$$\mu_{H_2O} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+114}{453+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+180}{273}\right)^3} = 18,63 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$$

$$\mu_{CO_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+114}{453+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+180}{273}\right)^3} = 21,83 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$$

$$\mu_{O_2} = 20,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+114}{453+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+180}{273}\right)^3} = 30,02 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$$

9) Вязкость дымовых газов:

$$\frac{M}{\mu} = \sum \frac{M_i}{\mu_i} = 0,01 \cdot \left(\frac{CO_2 \cdot M_{CO_2}}{\mu_{H_2O}} + \frac{H_2O \cdot M_{H_2O}}{\mu_{H_2O}} + \frac{O_2 \cdot M_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{N_2 \cdot M_{N_2}}{\mu_{N_2}} \right)$$

$$\frac{M}{\mu} = 0,01 \cdot \left(\frac{14 \cdot 44}{21,83 \cdot 10^{-6}} + \frac{16 \cdot 18}{18,63 \cdot 10^{-6}} + \frac{7 \cdot 32}{30,02 \cdot 10^{-6}} + \frac{63 \cdot 28}{24,8 \cdot 10^{-6}} \right) = 1,22 \cdot 10^6$$

где M – относительна молекулярная масса газов кг/кмоль.

$$M = \sum a_i \cdot M_i = 0,14 \cdot 44 + 0,16 \cdot 18 + 0,7 \cdot 32 + 0,63 \cdot 28 = 49 \text{ кг/моль}$$

$$\mu = \frac{49}{1,21 \cdot 10^6} = 40,6 \cdot 10^{-6}$$

10) Коэффициент очистки газа:

$$\eta = \sum \frac{\eta_i \varphi_i}{100},$$

где η_i – эффективность очистки газового потока от конкретной фракции;

F – удельная поверхность осаждения $\text{м}^2 \cdot \text{с/м}^3$.

$$\eta_i = 1 - e^{-FW_d}$$

$$F = \frac{F_0}{V_r} = \frac{10080}{184} = 54,7,$$

где F_3 – площадь осаждения осадительных электродов (зависит от марки и типоразмера выбранного аппарата);

φ_i – содержание данной фракции в составе пыли.

Скорость дрейфа W_d определяется для частиц <1 мкм и для частиц >1 мкм.

Таблица 8 – Средний радиус частиц

Размер частицы	<1	1-2	2-15	15-30	> 30
Средний радиус r_{cp} , мкм	0,25	1,75	4,25	11,25	65

Скорость дрейфа мелких частиц:

$$W_d = 0,17 \cdot 10^{-11} \frac{E C_k}{\mu},$$

где C_k – поправка Кенингема, равная:

$$C_k = 1 + \lambda \cdot \left(\frac{A}{r} \right),$$

где A – численный коэффициент равный 0,815-1,63;

λ – длина свободного пробега молекул газа, м, равна 10^{-7}

$$W_{d1} = 0,17 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{3,2 \cdot 10^5}{40,6 \cdot 10^{-6}} \left(1 + 10^{-7} \cdot \frac{1,3}{0,25} \right) = \frac{0,17 \cdot 10^{-5} \cdot 3,2 \cdot 10^5}{40,6} \cdot 1 = 0,01 \text{ м/с}$$

$$W_{d1-30} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2 \cdot \frac{r}{\mu}$$

$$W_{д1-2} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^5)^2 \cdot 1,75 \cdot 10^{-6}}{40,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,118 \cdot 1,75 \cdot 3,2^2}{40,6} = 0,052 \text{ м/с}$$

$$W_{д2-15} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^5)^2 \cdot 4,25 \cdot 10^{-6}}{40,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,118 \cdot 4,25 \cdot 3,2^2}{40,6} = 0,12 \text{ м/с}$$

$$W_{д15-30} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^5)^2 \cdot 11,25 \cdot 10^{-6}}{40,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,118 \cdot 11,25 \cdot 3,2^2}{40,6} = 0,33 \text{ м/с}$$

$$W_{д30} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^5)^2 \cdot 65 \cdot 10^{-6}}{40,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,118 \cdot 65 \cdot 3,2^2}{40,6} = 0,6 \text{ м/с}$$

Фракционный коэффициент очистки равен:

$$a^{-M} = \frac{1}{a^M}$$

$$\eta_1 = 1 - e^{-54,7 \cdot 0,01} = 1 - 2,7^{-0,547} = 0,72$$

$$\eta_{1-2} = 1 - e^{-54,7 \cdot 0,052} = 1 - 2,7^{-2,84} = 0,94$$

$$\eta_{2-15} = 1 - e^{-54,7 \cdot 0,12} = 1 - 2,7^{-6,56} = 0,998$$

$$\eta_{15-30} = 1 - e^{-54,7 \cdot 0,33} = 1 - 2,7^{-18} = 1$$

$$\eta_{30} = 1 - e^{-54,7 \cdot 0,6} = 1 - 2,7^{-32,8} = 1$$

$$\eta = \frac{0,72 \cdot 3 + 0,94 \cdot 5 + 0,99 \cdot 80 + 1 \cdot 7 + 1 \cdot 5}{100} = 98\%$$

4. 2 Расчет рукавного фильтра

Фильтрующая поверхность аппарата определяется из выражения:

$$F_{\phi} = \left[\left(\frac{V_{\Pi} + V_p}{60q} \right) \right] + F_p,$$

где V_{Π} – объем газа, поступающего на очистку, м³/ч;

V_p – объем газа или воздуха, расходуемого на регенерацию ткани, м³/ч;

q – удельная газовая нагрузка фильтровальной перегородки при фильтровании, м³(м²·мин);

F_p – фильтрующая поверхность, отключаемая на регенерацию в течение 1 час, м².

Величину F_p следует рассчитывать по зависимости:

$$F_p = N_c \cdot F_c \cdot \tau^p \cdot m_p,$$

где N_c – число секций в фильтре;

F_c – фильтрующая поверхность секции, м²;

τ^p – время регенерации секции, с;

m_p – число регенерации в течении 1 часа.

$$q = q_n \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot c_5,$$

где q_n – нормативная удельная нагрузка, зависящая от вида пыли и ее склонности к агломерации (является табличной величиной в зависимости от улавливаемого продукта); $q_n=1,7$;

c_1 – коэффициент, характеризующий способность регенерации фильтрующих элементов (определяется по данным приведенным ниже), $c_1=1$;

c_2 – коэффициент, учитывающий влияние концентрации пыли на удельную газовую нагрузку, определяется по рисунку 6;

c_3 – коэффициент, учитывающий влияние дисперсного состава пыли в газе (определяется по данным приведенным ниже);

c_4 – коэффициент, учитывающий влияние температуры газа (определяется по данным приведенным ниже);

c_5 – коэффициент, учитывающий требования к качеству очистки.

Концентрация пыли (коэффициент c_2) сказывается на продолжительности цикла фильтрования.

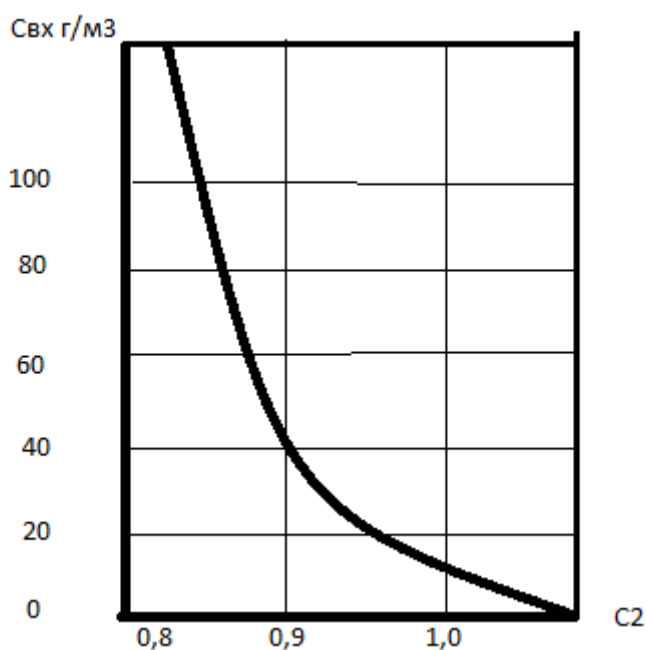


Рисунок 7 – Зависимость коэффициента c_2 от концентрации пыли на входе в фильтр $c_{вх}$, $c_2=1$

Таблица 9 – Зависимость коэффициента c_3 от диаметра частиц

dm, мкм	< 3	3 – 10	10 – 50	50 – 100	>100
c_3	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3
N	1 – 5	6 – 10	11 – 15	16 – 20	>20

$$c_3=1$$

Значения коэффициента c_4 , учитывающего влияние температуры газа.

Таблица 10–Зависимость коэффициента c_4 от температуры газа

t, °C	20	40	60	80	100	120	140	160
c_4	1	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,7
N	1 – 3	4 – 7	8 – 10	11 – 14	15 – 18	19 – 22	23 – 27	>28

$$c_4=0,7$$

Коэффициент c_5 , учитывающий требования к качеству очистки, оценивается по концентрации пыли в очищенном газе. При концентрации пыли в отходящих газах 30 мг/м^3 $c_5 = 1$

$$q=1,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 = 1,19 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{мин}$$

Фильтрующая поверхность аппарата:

$$F_{\phi} = \frac{V_{\text{п}}}{60q} = \frac{664000}{71,4} = 9300 \text{ м}^2$$

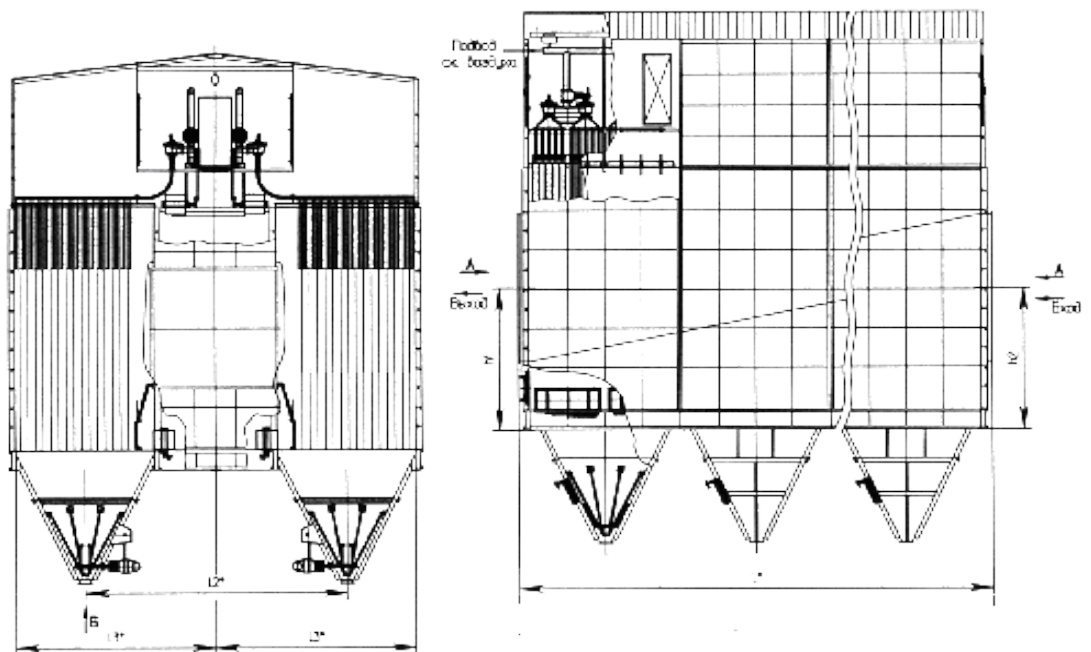


Рисунок – 8 Рукавный фильтр

Общая площадь фильтра, с учетом поверхности для регенерации, составляет: $9300 + 10\% = 10230 \text{ м}^2$, то аппарат ФРМИ 10000 производительность по очищаемому газу $970000 \text{ м}^3/\text{ч}$ площадью фильтрования 10700 м^2 384 рукава площадь каждого 28 м^2 диаметром 150 мм и длиной 6 метров 32 шт рукавов в ширину и 12 шт в длину, 6 секций по 64 шт в секции.

ФРМИ 10000

Размеры корпуса: Длина 5 метров, ширина 14 метров, высота с шатровым укрытием и бункерами 10 метров.

Для очистки отходящих газов от КА $1328112 \text{ м}^3/\text{ч}$ требуется два рукавных фильтра типа ФРМИ 10000

Степень очистки составляет 99.7% или $30 \text{ мг}/\text{м}^3$

4.3 Расчет комбинированного электрофильтра

1) Плотность газов при рабочих условиях:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{0\Gamma} \frac{273(P_{\text{бар}} \mp P_{\Gamma})}{(273+t_{\Gamma}) \cdot 101,3} = 1,31 \frac{273 \cdot (101,3 - 5)}{(273+180) \cdot 101,3} = 0,75 \text{ кг/м}^3$$

2) Рекомендуемый аппарат с площадью активного сечения 210 м² количестве 2 штук.

Скорость газа:

$$W_{\Gamma} \frac{V_{\Gamma}}{F} = \frac{210}{176} = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$$

3) Относительная плотность газа при стандартных условиях ($P_{\text{бар}}=101,3$ кПа, $t = 20$ °C):

$$\beta = \frac{T_{\text{ст}}(P_{\text{бар}} \pm P_{\Gamma})}{(273+t_{\Gamma}) \cdot 101,3} = \frac{(101,3-5) \cdot (273+20)}{(273+180) \cdot 101,3} = 0,62$$

4) Критическая напряжённость электрического поля:

$$E_{\text{кр}} = 3,04 \left(\beta + 0,0311 \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) \cdot 10^6 = 3,04 \left(0,62 + 0,0311 \sqrt{\frac{0,62}{0,001}} \right) \cdot 10^6 = 4238926 \text{ В/м,}$$

где R_1 – радиус иглы коронирующей.

5) Критическое напряжение короны:

$$U_{кр} = E_{кр} \cdot R_1 \left(\frac{\pi H}{S} - 2,31 \cdot \ln \frac{2R_1 \pi}{S} \right)$$

$$U_{кр} = 4238926 \cdot 0,001 \left(\frac{3,14 \cdot 0,10}{0,24} - 2,31 \cdot \ln \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,001}{0,24} \right) = 54\,458 \text{ В,}$$

где H – расстояние между коронирующим и осадительным электродом
100мм

S – шаг коронирующего элемента 240 мм

6) Линейная плоскость тока короны:

$$i_0 = \frac{4\pi^2 \cdot K \varphi U (U - U_{кр})}{9 \cdot 10^9 \cdot S^2 \left(\frac{\pi H}{S} - 2,31 \cdot \ln \frac{2R_1 \pi}{S} \right)}$$

$$i_0 = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,016 \cdot 80000 \cdot (80000 - 54458)}{9 \cdot 10^9 \cdot 0,24^2 \cdot (1962,5 - 2,31 \ln 0,035)} = 0,023 \cdot 10^{-3} \text{ А/м,}$$

где K – коэффициент подвижности ионов,

φ – коэффициент зависимости от соотношения H/S – табличная величина.

$$\varphi = \frac{H}{S} = \frac{100}{240} = 0,4$$

7) Напряжённость электрического поля:

$$E = \sqrt{\frac{8i_0 H}{4\pi \epsilon_0 K_0 S}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,023 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1}{4 \cdot 3,14 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,24}} = 3,2 \cdot 10^5 \text{ В/м,}$$

где: ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума, равная $8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м

8) Вязкость компонентов, входящих в состав газа при рабочих условиях
Нс/м²:

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273+C}{T+C} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+t}{273}\right)^3},$$

где μ_0 – коэффициент динамической вязкости газа при нормальных условиях.

Коэффициенты динамической вязкости газообразных составляющих равны:

$$\mu_{N_2} = 17 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+114}{453+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+180}{273}\right)^3} = 24,8 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$$

$$\mu_{H_2O} = 10 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+114}{453+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+180}{273}\right)^3} = 18,63 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$$

$$\mu_{CO_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+114}{453+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+180}{273}\right)^3} = 21,83 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$$

$$\mu_{O_2} = 20,3 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273+114}{453+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+180}{273}\right)^3} = 30,02 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$$

9) Вязкость дымовых газов:

$$\frac{M}{\mu} = \sum \frac{M_i}{\mu_i} = 0,01 \cdot \left(\frac{CO_2 \cdot M_{CO_2}}{\mu_{H_2O}} + \frac{H_2O \cdot M_{H_2O}}{\mu_{H_2O}} + \frac{O_2 \cdot M_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{N_2 \cdot M_{N_2}}{\mu_{N_2}} \right)$$

$$\frac{M}{\mu} = 0,01 \cdot \left(\frac{14 \cdot 44}{21,83 \cdot 10^{-6}} + \frac{16 \cdot 18}{18,63 \cdot 10^{-6}} + \frac{7 \cdot 32}{30,02 \cdot 10^{-6}} + \frac{63 \cdot 28}{24,8 \cdot 10^{-6}} \right) = 1,22 \cdot 10^6$$

где M – относительная молекулярная масса газов кг/кмоль.

$$M = \sum a_i \cdot M_i = 0,14 \cdot 44 + 0,16 \cdot 18 + 0,7 \cdot 32 + 0,63 \cdot 28 = 49 \text{ кг/моль}$$

$$\mu = \frac{49}{1,21 \cdot 10^6} = 40,6 \cdot 10^{-6}$$

10) Коэффициент очистки газа:

$$\eta = \sum \frac{\eta_i \varphi_i}{100},$$

где η_i – эффективность очистки газового потока от конкретной фракции;

F – удельная поверхность осаждения $m^2 \cdot c/m^3$.

$$\eta_i = 1 - e^{-FW_d}$$

$$F = \frac{F_3}{V_r} = \frac{5000}{184} = 27$$

где F_3 – площадь осаждения осадительных электродов (зависит от марки и типоразмера выбранного аппарата);

φ_i – содержание данной фракции в составе пыли.

Скорость дрейфа W_d определяется для частиц <1 мкм и для частиц >1 мкм.

Скорость дрейфа мелких частиц:

$$W_d = 0,17 \cdot 10^{-11} \frac{E C_k}{\mu},$$

где C_k – поправка Кенингема, равная:

$$C_k = 1 + \lambda \cdot \left(\frac{A}{r} \right),$$

где A – численный коэффициент равный 0,815-1,63;

λ – длина свободного пробега молекул газа, м, равна 10^{-7} .

$$W_{d1} = 0,17 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{3,2 \cdot 10^5}{40,6 \cdot 10^{-6}} \left(1 + 10^{-7} \cdot \frac{1,3}{0,25} \right) = \frac{0,17 \cdot 10^{-5} \cdot 3,2 \cdot 10^5}{40,6} \cdot 1 = 0,01 \text{ м/с}$$

$$W_{d1-30} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2 \cdot \frac{r}{\mu}$$

$$W_{d1-2} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^5)^2 \cdot 1,75 \cdot 10^{-6}}{40,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,118 \cdot 1,75 \cdot 3,2^2}{40,6} = 0,052 \text{ м/с}$$

$$W_{d2-15} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^5)^2 \cdot 4,25 \cdot 10^{-6}}{40,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,118 \cdot 4,25 \cdot 3,2^2}{40,6} = 0,12 \text{ м/с}$$

$$W_{d15-30} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^5)^2 \cdot 11,25 \cdot 10^{-6}}{40,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,118 \cdot 11,25 \cdot 3,2^2}{40,6} = 0,33 \text{ м/с}$$

$$W_{д30} = 0,118 \cdot 10^{-10} \cdot \frac{(3,2 \cdot 10^5)^2 \cdot 65 \cdot 10^{-6}}{40,6 \cdot 10^{-6}} = \frac{0,118 \cdot 65 \cdot 3,2^2}{40,6} = 0,6 \text{ м/с}$$

Фракционный коэффициент очистки равен:

$$a^{-M} = \frac{1}{a^M}$$

$$\eta_1 = 1 - e^{-27 \cdot 0,01} = 1 - 2,7^{-0,27} = 0,23$$

$$\eta_{1-2} = 1 - e^{-27 \cdot 0,052} = 0,75$$

$$\eta_{2-15} = 1 - e^{-27 \cdot 0,12} = 0,96$$

$$\eta_{15-30} = 1 - e^{-27 \cdot 0,33} = 0,99$$

$$\eta_{30} = 1 - e^{-27 \cdot 0,6} = 12,7^{-32,8} = 1$$

$$\eta = \frac{0,23 \cdot 3 + 0,75 \cdot 5 + 0,96 \cdot 80 + 0,9 \cdot 7 + 1 \cdot 5}{100} = 46\%$$

Выход из полей электрофильтра 540 мг/м³

Коэффициент c_5 , учитывающий требования к качеству очистки, оценивается по концентрации пыли в очищенном газе. При концентрации пыли в отходящих газах 150 мг/м³ $c_5 = 1,2$

$$q = 1,7 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,7 \cdot 1,2 = 1,7 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{мин}$$

Фильтрующая поверхность аппарата:

$$F_{\phi} = \frac{V_{\pi}}{60q} = \frac{664000}{102} = 6459 \text{ м}^2$$

Степень очистки

$$n = \frac{n_{\text{вх}} - n_{\text{вых}}}{n_{\text{вх}}} = \frac{10 - 0,15}{10} = 0,985\%$$

Расчёт и сравнение итоговые

1. Суммарное количество твердых частиц [32] (летучей золы и несгоревшего топлива) $M_{\text{ТВ}}$, поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов (г/с, т), вычисляют по формуле:

$$M_{\text{ТВ}} = 0,01B \left(a_{\text{ун}} \cdot A^r + q_4 \frac{Q_{\text{H}}^r}{32,68} \right) (1 - \eta), \quad (23)$$

где B – расход топлива, г/с (т);

A^r – зольность топлива на рабочую массу, %;

$a_{\text{ун}}$ – доля золы, уносимой газами из котла (доля золы топлива в уносе);

η – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях, с учетом залповых выбросов (в расчете не учитывается влияние сероулавливающих установок);

q_4 – потери тепла при механической неполноте сгорания топлива, %;

Q_{H}^r – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

32,68 – теплота сгорания углерода, МДж/кг.

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02BS^r(1 - n_{\text{SO}_2}') \cdot (1 - n_{\text{SO}_2}'') = 25000 \cdot 0,02 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 1 = 315 \text{ г/с}$$

Суммарное количество твердых частиц при ГОУ ВТИ:

$$M_{\text{ТВ}} = 0,01 \cdot 25000 \left(0,8 \cdot 23 + 0,3 \cdot \frac{15,8}{32,68} \right) \cdot (1 - 0,8) = 927,5 \text{ г/с} = 3,3 \text{ т/ч}$$

Суммарное количество твердых частиц при ГОУ комбинированный ЭГВМ:

$$M_{\text{ТВ}} = 0,01 \cdot 25000 \left(0,8 \cdot 23 + 0,4 \cdot \frac{15,8}{32,68} \right) (1 - 0,985) = 13,34 \text{ г/с}$$

Суммарное количество твердых частиц при ГОУ ФРИА

$$M_{\text{ТВ}} = 0,01 \cdot 25000 \left(0,8 \cdot 23 + 0,4 \cdot \frac{15,8}{32,68} \right) (1 - 0,997) = 2,7 \text{ г/с}$$

Суммарное количество твердых частиц при ГОУ электрофилт্রে ЭГВМ

$$M_{\text{ТВ}} = 0,01 \cdot 25000 \left(0,8 \cdot 23 + 0,4 \cdot \frac{15,8}{32,68} \right) (1 - 0,98) = 17,8 \text{ г/с}$$

5 Нормативно-правовая база

Принцип отраженный в Гражданском кодексе РФ, виновник причинивший вред обязан его возместить путем устранения вреда или в денежном эквиваленте, так же отражен и в эколого-правовых отношениях, связанных с причинением экологического вреда, в Законе "Об охране окружающей среды".

Вред, нанесённый экологии, последствия, выражены и оценены с точки зрения денежного эквивалента. Окружающая среда представляется как материальный объект, которому наносится вред, влияющий на её качество, воздушные и водные процессы которые влияют на жизнь живых существ и микроорганизмов. Обычно негативное влияние, это длительный процесс, который визуально можно определить только по истечении длительного времени.

Вред, наносимый окружающей среде может быть правомерным, т.е. согласно норм утверждённым СанПиНом. Данные нормы подразумевают минимальное воздействия вреда на окружающую среду. Так же существуют и нарушения природоохранительного законодательства, в связи с которым возникает юридическая ответственность лица, совершающего неправомерные действия, в следствии которых наступает ответственность согласно Закона «Об охране окружающей природной среды».

Экологический вред – это действия последствия которых привели к ухудшению процессов окружающей среды и жизнедеятельности человека, которые были осуществлены с нарушением допустимых экологических норм.

Экологический вред приводит к нарушению естественных процессов в природе. Нанесенный экологический вред невозможно восполнить в денежном эквиваленте в полном объеме. В связи с этим финансовая оценка дается только восполнимому вреду.

Экологический контроль – это определенный вид деятельности государственных и общественных органов по наблюдению за состоянием

окружающей природной среды, ее изменениями под влиянием хозяйственной и иной деятельности, проверке выполнения планов и мероприятий по охране природы, рациональному использованию природных ресурсов, оздоровлению природы, соблюдению требований природоохранного законодательства и нормативов качества окружающей природной среды. Регулирование природоохранных взаимоотношений состоит из 4х уровней :

- законы;
- правовые нормативные акты;
- нормативные акты министерств и ведомств;
- нормативные решения органов местного самоуправления.

Ключевым экологическим законом России является Закон «Об охране ОПС». В его 15 разделах отражены основные вопросы взаимодействия человека с природой на территории РФ. Из 94 статей Закона главные положения явились основой для других нормативных природоохранных актов. Задачи, принципы и основные объекты охраны природы сформулированы в 1 разделе Закона. Компетенция государственных органов в экологической области определена в нескольких статьях 1-го раздела Закона. Эти статьи являются основой для построения системы управления охраной природы в России. Право граждан на здоровую и благоприятную ОПС закреплено во 2-м разделе Закона. Экономический механизм охраны среды – 3-ий раздел Закона. В нем раскрывается принцип платности за природопользование и загрязнение среды. Размеры оплат отличаются в несколько раз для разрешительных (в пределах лимитов) объемов природопользования (или загрязнения) и сверхлимитных. При нанесении ущерба среде плата не освобождает природопользователя от обязанности восстановления нарушенного объекта. Важное место в экономическом механизме охраны среды имеет ст. 18, которая устанавливает, что любой природопользователь обязан заключить договор с исполнительным органом власти на предполагаемую хозяйственную или иную деятельность. Договор заключается на основе экологической экспертизы и лицензии

(разрешения) на комплексное природопользование. Договор устанавливает порядок использования ресурсов, права и обязанности природопользователя, ответственность сторон, размеры платежей, порядок компенсации ущерба, организацию санитарно-защитных зон и пр. Лицензия, выдаваемая специально уполномоченными государственными органами, устанавливает лимиты на использование природных ресурсов и загрязнения среды, фиксирует экологические требования. Несмотря на некоторую неопределенность в порядке введения договоров на природопользование, во взаимодействии ветвей власти и государственных органов надзора при использовании, эта статья Закона может играть решающую роль в переходе природопользователей к малоотходным и ресурсосберегающим технологиям, к бережному отношению к природе.

Средства, получаемые за природопользование, согласно Закону, аккумулируются на счетах внебюджетных экологических фондов и реализуются на природоохранные цели в следующей пропорции:

- 10 % – перечисляются в федеральный фонд;
- 30 % – в областной (краевой, республиканский) фонд;
- 60 % – в местный (городской, районный) фонд.

Нормирование качества ОПС и порядок государственной экологической экспертизы, установленные в разделах 4 и 5, позволяют обеспечить государственное воздействие на природопользователей. Уровни предельно допустимых воздействий на ОС по всем их видам должны утверждаться специально уполномоченными органами РФ в области охраны среды и санитарноэпидемиологического надзора. Эти же органы могут выдавать предписания на ограничение деятельности природопользователя при нарушении им установленных экологических нормативов. Это безусловно важный рычаг воздействия на природопользователей, введение которого в жизнь диктуется отсутствием должного набора нормативных актов, определяющих порядок применения санкций к природопользователям. Перед заключением договора на природопользование должна проводиться государственная экспертиза, выводы

которой обязательны как при заключении договора и определении его условий, так и при применении экономических и иных санкций к природопользователю. В Законе предусматривается и общественная экологическая экспертиза, выводы которой становятся юридически обязательными, если они утверждены органами госэкспертизы.

Экологические требования к предприятиям, сооружениям и иным объектам сформулированы в 6-7 разделах Закона. Они обязаны как при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в строй, так и при эксплуатации объектов. Эти требования учитывают при составлении договоров на природопользование, при отработке ведомственных нормативных документов, в том числе строительных норм и правил (СНиП), норм технологического проектирования (НТП, ВСН), ведомственных норм технологического проектирования (ВНТП) и др. Только после приведения этих документов в соответствие с положениями Закона можно говорить об единой комплексной программе экологизации хозяйственной деятельности. В ряде СНиПов вопросы экологии полностью отсутствовали (2.01-82 «Строительная климатология и геофизика», 3.05.05-84 «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы» и др.). В некоторых они сформулированы так, что не имеют юридической силы. Порядок действий в чрезвычайных экологических ситуациях и на особо охраняемых природных территориях узаконены в 8-9 разделах. Зоны чрезвычайной экологической ситуации, экологического бедствия устанавливают высшие органы власти РФ по представлению специально уполномоченных государственных органов. По их же представлению образуются и государственные заповедники, заказники, национальные парки, на чьих территориях запрещается хозяйственная и иная деятельность, противоречащая целям их создания. Особо выделены в Законе курортные и лечебно-оздоровительные зоны, в которых введены округа санитарной охраны и которые рассматриваются как особо охраняемые территории вокруг городов и поселков. Экологический контроль согласно Закону (раздел 10) является системным и состоит из государственного,

производственного и общественного. Государственный контроль должен осуществляться как органами власти, так и специально уполномоченными органами. Порядок разрешения споров в области ООС устанавливается в 12 разделе Закона.

Ответственность за экологические нарушения (раздел 13 Закона) подразделена на дисциплинарную, административную, материальную и уголовную – для физических и юридических лиц; административную и гражданско-правовую - для учреждений, предприятий и организаций. Порядок возмещения вреда, причиненного экологическим правонарушением, предписан разделом Закона. Несмотря на юридическую четкость положений Закона об экологических правонарушениях, они, к сожалению, пока не привели к коренному улучшению защиты среды от посягательств на нее. Требуются многочисленные подзаконные и нормативные акты. Нужны их исполнители. Экологическим нарушениям должна быть посвящена отдельная глава Уголовного Кодекса РФ. в которой необходимо сформулировать общие и частные нормы по этим правонарушениям, установить виды ответственности. Отдельный раздел Закона (раздел 15) посвящен международному сотрудничеству в области охраны среды. Закон об охране природной окружающей среды России дает основания для создания цельной системы природоохранного законодательства.

Механизм (процедура) защиты прав лиц при причинении им экологического вреда:

– страхование ответственности предприятия за вред, причиненный: собственнику природного объекта загрязнением этого объекта (имущественное страхование); - здоровью и имущественным интересам физических и юридических лиц вследствие негативного воздействия загрязненных природных объектов (экологическое страхование);

- обращение собственника природного объекта к предприятию загрязнителю с требованием возместить вред, причиненный загрязнением природного объекта;
- обращение физических или юридических лиц к собственнику природного объекта с требованием о возмещении вреда, причиненного им загрязненным природным объектом;
- обращение физических или юридических лиц к специально уполномоченным органам в области охраны окружающей среды или природоохранную прокуратуру с просьбой о защите их нарушенных прав (если они ранее не обращались к собственнику загрязненного объекта или предприятию-загрязнителю);
- обращение в суд с иском к предприятию-загрязнителю или к собственнику природного ресурса;
- обращение специально уполномоченных органов или природоохранных органов в суд для защиты прав физических и юридических лиц.

Вред, нанесенный окружающей среде, оценивается на основе фактически установленного, инструментально измеренного и документально подтвержденного негативного воздействия на окружающую среду.

Величина компенсации ущерба, наносимого негативным воздействием на окружающую среду, определяется как сумма ущербов, причиненных различным природным ресурсам, но может быть определена и по одному из них.

Исчисление ущерба и убытков осуществляется на основании действующей нормативно-методической документации, кадастровой оценки природных ресурсов, а также такс для исчисления размера взыскания за ущерб фауне и флоре. При возможности используются методы прямого счета.

Формы возмещения вреда. Возмещение вреда потерпевшей стороне может осуществляться в натуральной и стоимостной формах за счет собственных

средств виновника или со счетов страховых организаций, осуществляющих экологическое страхование.

К натуральным формам возмещения относятся меры:

- по восстановлению эквивалента утраченного количества и качества природного ресурса;
- предоставлению равноценного природного ресурса взамен утраченного или выведенного из хозяйственного оборота;
- восстановлению природного ресурса до исходного состояния на момент нанесения вреда;
- выделению заменяющих объектов, материалов, технологических процессов, оборудования и т. д.;
- строительству за счет виновной стороны и передаче потерпевшей стороне сооружений и объектов по воспроизводству и восстановлению утраченного.

При натуральной форме возмещения вреда подписываются соответствующие соглашения и договоры, регламентирующие порядок, условия, сроки и объемы компенсационной передачи потерпевшей стороне эквивалента либо адекватного возмещения природного ресурса, утраченного вследствие нанесенного вреда, определенных действий или бездействия.

К стоимостным формам возмещения вреда относятся:

- предоставление финансовых средств для восстановления нарушенного состояния окружающей среды до исходного к моменту нанесения вреда уровню;
- финансирование мероприятий по воспроизводству природных ресурсов;
- финансовое обеспечение мер по возмещению вреда, включая упущенную в связи с этим потерпевшей стороной выгоду;
- компенсация иных дополнительных затрат в связи с восстановлением природного ресурса и народнохозяйственной продукции.

Экологический вред человеку связанный с потерей здоровья и невозможностью его восстановления, со смертью человека, с образованием дефектов в его генетической программе, не оценивается в каких-либо эквивалентах и остается тем бременем, которое несет общество.

При определении величины вреда здоровью граждан учитываются:

- степень утраты трудоспособности потерпевшего;
- затраты на лечение и восстановление здоровья;
- затраты на уход за больным;
- затраты, связанные с необходимостью изменения места жительства и образа жизни, профессии;
- потери, связанные с моральными травмами, невозможностью иметь детей или риском рождения детей с врожденной патологией;
- иные расходы, в том числе упущенные профессиональные возможности.

5. 1 Охрана окружающей среды

Для соблюдения санитарно-гигиенических норм на предприятии, от вредных воздействий механизмов и процессов переработки сырья при изготовлении готовой продукции, на предприятиях создаётся экологический отдел. Отдел контролирует вредные воздействия на окружающую среду на территории всей станции, а так же за её пределами в районе установленным нормами для данного предприятия. Для проведения инструментальных замеров в структуре предприятия создаётся лаборатория которая осуществляет следующие действия:

1. Выполняет контроль не нарушения природоохранного законодательства, а так же выполнения предписаний контролирующих органов и мероприятий установленных для производства в целом.

2. Осуществляет инструментальный контроль атмосферного воздуха на территории предприятия.
3. Осуществляет проверку эффективности работы газоочистных и пылеулавливающих установок на предприятии.
4. Формирует требуемую отчетность для надзорных органов..
6. Контролирует количество разовых и годовых выбросов.
7. Разрабатывает нормы ПДВ и согласовывает их с надзорными органами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предприятие ГРЭС расположенное в Республике Бурятия является основным производителем электроэнергии республики. Электроэнергия экспортируется в Монголию -200 млн квт/часов. На ГРЭС существуют как и инновационные внедрения, так и технологии требующие модернизации оборудования или применения совершенно нового НДТ. Особое внимание следует уделить некоторым идеям, которые планируются применить на ГРЭС.

1. Например использования тепла водообменника для отопления тепличного комплекса. Это поможет снизить влияния теплой воды на микроклимат озера.

2. Часть котельного оборудования было модернизировано АО «Сибэнергомаш» с типа БКЗ на ЕП на 4 энергоблоке.

Данная модернизация привела к увеличению КПД при сжигании угля и дожёг элементов в отходящих газах. Это очень актуально, так как используется бурый уголь. Запасы угля в Забайкалье составляют сотни миллионов тонн. Потребление станцией около 4,5 миллионов тонн в год. Исходя из огромнейших запасов которых хватит на ближайшие 100 лет, работы по экологичности предприятия, а так же инновации систем сжигания очень актуальны.

На данный момент основными проблемами на ГРЭС с загрязнением экологии являются:

- золоотвалы (ежегодно 410 тыс. т.);
- угольная пыль, зола;
- микроклимат водного бассейна.

В 2013 году на ГРЭС было установлено оборудование фирмы Claudius Peters Group которое позволяет производить сухой отбор и удаление золы на 5 и 6 энергоблоке. Данная технология позволила использовать золу как вторичное сырье для строительства дорог и цементной промышленности.

Еще одна проблема это открытая площадка хранения угля, а так же содержания твердых частиц в отходящих газах 3,5 тонны в час с одной только котельной установки из 6 имеющихся на станции. Совместно угольная пыль и зола составляют фон опасный для здоровья человека и других живых организмов.

3. Современное оборудование ГОУ по типу комбинированный фильтр или электрофильтр, позволит снизить фоновый выброс из труб в 13 раз, а крытый склад с системой орошения существенно уменьшит унос угольной пыли на местности. На данный момент ГОУ модернизированы новыми российскими и зарубежными разработками. Это совершенно новые агрегаты питания, иглопробивное полотно и другие комплектующие. Современное оборудование для механической обработки металла позволяет производить более качественные основные компоненты электрофильтра, которые влияют на эффективность. Новое программное обеспечение даёт возможность смоделировать газовые потоки и процессы в аппаратах ГОУ, котельных установках и заранее спрогнозировать поведение частиц в газовых потоках. В данной работе предложено решение по улавливанию твердых частиц, с помощью комбинированного электрофильтра. Первые два поля стандартные с осадительными и коронирующими элементами, которые возьмут на себя все основную нагрузку и механическую защиту. Вторые два поля комплектуются рукавами для более тонкой очистки. Дополнить электрофильтр сухим распыление соды на выходе газов из котла $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{CO}_2$ для получения процесса десульфуризации. Применение извести не рекомендуется, так как дополнительно из реакции будет выделяться влага. Известна установка сухой очистки отходящих газов электролитического производства алюминия, разработанная ОАО «СибВАМИ», на базе абсорбирующего вещества глинозём.

Использование улавливание серы в рукавных аппаратах так же подтверждается исследовательскими работами СФУ [22] В связи с выше изложенным, считаю что разработка технологии улавливания серы на

предприятиях энергетики, сухим способом может быть реализована на базе полученного опыта на цветной промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беликов, С. Е. Котлы тепловых электростанций и защита атмосферы : учебное пособие / С.Е. Беликов, В. Р. Котлер. – Москва : «Аква-Терм», 2008. – 212с.
2. Богданович, Н. И. Экология Северных территорий: монография / Н. И. Богданович, Н. А. Кутакова, Н. А. Макаревич, Е. А. Лагунова. – Архангельск : САФУ им. М. В. Ломоносова, 2014. – 312 с.
3. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки : учебное пособие / – А.Г. Ветошкин. – Пенза : Изд-во Пензенского государственного университета, 2005. – 210 с.
4. Жабо, В. В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС : учебник для техникумов. – Москва : Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.
5. Кулагина, Т. А. Технологические процессы и загрязняющие выбросы : учебное пособие / Т. А. Кулагина, И. В. Андруняк, Д. А. Кашин. – Красноярск : СФУ, 2012. – 88 с.
6. Козлова, С.А. Оборудование для очистки газов промышленных печей : курс лекций / С.А. Козлова, И.М. Шалаев, О.В. Раева, А.В. Киселев. Красноярск : СФУ, 2007. – 156 с.
7. Муратова, Е.И. Введение в специальность: учебное пособие / Е. И. Муратова, А. М. Климов А.М. Тамбов : Тамб. гос. техн. ун-т, 2004. – 64 с.
8. Репина, М. Г. Правоведение : учебник / М. Г. Репина. Москва : 2-е изд. испр. и доп., 2009 – 314 с.
9. Санаев Ю. И. Обеспыливание газов электрофильтрами: пособие / Ю. И. Санаев. – Ярославль, 2009 – 163 с.
10. Сторожев, Ю.И. Расчеты пылеулавливающих аппаратов промышленных печей : методические указания / Ю. И. Сторожев, О. В. Раева, С. А. Козлова, И. М. Шалаев. – Красноярск : СФУ, 2007 – 36 с.

11. Стрекалова, В.А. Процессы и аппараты защиты атмосферы : учебное пособие / В. А. Стрекалова, Т. А. Стрекалова, Д. Ю. Егорихина. – Красноярск : СФУ, 2008 – 119с.
12. Ужов В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами: научное изд. / В. Н. Ужов – Москва: Химия, 1967. – 340 с.
13. Фролов, К.В. Машиностроение. Котельные установки. Т. IV-18. / под ред. Ю.С. Васильева, Г.П. Поршнева. Москва : Машиностроение, 2009. – 400 с
14. Харченко, С.П. Реализация технологических процессов на ТЭС : учебное пособие / С.П. Харченко, А.К. Кинжибекова. – Павлодар : 2005. – 275 с.
15. Шницер, И.Н. Технология сжигания топлива в пылеугольных котлах / И.Н. Шницер. – СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербург, 1994. – 284 с
16. Инженерная экология и экологический менеджмент : учебник / под ред. Иванова Н. И., Фадына И. М. Москва : Логос, 2-е издание перераб. и доп. 2011. – 518 с.
17. Экология энергетики : учебное пособие / Под общей редакцией В. Я. Путилова. Москва : Издательство МЭИ, 2003. – 716 с.
18. Зыков, А. М. Золоулавливание на ТЭС // А. М. Зыков, В. В. Новик, М. Б. Хожегелев // Современные природоохранные технологии в электроэнергетике. – 2007 – С. 38-58.
19. Соболев А. А. Гусиноозерская ГРЭС. Цех тепловой автоматики и измерения // А. А. Соболев // Сборник трудов XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск, 2014 – Т. 1. – С. 382-383.
20. СТО 4.2– 07–2014. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – 60 с.
21. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : федеральный закон Российской Федерации от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) //

Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>

22. Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс] : федер. закон от 04.05.1999 N 96-ФЗ ред. от 13.07.2015 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

23. Курпас, А. С. Реконструкция газоочистных сооружений для корпуса электролиза ОАО «КРАЗ» // Молодёжь и наука: Сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 50-летию первого полета человека в космос [Электронный ресурс] : — Красноярск: СФУ, 2011. — Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section21.html>.

24. Гусиноозёрская ГРЭС // Группа компаний АО «Интер РАО – Электрогенерация» [сайт]. – Москва, 2015. – Режим доступа: <http://iraogeneration.ru>.

25. РД 34.02.305-98 Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС [Электронный ресурс] : руководящий документ Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 19 января 1998 г. N 02-12/30-15 // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

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

Политехнический институт
«Инженерная экология и безопасность жизнедеятельности»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Т. А. Кулагина


подпись
« 25 »

06 2018 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

20.03.01 «Техносферная безопасность»

«Усовершенствование системы золоулавливания отходящих
газов на угольной ГРЭС»

Пояснительная записка

Руководитель


подпись, дата

канд. техн. наук

Л. В. Кулагина

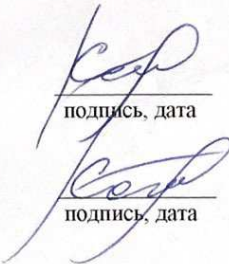
Выпускник

подпись, дата

И. Л. Чекалов

Консультанты по разделам:

Консультант по
нормативно-правовой базе


подпись, дата

С. В. Комонов

инициалы, фамилия

Нормоконтроль

подпись, дата

С. В. Комонов

инициалы, фамилия

Красноярск 2018