

Министерство образования и науки Российской Федерации
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»

«Модернизация системы очистки отходящих газов на ТЭЦ»

Пояснительная записка

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

Выпускник _____ Н. В. Чекалова
подпись, дата

Консультанты по разделам:

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

Нормоконтроль _____ С. В. Комонов
подпись, дата

Красноярск 2018

Министерство образования и науки Российской Федерации
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: Чекаловой Наталье Владимировне

Группа ЗФЭ 13-02Б Направление (специальность) 20.03.01
«Техносферная безопасность»

Тема выпускной квалификационной работы: «Модернизация системы
очистки отходящих газов на ТЭЦ»

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

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

Исходные данные для ВКР: нормативная документация, опросный лист,
учебная литература, справочная литература

Перечень разделов ВКР: введение, общие сведения о предприятии,
оценка воздействия предприятия на атмосферу, анализ внедряемой системы
очистки, расчет электрофильтра, нормативно-правовая база, заключение,
список использованных источников.

Перечень графического и иллюстрационного материала с указанием
основных чертежей, плакатов:

Лист 1: Карта-схема ТЭЦ (вид сверху);

Лист 2: Технологическая схема ТЭЦ;

Лист 3: Таблица «Опросный лист»;

Лист 4: Электрофильр ЭГВ-М2;

Лист 5: Таблица «Сравнительная характеристика золоулавливающего оборудования до и после мероприятия»;

Руководитель

подпись

Л. В. Кулагина

Задание принял к исполнению

подпись

Н. В. Чекалова

« » _____ 2018 г.

КАЛЕНДАРНЫЙ ГРАФИК

выполнения ВКР

Наименование и содержание этапа	Срок выполнения
Сбор и анализ исходной литературы и документации	03.06.2018 – 06.06.2018
Постановка основной задачи, освоение расчетных методик	07.06.2018 – 10.06.2018
Выполнение расчетов, оформление результатов, составление выводов	11.06.2018 – 14.06.2018
Работа над нормативно-правовой базой, оформление расчетно-пояснительной записки	15.06.2018 – 17.06.2018
Графическое оформление чертежей	18.05.2018 – 21.06.2018
Оформление прочей документации	22.06.2018 – 24.06.2018

«03» июня 2018 г.

Руководитель

подпись

Л. В. Кулагина

Задание принял к исполнению

подпись

Н. В. Чекалова

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Модернизация системы очистки отходящих газов на ТЭЦ» содержит 79 страниц, включает 17 таблиц, 11 рисунков, 33 литературных источников и 6 листов графического материала.

Ключевые слова: МОДЕРНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРОФИЛЬТР, ТОПЛИВО, ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, ПЫЛЬ НЕОРГАНИЧЕСКАЯ, ПДК, СИСТЕМА ГАЗООЧИСТКИ.

Целью работы является модернизация системы очистки отходящих газов от котлов ПК-10ш2 на ТЭЦ

В результате выполнения ВКР были рассмотрены краткие физико-географические и природно-климатические характеристики месторасположения ТЭЦ, изучена общая характеристика предприятия, выявлены его основные загрязняющие выбросы в атмосферу. Произведена оценка степени очистки отходящих газов существующими золоулавливающими установками.

В качестве мероприятий по снижению взвешенных частиц пыли рассмотрено замена существующего газоочистного оборудования на более современный электрофильтр очистки дымовых газов от КА ст. на ТЭЦ, произведен расчет нового аппарата. Произведен расчет выбросов твердых загрязняющих веществ до и после проведенных мероприятий по модернизации ГОУ.

В результате предложенного решения модернизации существующего газоочистного оборудования, происходит сокращение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу теплоэлектростанцией.

АННОТАЦИЯ

Бакалаврская работа на тему: «Модернизация системы очистки отходящих газов на ТЭЦ» ВКР выполнена на 79 страницах, включает 17 таблиц, 11 рисунков, 6 графических материалов и 33 литературных источника. Объектом исследования является предприятие ТЭС.

Целью работы является модернизация системы очистки отходящих газов от котлов ПК-10ш2 на ТЭЦ.

Во введении раскрывается актуальность бакалаврской работы по выбранному направлению, ставится проблема, цель и задачи.

В первой главе даны общие сведения о предприятии и краткие физико-географические и природно-климатические характеристики месторасположения.

Во второй главе произведена оценка воздействия предприятия на атмосферу. Рассмотрено газоочистное оборудование ТЭЦ.

В третьей главе проведен анализ внедряемого оборудования, представлены общие сведения об электрофильтрах, дана краткая классификация.

В четвертой главе произведен расчет и подбор необходимого электрофильтра, выполнен расчет выбросов загрязняющих веществ (пыли) до и после проведенных мероприятий по модернизации ГОУ.

В пятой главе представлена нормативно–правовая база законов, устанавливающие правовые основы охраны атмосферного воздуха,

В результате выполнения бакалаврской работы был рассмотрен технологический процесс производства, выявлены основные источники воздействия на окружающую среду и организм человека, проведен расчет золоулавливающего оборудования с требуемой степенью очистки отходящих газов.

В заключении сформулированы выводы по выпускной бакалаврской работе.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Общие сведения о предприятии	10
1.1 Краткие физико-географические и природно-климатические характеристики	10
1.2 Общая характеристика предприятия	14
1.3 Краткое описание котла ПК-10Ш2 и вспомогательного оборудования	19
2 Оценка воздействия предприятия на атмосферу	24
2.1 Топливо, как источник загрязнения атмосферы	24
2.2 Загрязняющие вещества, выделяемые предприятием в окружающую среду	26
2.3 Характеристика очистного оборудования на ТЭЦ	30
3 Анализ внедряемой системы очистки	34
3.1 Общие сведения об электрофильтрах	35
3.2 Классификация и краткая характеристика электрофильтров	38
3.3 Техническая характеристика внедряемого оборудования	40
3.3.1 Механическое оборудование электрофильтра	43
4 Расчет электрофильтра типа ЭГВ-М2	52
4.1 Расчет выбросов твердых частиц ТЭЦ	64
5 Нормативно–правовая база	67
Заключение	75
Список используемых источников	76

ВВЕДЕНИЕ

Атмосферный воздух является одним из основных жизненно важных компонентов окружающей природной среды. Загрязненный воздух отрицательно влияет на капитальные здания и сооружения, различные конструкции и металлоизделия, оказывает вредное воздействие на погоду, климат, животный и растительный мир и здоровье населения. Загрязнение атмосферного воздуха в г. Красноярск различными газообразными и пылеобразными веществами характеризуется, как «очень высокий» – комплексный индекс уровня загрязнения ИЗА 5 составил 23,75 (>14). Также происходит уменьшение удельного веса кислорода в воздухе, вследствие его бесконтрольного сжигания.

Актуальность темы обусловлена высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха, выбросами загрязняющих веществ в результате производственного процесса ТЭЦ.

Целью работы является модернизация системы очистки отходящих газов от котлов ПК-10ш2 ст. № 15, 16 на ТЭЦ.

Задачи дипломной работы:

- изучение общей характеристики предприятия и технологического процесса;
- определение основных загрязняющих веществ выбрасываемых в атмосферу;
- оценить степень очистки отходящих газов существующими золоулавливающими установками;
- рассчитать и подобрать новое оборудование, с более высокой степенью газа от взвешенных частиц пыли;
- произвести расчет выбросов загрязняющих веществ (пыли) до и после проведенных мероприятий по модернизации ГОУ.

Количество и виды загрязняющих вредных веществ, поступающих в атмосферу от промышленного предприятия, зависят от технологических процессов производства.

Защита атмосферного воздуха от поступающих в него вредных веществ является одной из сложнейших задач. Так как полностью исключить выбросы загрязняющих веществ в окружающее пространство невозможно, поэтому перед выбросом промышленных газов в окружающую среду необходимо производить их очистку, чтобы свести к минимуму поступление вредных веществ в атмосферу.

1 Общие сведения о предприятии

1.1 Краткие физико-географические и природно-климатические характеристики

ТЭЦ имеет две промышленные площадки: основную и гидрозолоотвал. Основная промплощадка расположена в составе правобережного юго-восточного промузла в юго-восточной части г. Красноярск.

Золоотвал размещен в 4 км, восточнее промышленной площадки ТЭЦ, в юго-восточной части г. Красноярск (район пос. Березовка).

Общая площадь территории, которую занимает производственные, административные и другие сооружения ТЭЦ, составляет 167 га.

Электростанция работает как в теплофикационном режиме, так и в режиме комбинированной выработки тепла и электроэнергии.

На уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Красноярске наибольшее влияние оказывают метеорологические условия и рельеф местности, которые определяют рассеивающую способность атмосферы.

Город Красноярск расположен на обоих берегах реки Енисей в среднем течении его на стыке трех геоморфологических районов: долина реки Енисей, прилегающие к долине плато, предгорья Восточного Саяна.

Основные водные объекты на территории г. Красноярска – река Енисей, его притоками являются реки Базаиха, Березовка и Кача. Река Енисей в черте г. Красноярска протекает с запада на восток.

Реки Березовка, Базаиха и Кача, – малые реки, которые впадают в реку Енисей в черте города. Используются в хозяйственных целях.

Климатические характеристики приводятся по метеостанции Красноярск.

Температурный режим. По многолетним данным среднегодовая температура воздуха в г. Красноярске составляет 0,5°С [5, 28]. Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца (января) составляет -16,5°С. Средняя температура воздуха наиболее жаркого месяца (июля) составляет

24,4°C. Минимальная температура воздуха наиболее холодного месяца (января) составляет -55,0°C. Максимальная температура воздуха наиболее жаркого месяца (июля) составляет 40,0°C.

Продолжительность безморозного периода в лесостепной (предгорье) и степной (долина р. Енисея) зонах составляет 100-120 дней, в горной области колеблется от 60 до 110 дней [5, 28].

Осадки. Режим осадков оказывает существенное влияние на самоочищающую способность атмосферы.

При этом наиболее интенсивно вымываются из атмосферы твердые примеси. Из газообразных веществ заметно снижаются концентрации сернистого газа. Содержание оксидов азота и углерода изменяется незначительно

По многолетним данным годовое количество осадков составляет 316 мм. Разность годовых сумм осадков в отдельные годы может достигать 300 мм [22,28].

Наименьшее месячное количество (4-6 мм) наблюдается в феврале-марте. Максимум отмечается в июле – 68 мм. Наиболее благоприятные условия для вымывания примесей осадками в г. Красноярске происходит в летний. В это время года месячные суммы осадков достигают максимальных значений – 58-64 мм (табл. 1).

Таблица 1 – Среднемесячное и годовое количество осадков, мм

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Среднее	12,6	6,1	7,4	20,4	25,8	64,0	63,0	58,1	46,0	21,1	19,1	18,5	362

В холодный период года, преимущественно осадки выпадают в твердом виде, в небольших количествах (с октября по март выпадает около 23% всех осадков за год), влияние их на уровень загрязнения атмосферного воздуха примесями незначительно.

Туманы. Активно влияют на уровень загрязнения воздуха. Капли тумана поглощают примесь не только вблизи подстилающей поверхности, но и из вышележащих слоев воздуха. Вследствие этого концентрация примеси сильно возрастает в слое тумана и уменьшается над ним. При взаимодействии с каплями тумана оксидов серы образуется серная кислота.

В г. Красноярске почти ежегодно наблюдается 10-11 дней с туманами, суммарная продолжительность которых составляет 53,3 часов. Наибольшая продолжительность туманов, как и наибольшее число дней с туманом, наблюдается при антициклональной погоде в холодный период года[5].

Образование туманов происходит, в основном, во вторую половину ночи и в утренние часы. В зимний период туманы наблюдаются в любое время суток с максимумом с 9 до 12 часов. Зимой при установлении антициклонального типа погоды туман образуется над незамерзающим Енисеем, в том числе в дневные часы. Замечено, что туман всегда образуется при штиле в сочетании с температурой воздуха ниже -28°C [22].

Продолжительность туманов в холодный период в несколько раз (до 5 раз) больше, чем в теплый период. Более 50% туманов имеют продолжительность не более 3 часов. Наибольшая повторяемость туманов отмечается в декабре – 32%, наименьшая – в апреле – 0,2% [5, 28].

Метеоусловия, характеризующие рассеивающую способность нижнего слоя атмосферы, определяются, прежде всего, скоростью ветра и состоянием устойчивости атмосферы. Немаловажную роль играет направление переноса примесей.

Ветровой режим. В среднем многолетнем разрезе над г. Красноярском преобладает общий перенос воздушных масс с юго-запада на северо-восток, что объясняется условиями орографии. Долина реки Енисей совпадает с преобладающим направлением ветра.

В повторяемости направлений ветра и штилей по 16 румбам, очевидно, что в течение года преобладают ветры трех румбов: западный – юго-западный; западный; западный – северо-западный [5, 28].

В зимние месяцы их суммарная повторяемость составляет 51-63%, в переходные периоды – 48-62%. Летом повторяемость ветра этих направлений также преобладает над остальными румбами, но в сумме составляет 35-38%. Летом прослеживается второй максимум – ветер восточных румбов. Суммарная повторяемость восточно – северо-восточного, восточного и восточно – юго-восточного румбов в летние месяцы – 21-24%.

Город со своими многочисленными большими и малыми постройками оказывает существенное влияние на скорость и направление ветра [5, 28].

Таблица 2 – Среднемесячная и среднегодовая скорости ветра, (м/с)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Среднее	4,0	3,5	4,0	4,9	4,6	3,4	2,5	2,7	2,9	3,9	4,8	3,5	3,7

Среднегодовая скорость ветра в г. Красноярске составляет по многолетним данным – 3,7 м/с. В годовом ходе средней скорости ветра наблюдается максимум – 4,9 м/с – в апреле. Наибольшие скорости ветра преимущественно приходятся на месяцы апрель, май, октябрь, ноябрь, с усиленной циклонической деятельностью (табл. 2) [5].

Минимум скорости ветра в годовом ходе наблюдаются на лето, когда преобладают процессы трансформации воздушных масс и ослабевает циклоническая деятельность. Скорость ветра достигает минимальных значений в июле и августе – 2,5-2,7 м/с. А наиболее часто в эти месяцы наблюдаются слабые ветры, скорость которых не превышает 0-1 м/с [5].

В зависимости от скорости ветра наблюдаются два максимума загрязнения воздуха примесями. При скоростях ветра 0-1 м/с, когда горизонтальный перенос ослаблен, а конвективного переноса оказывается недостаточно для выноса примесей, наблюдается рост концентраций загрязняющих веществ, поступающих от низких источников [28].

При ослаблении ветра до штиля происходит накопление примесей в атмосферном воздухе, но в тоже время значительно увеличивается подъем

перегретых выбросов в верхние слои атмосферы, где они рассеиваются. Если при этих условиях наблюдается инверсия, то может образоваться «потолок», препятствующий подъему выбросов. Тогда концентрация примесей у земли резко возрастает [5, 28].

Таблица 3 – Годовой ход повторяемости штилей, (%)

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Среднее	22	25	19	10	19	29	33	38	33	24	15	25	24

В годовом ходе повторяемости штилей первый максимум приходится на летние месяцы и сентябрь – 29-38%, второй максимум отмечается с декабря по февраль – 22-25%. Минимальная повторяемость приходится на апрель – 10 (табл. 3).

1.2 Общая характеристика предприятия

Основная деятельность теплоэлектростанции – обеспечение централизованным теплоснабжением промышленных предприятий и жилищно-коммунального территорий правобережной части г. Красноярска, а также покрытие электрических нагрузок системы. Тепловую энергию от станции в виде тепла и горячей воды получают крупные промышленные предприятия и более 400 тыс. жителей правобережья г. Красноярска.

Основное теплоэнергетическое оборудование паротурбинной теплоэлектростанции – *паровой котел и паровая турбина*.

В топке котлоагрегата происходит процесс сжигания твердого топлива с передачей выделенного при этом тепла питательной воде. Полученный в паровом котле перегретый пар высокого давления по паропроводам острого пара поступает в проточную часть турбины, где происходит превращение потенциальной энергии пара в кинетическую, а затем в механическую энергию

вращения ротора турбины. С турбиной связан электрический генератор, в котором механическая энергия превращается в электрическую [14].

Уголь по системе ленточных конвейеров поступает в бункера сырого угля, откуда питателями сырого угля подается в мельницы котла для измельчения и сушки, далее в пылевидном состоянии горячим воздухом, подаваемым дутьевыми вентиляторами, поступает в топку котла, где происходит его сжигание. При сжигании выделяется тепло, которое используется для получения водяного пара [7].

В процессе сжигания твердого топлива образуется минеральный остаток (зола, шлак).

Продукты горения после очистки в золоуловителях от твердых выбросов (летучей золы) удаляются из котла дымососами в дымовую трубу и далее в атмосферу. Шлак удаляется из котла шнековыми транспортерами. Уловленная в золоуловителях зола пневмотранспортной системой собирается в силосах сухой золы золопогрузочного участка для дальнейшего отгрузки потребителю. При отсутствии потребителя зола и шлак удаляются в канал гидрозолоудаления, и далее золошлаковая пульпа по трубопроводам направляется на золошлакоотвал [14].

Оборудование станции составляют:

- 4 котлоагрегата паропроизводительностью 230 тонн/час каждый;
- 9 котлоагрегатов паропроизводительностью 220 тонн/час;
- 4 котлоагрегата паропроизводительностью 270 тонн/час;
- 4 турбины мощностью 25 МВт каждая;
- 3 турбины мощностью 60 МВт;
- 1 турбина мощностью 87 МВт;
- 2 турбины мощностью 57 МВт.

Электростанция может работать как в теплофикационном режиме, так и в режиме комбинированной выработки тепла и электроэнергии. Тепловая мощность составляет 1677 Гкал/час. Установленная электрическая мощность станции – 481 Мвт [7].

Основными видами деятельности станции являются:

- производство пара и горячей воды (тепловой энергии);
- передача пара и горячей воды (тепловой энергии);
- распределение пара и горячей воды (тепловой энергии);
- распределение воды;
- удаление и обработка сточных вод;
- производство электрической энергии;
- продажа и покупка электрической энергии и мощности, пара и горячей воды (тепловой энергии) по установленным тарифам потребителям.

Котельный и турбинный цехи

Назначение котельного цеха – получение пара и горячей воды.

Назначение турбинного цеха – выработка электроэнергии, получаемой при расширении пара высокого давления в проточной части паровой турбины [7].

На Красноярской ТЭЦ установлено четыре энергетических котлоагрегата типа ПК-10ш, девять – типа ПК-10ш2, два котлоагрегата типа БКЗ-320-140ПТ2 и два – типа БКЗ-320-140ПТ5 суммарной паропроизводительностью 3980 т/ч и десять турбин (ст. №№3-6 типа ПТ-25-90/10, ст. №№7,8 типа ПТ-60-90/13, ст. №10 типа Р-85-8.8/0.2, ст. №№11,12 типа Р-57(100)-130/15) суммарной мощностью 481 МВт.

Котлы ПК-10ш ст. №№4-7, ПК-10ш2 ст. №№8-16, котел БКЗ-320-140ПТ2 ст. №18 с твердым шлакоудалением. Котлы БКЗ-320-140ПТ2 ст. №17 и БКЗ-320-140ПТ5 ст. №№19,20 с жидким шлакоудалением (табл. 4).

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха является дымовые трубы № 1, №2, №3 и №4.

Все действующие котлы подключены к четырем железобетонным одноствольным трубам:

- котлы ст. № 4-6 подключены к дымовой трубе № 1 высотой $H=105$ м, диаметр устья $D = 6,0$ м;

– котлы ст. №№ 7-10 подключены к дымовой трубе № 2 высотой $H=105$ м, диаметр устья $D = 6,0$ м.

– котлы ст. № 11-14 подключены к дымовой трубе № 3 высотой $H=120$ м, диаметр устья $D = 6,6$ м;

– котлы ст. №№ 15-20 подключены к дымовой трубе № 4 высотой $H=180$ м, диаметр устья $D = 7,6$ м.

Очистка дымовых газов от летучей золы осуществляется в батарейных золоуловителях типа БЦУ-125-672 (котлы ст. №№ 4,6), типа БЦУ-125-720 (котлы ст. №№7,8,9,14,), типа БЦ-4-205 (котлы ст. №№5,10,11,12,13,15,16), типа БЦУ-173-952 (котел ст. №20). Котлы ст. №№ 18,19 оснащены двухступенчатыми золоулавливающими установками: 1-я ступень – циклоны типа НИИОГАЗ, вторая ступень – БЦУ-173-952. На котле ст. №17 установлен 4-хпольный электрофильтр типа УГ-2-4-53.

Золопогрузочный участок

На ТЭЦ эксплуатируется установка по отпуску сухой золы потребителю (УОСЗ) (золопогрузочный участок). Установка предназначена для сбора, временного хранения и отпуска золы потребителю.

Сбор золы из бункеров золоуловителей котельных агрегатов и подача золы в силосы осуществляется пневмотранспортом системами. Накопление и временное хранение золы производится в шести силосах емкостью по 350 м^3 каждый, диаметром $5,5$ м. высотой 9 м. Отгрузка золы потребителю осуществляется в специализированные железнодорожные вагоны для перевозки сыпучих материалов. Процесс погрузки механизирован [14].

Для очистки отработанного воздуха пневмотранспортных систем подачи золы в силосы используется двухступенчатая пылеулавливающая установка. Первая ступень очистки – циклон НИИОГАЗ ЦН-15 диаметром 700 мм, вторая ступень – рукавный фильтр ФВК-90.

Таблица 4 – Характеристика котельного и золоулавливающего оборудования

№ котла	Тип котла	Производственная мощность, т пара/ ч	Шлакоудаление	Золоулавливающая установка	
				Тип	КПД, % факт
4	ПК-10ш	230	твердое	БЦУ-125-672	89
5	ПК-10ш	230	Твердое	БЦ-4-205	85
6	ПК-10ш	230	твердое	БЦУ-125-672	89
7	ПК-10ш	230	твердое	БЦУ-125-720	85
8	ПК-10ш2	220	твердое	БЦУ-125-720	89
9	ПК-10ш2	220	твердое	БЦУ-125-720	89
10	ПК-10ш2	220	твердое	БЦ-4-205	85
11	ПК-10ш2	220	твердое	БЦ-4-205	85
12	ПК-10ш2	220	твердое	БЦ-4-205	85
13	ПК-10ш2	220	твердое	БЦ-4-205	85
14	ПК-10ш2	220	твердое	БЦУ-125-720	89
15	ПК-10ш2	220	твердое	БЦ-4-205	85
16	ПК-10ш2	220	твердое	БЦ-4-205	85
17	БКЗ-320-140ПТ2	320	твердое	УГ-2-4-53	96
18	БКЗ-320-140ПТ2	320	твердое	ЦН-15 БЦУ-173-952	95
19	БКЗ-320-140ПТ5	320	жидкое	ЦН-15 БЦУ-173-952	95
20	БКЗ-320-140ПТ5	320	жидкое	БЦУ-173-952	94

1.3 Краткое описание котла ПК-10Ш2 и вспомогательного оборудования

Котел ПК-10Ш2 вертикальный водотрубный с естественной циркуляцией и с шахтными мельницами, полностью с экранированной топкой. Имеет двухступенчатую систему испарения и твердое шлакоудаление. Основные технические характеристики котла представлены в таблице 5.

Котел имеет по два барабана: основной и предвключенный. В предвключенном барабане происходит отделение пара от воды.

Таблица 5 – характеристики котла ПК-10Ш2 [23]

№ п/п	Наименование	Обозначение	Единица измерения	Значение
1	Паропроизводительность	$D_{пе}$	т/ч	220
2	Давление пара в барабане котла	$P_{бар}$	кгс/см ²	110
3	Давление перегретого пара	$P_{пе}$	кгс/см ²	100
4	Температура перегретого пара	$t_{пе}$	°С	540
5	Температура питательной воды	$t_{пв}$	°С	215
6	Температура уходящих газов	$t_{ух}$	°С	173
7	Часовой расход натурального топлива	$B_{н}$	т.н.т./ч	40
8	КПД котла брутто	$\eta_{кбр}$	%	89,58

Топливный и газо-воздушный тракты. Котельный агрегат ПК-10Ш2 оборудован четырьмя индивидуальными системами пылеприготовления, предназначенные для сушки и размолта топлива и транспорта его в пылевидном состоянии в топочно-горелочное устройство котлоагрегата. Система пылеприготовления имеет прямое вдувание.

Топливо подается в мельницу из бункера сырого угля с помощью питателя скребкового типа. В мельнице происходит размол и сушка угля. Сушка размолотого твердого топлива производится с помощью подогретого в

воздухоподогревателе воздуха. Выход пыли в топку осуществляется через амбразуру. Подача вторичного воздуха производится через трубу с завихрителями. На котле установлены горелки. Изменение потока вторичного воздуха осуществляется с помощью плосколопаточных осевых завихрителей. При изменении угла лопаток, в зависимости от нагрузки котла, можно регулировать местонахождение максимума температур в топочной камере и таким образом поддерживать необходимую оптимальную температуру перегретого пара [14].

Тягодутьевая установка состоит из дутьевых вентиляторов типа ВД-20 (2 шт.) и дымососов типа Д-20х2 (2 шт.) [23].

Характеристика вспомогательного оборудования котла ПК-10Ш2 приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Краткая характеристика вспомогательного оборудования котла ПК-10-2Ш [23]

№ п/п	Наименование показателя, ед. измерения	Дутьевые вентиляторы	Дымососы	Мельницы
1	Тип	ВД-20	Д-20х2	ММА-1500/1670
2	Производительность, м ³ /ч (т/ч)	122000	260000	13–15
3	Напор, кгс/м ²	710	400	–
4	Число оборотов, об/мин	735	735	740
5	Мощность электродвигателя, кВт	500	600	320
6	Напряжение, В	6000	6000	6000
7	Сила тока, А	59	70	41

Топка котла. Котел ПК-10Ш2 имеет однокамерную топку открытого типа. Вся топочная камера полностью экранирована трубами. В нижней части топочная камера образует холодную воронку. К этой воронке примыкают две

шлаковые ванны для непрерывного удалением шлака с помощью шнеков [14, 23].

Горелочные устройства. На фронтальной части топки расположены четыре прямооточные основные горелки и прикреплены к топке посредством установки сальникового компенсатора между основанием горелки и шахтой мельницы. Необходимо для компенсации тепловых перемещений в процессе растопки и исключения пыления [23].

Котел оборудован двумя муфельными горелками, установленными по обеим сторонам котла на высоте выхода пыли из амбразур. Угольная пыль в муфельные горелки подается из растопочных бункеров котла шнековыми питателями (по одному на горелку). Производительность пылепитателя 1,5–3 т/ч. Муфельные горелки крепятся к трубам чистых боковых экранов топки, тепловые перемещения компенсируются перемещением пылепроводов пылепитателей, корпуса муфельных горелок выполнены кирпичной кладкой, а экранные трубы для предотвращения износа защищены металлическими накладками и забетонированы [14, 23].

Пароперегреватель. Пароперегреватель вертикальный змеевикового типа состоит из двух ступеней. Первая ступень (по ходу пара) выполнена из труб диаметром 38x4,5 мм, движение пара в ней противоточное газам. Преимуществом противоточного движения является более высокий коэффициент теплопередачи [7].

Во входном коллекторе I ступени пароперегревателя размещается пароохладитель поверхностного типа, состоящий из двух групп змеевиков диаметром 25x3 мм, общей площадью поверхности $S=23 \text{ м}^2$. Пароохладитель служит для регулирования температуры перегретого пара путем частичной конденсации насыщенного пара, за счет циркулирующей по змеевикам охлаждающей питательной воды, взятой из узла питания котла и сбрасываемой перед коллекторами I ступени водяного экономайзера. На котле для регулирования температуры перегретого пара установлены дополнительно пароохладители впрыскивающего типа. Линия подвода охлаждающей воды к

конденсатору врезана в питательную магистраль котла между клапаном автомата питания котла и клапаном подпора, подогретая в пароохладителе котла вода сбрасывается в питательную линию, непосредственно перед водяным экономайзером котла [7, 14].

Вторая ступень (по ходу пара) пароперегревателя состоит из двух крайних пакетов по 28 двойных змеевиков и одного среднего пакета из 48 двойных змеевиков диаметром 42x5 мм. Пакеты пароперегревателя соединены между собой при помощи 10 труб, по которым осуществляется «переброс» пара с одной стороны на другую сторону пароперегревателя. Необходимость «переброса» пара вызывается неодинаковой температурой газов по ширине газоходов, а следовательно, и неравномерностью температурных напряжений змеевиков пароперегревателя. Движение пара во второй ступени пароперегревателя прямоточное (параллельно движению газов). Такое движение пара обеспечивает снижение температурных напряжений змеевиков в лобовой части пароперегревателя [23].

Водяной экономайзер – это теплообменник котлоагрегата, в котором питательная вода перед подачей в котел подогрывается уходящими из котла газами. Водяной экономайзер имеет змеевиковый вид. Состоит из двух ступеней, которые расположены по высоте газохода. Каждая ступень в свою очередь состоит из двух самостоятельных групп, расположенных по ширине газохода. Подвод питательной воды к правой и левой группам экономайзера осуществляется от питательной линии котла. Обе ступени водяного экономайзера соединяются трубами по четыре трубы с каждой стороны. Левая и правая группа водяного экономайзера соединяются уравнивающей линией на выходном коллекторе первой ступени. Подогретая питательная вода из экономайзера отводится по необогреваемым трубам в чистый отсек основного барабана [7, 23].

Воздухоподогреватель. Воздухоподогреватель смонтирован в рассечку с водяным экономайзером котла, двухступенчатый, трубчатый. Каждая ступень воздухоподогревателя состоит из секций. Количество труб 6272 в каждой

ступени. Площадь воздухоподогревателя составляет $S=5415 \text{ м}^2$. Наружная поверхность труб воздухоподогревателя омывается воздухом, а внутренняя – газами. Каждая секция воздухоподогревателя опирается своей нижней трубной доской на балки колонн каркаса котла[23].

В воздухоподогревателе дымовые газы движутся внутри труб сверху вниз, а воздух в межтрубном пространстве (в горизонтальном направлении).

Первая ступень (по ходу воздуха) выполнена по высоте из двух кубов, воздушное пространство каждого из вторых, в свою очередь, разделено трубной доской на две части. Таким образом, воздух совершает в первой ступени воздухоподогревателя 4 хода.

Вторая ступень воздухоподогревателя по воздуху одноходовая и состоит из одного куба. Первая ступень и вторая ступени воздухоподогревателя соединены между собой перепускными коробами. Холодный воздух к нижней ступени подведен с трех сторон: с фронта, сбоку и сзади.

2 Оценка воздействия предприятия на атмосферу

Теплоэлектроцентрали и тепловые электростанции, вырабатывающие тепловую и электрическую энергию при сжигании органических видов топлива, оказывают большое отрицательное воздействие на окружающую среду. С дымовыми газами в воздушный бассейн выбрасывается большое число твердых и газообразных загрязняющих веществ, такие как зола, оксиды азота, серы и углерода. Зола, оксиды серы, азота и многие другие компоненты дымовых газов являются вредными веществами, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Превышение концентраций загрязняющих веществ по санитарно-гигиеническим нормам недопустимо [14].

2.1 Топливо, как источник загрязнения атмосферы

Топливо – это твердое горючее вещество, при сжигании которого выделяется значительное количество теплоты, которая используется непосредственно в технологических процессах либо для обогрева, либо преобразуется в другие виды энергии.

К важнейшим техническим характеристикам топлива относятся: теплота сгорания, жаропроизводительность, содержание золы и влаги, содержание вредных примесей, выход летучих веществ, и нелетучего остатка (кокса). Характеристика топлива (уголь Бородинского разреза) представлена в таблице 7.

В теплоэнергетике в качестве твердого топлива используют угли (бурые, каменные, антрацитовый), горючие сланцы и торф. Горючая органическая часть топлива включает состоит из углерода, водорода, кислорода, органической серы, и неорганическую части. Негорючая или минеральная часть топлива состоит из влаги и золы [14].

Минеральная часть топлива в процессе сжигания переходит в летучую золу, уносимую дымовыми газами (табл. 8). Другая же часть топлива превращается в шлак и золу.

Твердое топливо имеет достаточно разнообразный химический состав золы. Зольность отечественных углей колеблется в широких пределах (10-55 %), которая влияет на запыленность дымовых газов.

В качестве твердого топлива на теплоэлектростанции используется уголь Бородинского разреза, расположенного в 146 км от станции. Расход угля составляет 2560 тыс. т/год.

Предприятие имеет угольный склад открытый типа. Оборудован склад двумя кранами-перегрузчиками. Дымовая труба предприятия железобетонная, высотой 180м.

Таблица 7 – Характеристика топлива (уголь Бородинского разреза, марка Б2 – Р) [17]

Составляющие топлив (на рабочую массу)	Размерность	Величины
Кислород	%	13,24
Углерод	%	42,63
Водород	%	2,98
Сера общая	%	0,18
Азот	%	0,6
Зола	%	7,37
Влага	%	33
Выход летучих горючих	%	48
Калорийность	ккал/кг	3750-3900

Таблица 8 – Нормативные характеристики золы-унос бородинских углей (ГОСТ Р 57021-2016)

№ п/п	Наименование показателей	от	до
1	Содержание компонентов, %		
	SiO_2	40,0	55,0
	Al_2O_3	4,0	10,0
	Fe_2O_3	6,0	14,0
	CaO	20,0	35,0
	MgO	3,0	6,0
	K_2O	0,3	1,5
	Na_2O	0,2	0,5
	SO_3	0,9	5,0
2	Содержание свободной окиси кальция, % не более	3,0	13,0
3	Содержание горючих в уносе, %	2,0	
4	Удельная поверхность, $см^2/г$	1500	3000
5	Плавкость, °С		
	t_A	1060	1260
	t_B	1090	1270
	t_C	1120	1310

2.2 Загрязняющие вещества, выделяемые предприятием в окружающую среду

Основной мощный источник выбросов в атмосферу загрязняющих веществ являются дымовые трубы ТЭС. В производственном процессе при сжигании органического топлива с дымовыми газами в атмосферу поступают:

- пыль неорганическая (зола);
- сернистый ангидрид;
- окислы азота (диоксид азота, оксид азота);
- оксиды углерода.

Выбросы золы с дымовыми газами зависят от количества и зольности используемого топлива, а также от совершенства и уровня установленных золоуловителей на ТЭЦ. Выделение сернистого ангидрида практически целиком зависит от содержания серы в используемом топливе. Во время топочного процесса происходит частичное связывание соединений серы, которая содержится в минеральной части топлива, окислами кальция и (или) магния [14, 16].

В процессе сжигания, образующиеся примеси поступают в атмосферу в виде паров, газов, твердых и жидких частиц (табл. 9).

Пары и газы при взаимодействии с воздухом образуют смеси, а жидкие и твердые частицы – аэрозоли, т. е. дисперсные системы, которые подразделяют на пыль (размеры частиц более 1 мкм), дым (размеры твердых частиц менее 1 мкм) и туман (размер жидких частиц менее 10 мкм) [14].

Пыль классифицируют на:

- крупнодисперсную – размер частиц составляет более 50 мкм;
- среднедисперсную – размер частиц от 50 до 10 мкм;
- мелкодисперсную – размер частиц пыли менее 10 мкм [16].

Таблица 9 – Характеристика промышленных аэрозолей [26]

Класс аэрозоля	Агрегатное состояние частиц	Механизм образования частиц	Диапазон изменения размеров частиц $d_{\text{ч}}$, мкм
Дымы	твердые	конденсационный	$0,1 < d_{\text{ч}} < 5,0$
Пыли	твердые	диспергационный	$1,0 < d_{\text{ч}} < 500$
Туманы	жидкие	конденсационный или диспергационный	$0,1 < d_{\text{ч}} < 5,0$ $30,0 < d_{\text{ч}} < 1000$
Смешанные	твердые или жидкие	В зависимости от сочетания классов аэрозолей: пыли + дымы, дымы + туманы, пыли + туманы	

Классификация промышленной пыли в зависимости от механизма образования, разделяют на 4 класса:

– пыль механическая, образуется во время технологического процесса в результате измельчения продукта;

– возгоны, один из видов промышленной пыли, образующийся в результате объемной конденсации паров веществ при охлаждении газа, пропускаемого через технологический аппарат или котлоагрегат;

– летучая зола – несгораемый остаток твердого топлива, образующийся из его минеральных примесей в процессе горения, которая содержится в дымовых газах во взвешенном состоянии

– промышленная сажа – входит в состав промышленного выброса. Представляет собой твердый высокодисперсный углерод, который образуется при неполном сгорании углеводородов [26].

Основные химические примеси в производственном процессе ТЭС, которые загрязняют атмосферу:

Оксид и диоксид азота (NO_x) – это газообразные вещества: монооксид азота NO и диоксид азота NO_2 , которые объединяют одной общей формулой NO_x . При всех процессах горения образуются окислы азота в виде оксида. Затем оксид азота за короткий промежуток времени окисляется до диоксида. Диоксид азота представляет собой красно-бурый газ с резким неприятным запахом, оказывает раздражающее воздействие на слизистые оболочки человека. Образование оксидов азота зависит от температуры сгорания топлива, чем выше температура, тем интенсивнее идет процесс образования. Наиболее высокие концентрации оксидов азота в крупных городах наблюдаются утром, перед началом фотохимических процессов.

Максимальная разовая предельно допустимая концентрация диоксида азота в воздухе населенных мест составляет $0,2 \text{ мг/м}^3$ [14, 16].

Оксид углерода (CO) – представляет собой бесцветный газ, не имеет запаха, известен также под названием «угарный газ». Процесс образования происходит в результате неполного сгорания твердого топлива в условиях недостатка кислорода и при низкой температуре [16].

Оксид углерода является ядовитым веществом. Относится к веществам с остронаправленным механизмом действия, требующим автоматического контроля за его содержанием в воздухе. Оказывает токсическое действие на центральную нервную систему, при вдыхании человеком угарного газа, в организме образуются прочные комплексные соединения с гемоглобином крови, тем самым блокирует поступление кислорода в кровь. Тем самым вызывает сильные головные боли и тошноту, а при вдыхании более высокой концентрации CO наступает смерть.

Максимальная разовая ПДК CO – 5 мг/м³, а среднесуточная – 3 мг/м³. При 14 мг/м³ возрастает вероятность смерти от инфаркта миокарда. Такие сверхвысокие концентрации часто наблюдаются в районах с повышенной антропогенной нагрузкой на окружающую среду, чаще в часы «пик» на транспорте или при инверсиях (в условиях слабого воздушного обмена), благоприятствующих возникновению смога [14].

Уменьшение выбросов угарного газа достигается путем дожигания уходящих газов или использования альтернативных источников топлива.

Двуокись углерода (CO_2), или углекислый газ, – бесцветный газ с кисловатым запахом и вкусом, продукт полного окисления углерода. Является одним из парниковых газов.

Большая концентрация углекислого газа в воздухе приводит к интоксикации организма и вызывает трудности с дыханием, тошноту, головную боль и возможна потеря сознания. Повышенная концентрация углекислого газа в крови понижает способность кислорода связываться с гемоглобином.

Диоксид серы (SO_2) (двуокись серы, сернистый ангидрид) – это бесцветный газ с резким неприятным запахом. Образуется в процессе сгорания серосодержащих ископаемых видов топлива (угля), а также в процессе переработки сернистых руд. Сернистый ангидрид в первую очередь участвует в формировании кислотных дождей. Наиболее высокие концентрации диоксида серы наблюдаются в районах, где расположены крупные тепловые электростанции, металлургические и горно-обогатительные предприятия.

Максимальная разовая ПДК для диоксида серы в воздухе населенных мест составляет $0,5 \text{ мг/м}^3$, а среднесуточная – $0,05 \text{ мг/м}^3$.

Длительное воздействие диоксида серы в концентрациях выше предельно допустимых приводит к увеличению у населения различных болезней дыхательных путей (воспаление или отек легких). Вдыхание диоксида серы вызывает воспаление носоглотки, бронхиты, хрипоту, кашель и вызывает боль в горле. Также оказывает негативное влияние на сердечнососудистую систему. [14].

Таблица 10 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [3]

Наименование вещества	Предельно допустимые концентрации в мг/м^3		
	Максимальная разовая	Среднесуточная	Класс опасности
Азота диоксид	0,2	0,04	3
Азота (II)оксид	0,4	0,06	3
Сера диоксид	0,5	0,05	3
Пыль неорганическая (зола)	0,15	0,05	3
Углерода оксид	5,0	3,0	4

2.3 Характеристика очистного оборудования на ТЭЦ

В промышленности среди различных видов пылеуловителей, наибольшее распространение получили аппараты инерционного типа. Процесс пылеулавливания в них осуществляется за счет резкого изменения направления движения газопылевого потока, при этом частицы пыли, плотность которых выше плотности газа, двигаясь по инерции в прежнем направлении, попадают в пылесборник, а очищенный газовый поток выходит из аппарата [15].

Основные причины широкого распространения пылеуловителей инерционного типа послужила простота их изготовления и эксплуатации, небольшое гидравлическое сопротивление, их надежность и компактность,

работоспособность при повышенных температурах, большой начальной запыленности и практически при любых давлениях газа [25].

Разновидностью инерционного осаждения является осаждение под действием центробежной силы, благодаря которой при криволинейном движении пылегазового потока частицы отбрасываются к поверхности осаждения [8]. Осаждение частиц под действием сил инерции может осуществляться в жалюзийных, ротационных и циклонных аппаратах [25].

Очистка дымовых газов от летучей золы на ТЭЦ осуществляется в батарейных золоуловителях типа БЦУ-125-672 (котлы ст. №№ 4,6), типа БЦУ-125-720 (котлы ст. №№7,8,9,14), типа БЦ-4-205 (котлы ст. №№5,10,11,12,13,15,16), типа БЦУ-173-952 (котел ст. №20). Котлы ст. №№ 18,19 оснащены двухступенчатыми золоулавливающими установками: 1–я ступень – циклоны типа НИИОГАЗ, вторая ступень – БЦУ-173-952. На котле ст. №17 установлен 4-хпольный электрофильтр типа УГ-2-4-53 [9].

Циклонные пылеуловители. Осаждение частиц в циклонных пылеуловителях осуществляется под действием инерционных сил, возникающих во вращающемся потоке газа.

Среди пылеуловителей циклоны составляют самую многочисленную группу. Они применяются практически на всех промышленных предприятиях, в том числе в металлургии, теплоэнергетике, машиностроении, химической промышленности, на транспорте и др [8].

Устройства, использующие принцип циклона, впервые появились еще в 1885 г. и использовались для сбора пыли, однако актуальность исследований различных аспектов работы циклонов не утрачена до настоящего времени [9].

Циклонные аппараты получили широкое распространение в промышленности благодаря следующим преимуществам:

- сравнительно малые габариты;
- низкая металлоемкость;
- простота в изготовлении и эксплуатации;
- надежность;

- возможность успешной работы при высоких давлениях газов;
- способность работать при повышенных температурах и большой начальной запыленности.

Основным недостатком циклонных пылеуловителей является их низкая эффективность при улавливании частиц пыли размером менее 5 мкм.

Циклонные пылеуловители могут быть подразделены:

- на противоточные осевые циклоны;
- прямоточные осевые циклоны;
- вихревые пылеуловители [27].

Батарейные циклоны применяются в парогенераторных установках с производительностью до 320 т/ч. Промышленностью выпускаются батарейные циклоны типа БЦ, состоящие из одной, двух, четырех и шести секций с числом элементов от 25 до 792 шт [15].

Батарейные циклоны устанавливаются за котлом, но, перед дымососом, что предохраняет его от быстрого износа.

Принцип работы батарейных циклонов

В результате технологического процесса при сжигании твердого топлива, образуется зола. Представляет собой остаток в виде мелких летучих порошкообразных частиц и крупных кусков, т. е. шлак. При слоевом сжигании различных видов твердого топлива, основная масса золы (75—90%), остается в топке и газоходах котла. Более мелкая часть золы, уносится дымовыми газами в окружающую среду. Поэтому перед выбросом дымовых газов в атмосферу, их требуется очистить от золы в специальных газоочистных устройствах — циклонах. Все современные котельные, работающие на твердом топливе оборудованы циклонными золоуловителями [27].

Циклонные золоуловители выполняются в виде блоков (блоки-циклоны) или в виде батарей (батарейные циклоны) (рис. 1).

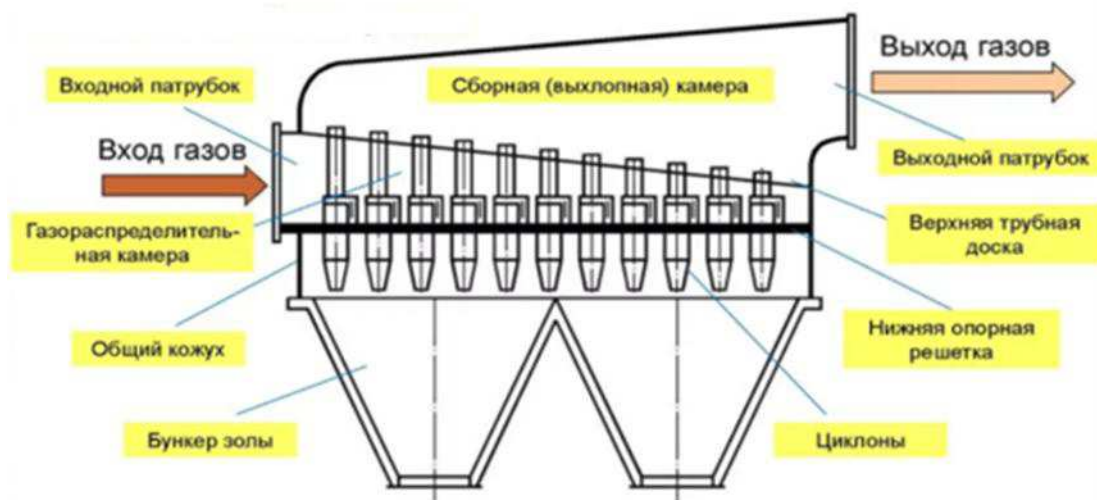


Рисунок 1 – Батарейный циклон

Отдельный циклонный элемент батарейного циклона работает следующим образом:

Дымовые газы с повышенной скоростью 20—25 м/с тангенциально подаются в камеру циклона, в камере они совершают спирально-вращательное движение. В результате этого движения частицы золы с помощью инерционных сил прижимаются к внутренней поверхности корпуса циклона. Затем теряется скорость движения и частицы пыли по конической части аппарата выпадают в бункер. А очищенные газы, проходят через внутреннюю трубу батарейного циклона вверх и удаляются из циклона в дымовую трубу. Практически доказано, чем меньше диаметр циклона, тем больше им улавливаются твердые частицы. Поэтому батарейные циклоны компонуют из отдельных циклонов небольшого диаметра в блоки или батареи (отсюда и название – циклон батарейный) [8, 27].

3 Анализ внедряемой системы очистки

Для того чтобы эффективность работы соответствовала современным требованиям и необходима модернизация существующего оборудования. Производят ее на основании замены батарейного циклона на электрофильтр. В настоящее время для очистки отходящих газов от пыли на ТЭЦ установлен БЦ-4-205 (КПД 85%), а у ЭФ эффективность очистки составляет от 95 % до 99,5 %.

Преимущества, которые дает процесс обновления оборудования следующие:

- повышение эффективности работы электрофильтра;
- снижение энергопотребления;
- сокращение эксплуатационных расходов;
- улучшение удержания продуктов из газовых потоков.

Единого способа модернизации электрофильтра не существует, так как разновидностей оборудования очень много. Поэтому обращаться за помощью в данном вопросе необходимо к организациям, занимающимся изготовлением газоочистного оборудования [25].

Процесс модернизации состоит из следующих этапов:

- обследование оборудования, подлежащего замене;
- разработка конструкторской документации;
- изготовление коронирующих и осадительных электродов, механической части, электрики;
- демонтаж старого оборудования;
- монтаж нового оборудования;
- запуск и наладка режимов работы.

Также модернизация электрофильтров может происходить с увеличением его высоты, что приведет к увеличению площади осаждения частиц и соответственно к более эффективной работе [27, 9].

3.1 Общие сведения об электрофильтрах

Электрофильтр – это пылеулавливающий аппарат, в которых применяют электрические силы для улавливания частиц пыли или жидкости.

При использовании электрической очистки частицам пыли минимальных размеров удается задать значительный электрический заряд, благодаря которому, осуществляется процесс осаждения частиц на электродах электрофильтра. А под действием силы тяжести или центробежной силы очистка дымовых газов от небольших частиц затруднительна. Т. е. принцип электрической очистки загрязненных газов от взвешенных частиц заключается в зарядке частиц с последующим их выделением из дымовых газов под воздействием электрического поля.

Частицы пыли в активной зоне электрофильтра получают отрицательный электрический заряд в поле коронного разряда и движутся под действием электрического поля к заземленным электродам. Затем оседают на осадительных электродах и после регенерации (встряхивании) электродов собираются в бункерах. Небольшая часть пыли, примерно около 0,5–1 % от общего количества, приобретает положительный заряд и осаждается на коронирующих электродах и также периодически удаляется регенерацией. Межэлектродный промежуток электрофильтра, в котором создается поле коронного разряда и происходят процессы улавливания частиц, схематично показан на рисунке 2 [24].

Для создания электрического поля в электрофильтрах применяются повысительно-выпрямительные агрегаты напряжением с системами регулирования 80 кВ и выше, обеспечивающими требуемый режим питания.

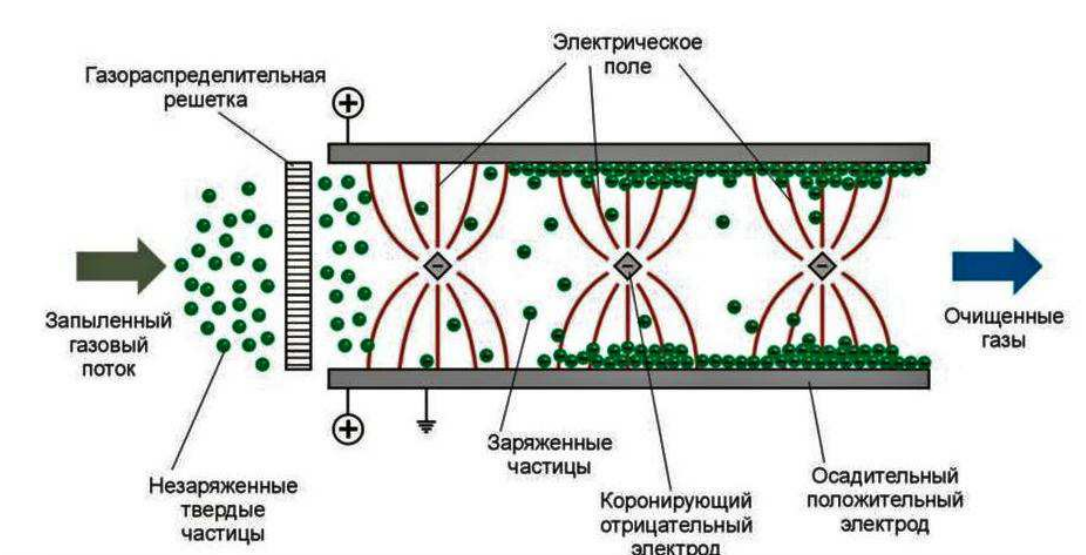


Рисунок 2 – Упрощенная схема зарядки и осаждения частиц пыли в электрофильтре [27]

Электрофильтры применяются для обеспыливания газов тепловых электростанций, в промышленности строительных материалов, в металлургии, химической и нефтегазовой промышленности, для очистки газов тепловых двигателей и в других отраслях. Для успешной реализации возможностей электрогазоочистки и получения максимальной эффективности очистки загрязненных газов, необходимо индивидуально подбирать аппарат к конкретным условиям его эксплуатации. [11].

Другими словами, конструкции электрофильтров, устанавливаемых в различных отраслях промышленности, имеют существенные отличия. А аппараты, устанавливаемые даже в одной отрасли промышленности, например, в теплоэнергетике, должны иметь индивидуальные особенности, вплоть до конструктивных отличий, обусловленных проектными, технологическими и режимными особенностями их работы [15].

Основные преимущества электрической очистки газов следующие:

– широкий диапазон производительности – очистка загрязненных газов от нескольких тысяч кубических метров в час (очистка выхлопных газов

дизелей) до миллионов кубических метров в час (на ТЭС и др. промышленности);

- степень очистки газов достигает до 99,9 %;
- гидравлическое сопротивление составляет не более 0,2 кПа (одна из основных причин низких эксплуатационных затрат);
- электрофильтры могут улавливать как сухие частицы, так и капли жидкостей и частицы туманов;
- в электрофильтрах улавливаются частицы размером от 0,01 мкм (вирусы, табачный дым) до десятков микрометров;
- низкие энергозатраты (0,1-0,5 кВтч) на м³ газов;
- возможность работы аппаратов в агрессивных средах;
- возможность очистки высокотемпературных газов;
- возможность полной автоматизации оборудования;
- широкий диапазон применения;
- возможность очистки, как от твердых, так и от жидких частиц.

К недостаткам электрических фильтров можно отнести:

- высокая чувствительность процесса фильтрации к отклонениям от заданных параметров технологического режима, может привести к механическим дефектам в активной зоне аппаратов;
- высокая требовательность к уровню обслуживания;
- невозможно очищать от взрывоопасной пыли.

Конструкция электрофильтра в основном определяется технологическими условиями его работы: составом и свойствами очищаемых газов и частиц пыли, температурой, давлением и влажностью газов, требуемой степенью очистки и другими факторами [15].

Главной особенностью электрофильтров является их высокая чувствительность к отклонениям в технологическом процессе эксплуатации от проектного. Кроме этого нарушается работа электрофильтра в случае механических дефектов внутреннего оборудования, в процессе проведения

монтажных работ или неквалифицированного обслуживания оборудования при эксплуатации [10].

Так как при работе электрофильтра существует вероятность возникновения искровых разрядов, то применение электрофильтров в технологическом процессе ограничено, если очищаемый газ представляет собой взрывоопасную смесь или такая смесь может образоваться в ходе процесса. [27].

3.2 Классификация и краткая характеристика электрофильтров

Электрофильтры в зависимости от различных отраслей промышленности подразделяют на металлургической, энергетической промышленности и прочих отраслей промышленности

Все электрофильтры по условиям зарядки и осаждения частиц пыли можно разделить на две основные группы:

– однозонные, в которых зарядка и осаждение частиц происходят в одной конструктивной зоне;

– двухзонные, в данной группе в первой зоне происходит зарядка, во второй – осаждение частиц.

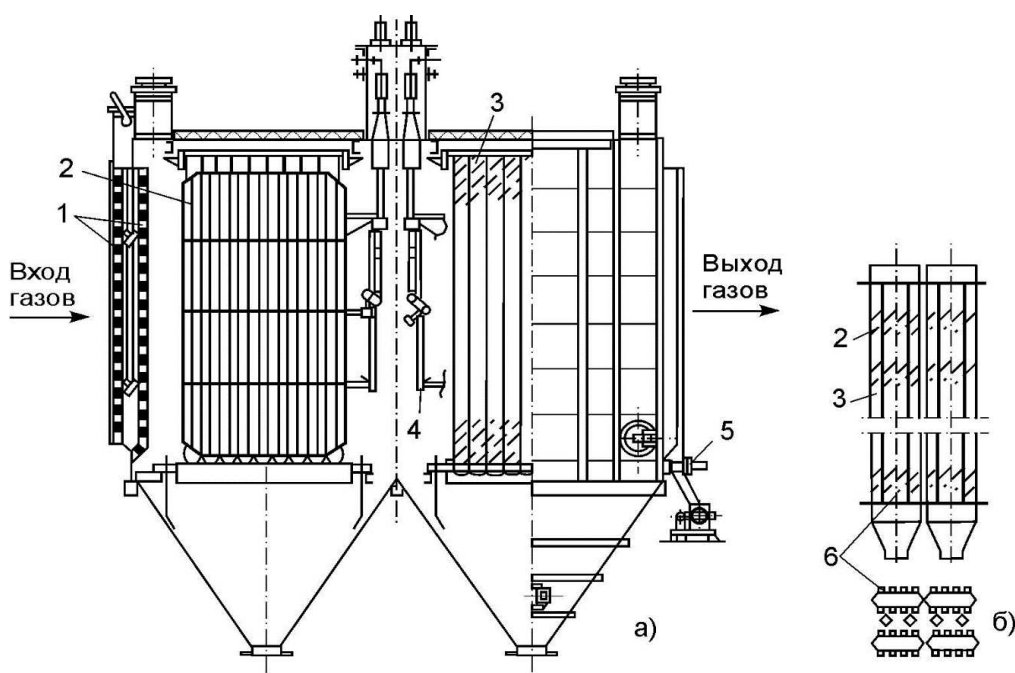
Кроме этого существуют группы комбинированных аппаратов (например, циклон + электрофильтр, электрофильтр + фильтр [10], сочетания электрофильтров с мокрыми пылеуловителями и др.). Эти аппараты могут изготавливаться в одном или отдельных корпусах.

Для очистки больших объемов газов применяются однозонные электрофильтры. По длине они, как правило, состоят из нескольких последовательно соединенных активных зон-полей, а при очистке очень больших объемов газа электрофильтры могут состоять из параллельно соединенных активных зон-секций [11].

Однозонные электрофильтры по форме осадительных электродов можно классифицировать на два основных вида: *пластинчатые и трубчатые*.

Подавляющее количество пластинчатых аппаратов – сухие, а мокрые – трубчатые.

Пластинчатые электрофильтры классифицируют по направлению движения газов в активной зоне на горизонтальные (рис. 3) и вертикальные [10].



а – общий вид

б – элементы электрофильтра

1 – газораспределительная решетка; 2 – коронирующие электроды; 3 – осадительные электроды; 4 – механизмы встряхивания коронирующих электродов; 5 – механизмы встряхивания осадительных электродов; 6 – карманы осадительных электродов

Рисунок 3 – Горизонтальный двухполюсный пластинчатый электрофильтр

Трубчатые мокрые электрофильтры подразделяют на аппараты для неагрессивных и агрессивных газов, также могут быть предназначены для холодных и горячих газов. В зависимости от требований к электрофильтрам и условий, в которых они эксплуатируются, они могут очень сильно отличаться по конструкции [10, 11].

Вариант классификации в зависимости от признаков и технологических условий представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Классификация электрофильтров

Признаки классификации	Типы электрофильтра
По виду и свойствам улавливаемых частиц	Сухие
	Мокрые
По конструкции осадительных электродов	Трубчатые
	Пластинчатые
По количеству ярусов	Двухъярусные
	Одноярусные
По допустимому температурному режиму	Нормального температурного режима (до 330 °С)
	Высокотемпературные электрофильтры (более 330 °С)
По направлению газового потока	Горизонтальные
	Вертикальные
По количеству электрических полей, расположенных по ходу газового потока	Однополюсные
	Многополюсные
По количеству секций, расположенных поперек хода газового потока	Односекционные
	Многосекционные
По количеству зон, в которых осуществляется зарядка и осаждение частиц	Однозонные
	Многозольные

3.3 Техническая характеристика внедряемого оборудования

При разработке необходимой установки по очистке дымовых газов от КА был выбран электрофильтр по типу ЭГВ-М2 IV поколения, который содержит следующие качественно новые узлы, позволяющие в существующих стесненных условиях получить максимальную эффективность [24].

Технические характеристики электрофильтра представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Техническая характеристика электрофилтра ЭГВ-М2 [24]

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
1	Площадь активного сечения	м ²	166,3
2	Количество полей	ед.	4
3	Количество секций	ед.	2
4	Активная длина поля	м	3,2
5	Высота электродной системы	м	12
6	Производительность по очищаемому газу при условной скорости в активном сечении 1 м/с	м ³ /ч	600825
7	Максимально допустимая температура очищаемых газов	°С	330
8	Максимальное разрежение в корпусе	Па	5000
9	Гидравлическое сопротивление электрофилтра	Па	150
10	Скорость газов в фильтре	м/с	0,96
11	Бункеры электрофилтра	Пирамидальные, 9 шт.	
12	Привода встряхивания ОЭ	на базе НА63, 6 шт.	
13.	Привода встряхивания КЭ	на базе НА63, 6 шт.	
14	Встряхивание осадительных и коронирующих электродов	ударно-молотковое	
15	Опорно-проходные изоляторы	керамические	
16	Агрегаты питания типа	Kraft CBQE 110/800	
17	Количество агрегатов питания	шт.	6
18	Мощность потребляемая из сети	кВА	94
19	Управление агрегатами типа	microKraft III	
20	Запыленность очищаемых газов, не более	г/нм ³	90
21	Запыленность газов на выходе	мг/нм ³	до 150

Краткое описание электрофильтра ЭГВ-М2. Электрофильтр представляет собой газоочистной аппарат, который состоит из стального корпуса с внутренним размещением механическое оборудование (активная часть электрофильтра).

Корпус электрофильтра имеет прямоугольную форму. К торцам корпуса примыкают диффузор и конфузор для входа загрязненного газа и выхода очищенного. В нижней части корпуса аппарата расположены бункеры для сбора и удаления уловленной пыли. В готовом рабочем состоянии корпус снаружи покрыт теплоизоляцией [15].

Внутреннее механическое оборудование смонтированное в корпусе электрофильтра состоит из:

- осадительных и коронирующих электродов;
- механизмов регенерации (встряхивания);
- изоляторных узлов и газораспределительных решеток.

Коронирующие электроды подключены к высоковольтному источнику питания с напряжением 80–110 кВ. Осадительные электроды – заземлены. При прохождении запыленного газа через газораспределительную решетку электрофильтра частицы пыли заряжаются и под действием электрического поля осаждаются на осадительных и частично на коронирующих электродах [24].

Электрическая очистка газов основана на использовании коронного разряда, который возникает в электрическом поле при высоком напряжении.

При подаче тока высокого напряжения на электроды в пространстве электрофильтра между электродами возникает электрическое поле, напряженность которого можно регулировать путем изменения напряжения питания. При увеличении напряжения до определенной величины из-за неоднородности электрического поля между электродами образуется коронный разряд, в результате которого происходит ионизация газов и возникает направленное движение заряженных ионов к электродам электрофильтра, т. е. между электродами протекает ток [24].

В электрофильтре ЭГВ-М2 через межэлектродное пространство проходят газы, содержащие частицы пыли. Эти частицы пыли заряжаются движущимися ионами и под действием электрического поля направляются к осадительным электродам и оседают на них [10].

При дальнейшем увеличении напряжения на электродах количество образующихся ионов возрастает и интенсивность очистки газов от пыли увеличивается. Однако увеличение напряжения на электродах возможно до определенного предела, ограниченного пробивным напряжением межэлектродного пространства. Уровень пробивных напряжений зависит не только от технологических параметров пылегазового потока, но и в большей степени от качества изготовления, монтажа и центровки электродов [2].

Удаление пыли с электродов производится при помощи механизмов встряхивания.

Удаленная пыль из электрофильтра скапливается в бункерах корпуса, откуда удаляется при помощи специальных механизмов.

Работа электрофильтра в значительной степени зависит от регулирования напряжения и работы механизмов встряхивания. Для обеспечения минимального уноса пыли при встряхивании производится выбор оптимальных режимов работы механизмов встряхивания, что осуществляется частотным регулированием приводов встряхивания [10, 24].

3.3.1 Механическое оборудование электрофильтра

Система осадительных электродов. Осадительные электроды (рис. 4) состоят из широкополосных элементов повышенного качества типа ЭКО МК 4х160, которые крепятся в верхней части к балкам подвеса и к балкам встряхивания в нижней части. Балки подвеса опираются на корпус электрофильтра. Встряхивание осадительных электродов осуществляется с помощью механизма ударно-молоткового типа с боковым приводом.

Осадительный элемент типа Эко МК 4х160 применяется взамен элементов типа СЧС-640 в электрофильтрах ЭГА, ЭГБМ, ЭГВ, а также при реконструкциях электрофильтров ДГПН, ДГП, ПГД, ПГДС, УГ, ЭГ. Отклонения размеров от прямолинейности и плоскостности – не более 3мм на длине 18 метров [24].

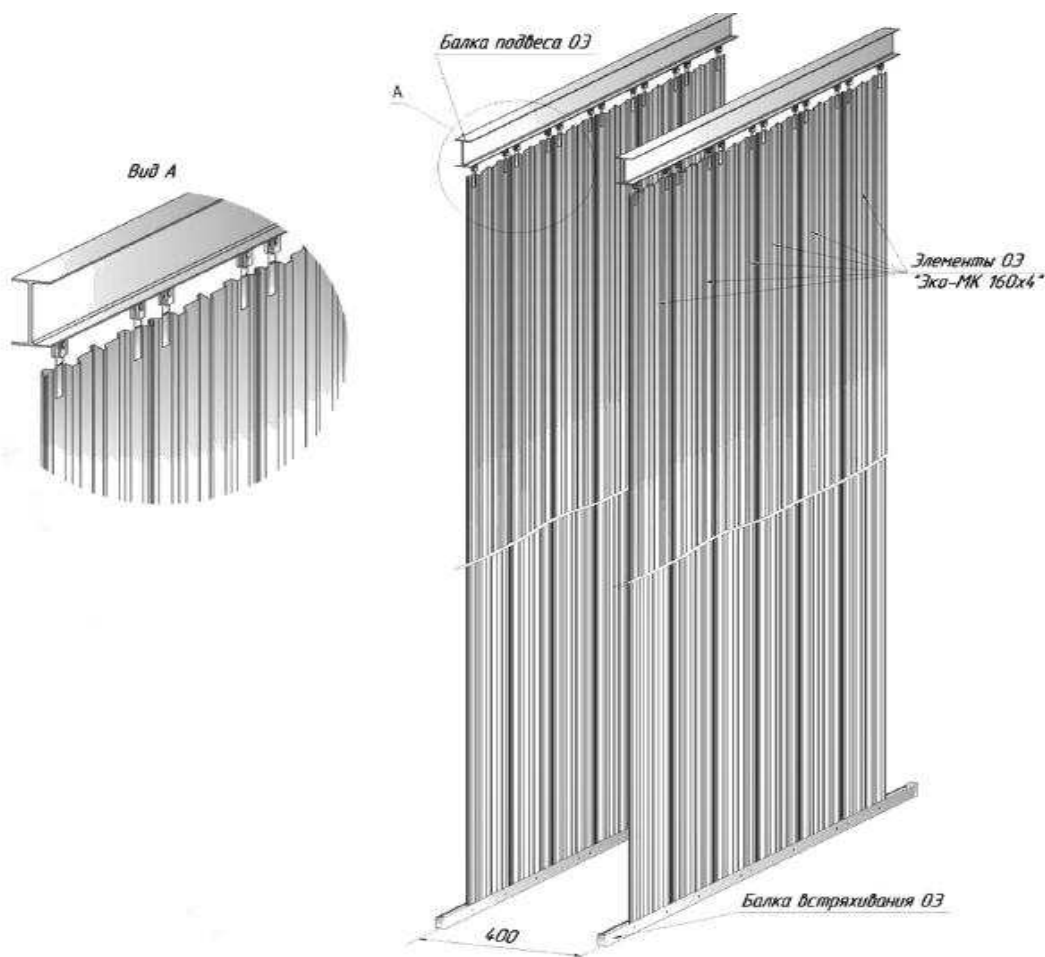


Рисунок 4 – Общий вид осадительных электродов

Повышенная точность изготовления осадительных электродов позволяет:

- повысить качество сборки и сократить время монтажа осадительных электродов;
- уменьшить вторичный унос при встряхивании и улучшить электрический режим очистки, обеспечить центровку осадительных электродов;

- уменьшить низкочастотные колебания от ударных воздействий и повысить динамические ускорения для обеспечения отряхивания элементов от пыли и снижения вероятности образования не отряхиваемых отложений;
- разработать электрофильтры с высотой электродных систем до 18 метров, что позволяет решать проблему стесненных условий при строительстве газоочистной установки.

Межэлектродное расстояние в 400 мм выбрано на основании результатов НИР и анализа действующих ЭФ типа УГ с межэлектродным расстоянием 275 мм и ЭГА с межэлектродным расстоянием 300 мм. Было доказано, что с увеличением межэлектродного расстояния растет напряженность электрического поля у поверхности осадительных электродов. А именно этот параметр определяет эффективность работы ЭФ. Это и является причиной сохранения степени очистки газа при резком уменьшении поверхности ОЭ в ЭФ [10, 24].

За последние 15 лет, электрофильтры с увеличенным межэлектродным расстоянием нашли широкое промышленное применение благодаря следующим преимуществам:

- не снижается эффективность работы по сравнению с традиционными электрофильтрами;
- увеличивается эксплуатационная надежность за счет сокращения узлов аппарата;
- повышается стабильность работы, т.к. расцентровка электродов меньше влияет на электрические характеристики;
- резко уменьшается масса внутреннего механического оборудования, что снижает стоимость изготовления аппаратов, их монтажа;
- а также позволяет проводить реконструкцию ЭФ с сохранением существующих фундаментов в т. ч. при увеличении высоты электродной системы.

Система коронирующих электродов. Коронирующий электрод электрофильтра (рис. 5) состоит из трубчатых полурам. Соединение полурам выполнено таким образом, чтобы максимально использовать ударный импульс по всей высоте и ширине электрода. В качестве коронирующего элемента в данной конструкции применен коронирующий элемент с боковыми иглами с пониженным напряжением зажигания короны, которая составляет величины 10-12 кВ. Данная конструкция коронирующего элемента неоднократно подтвердила свою эффективность как в стендовых и лабораторных исследованиях, так и в промышленной эксплуатации [24].

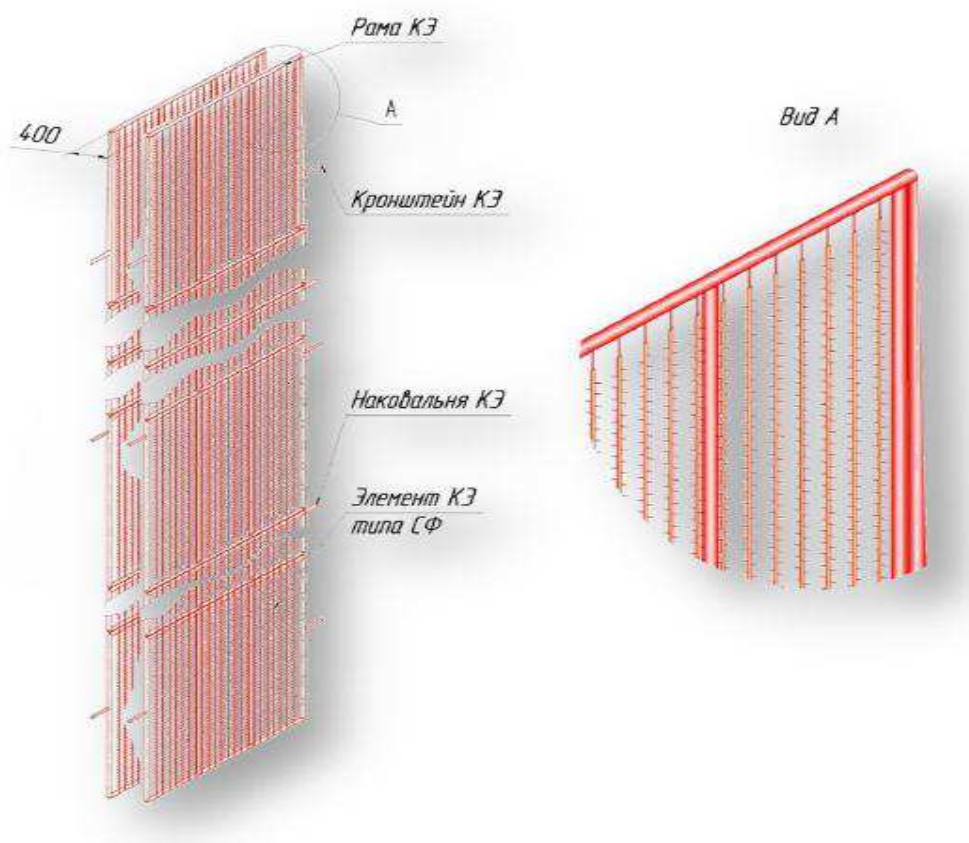


Рисунок 5 – Общий вид коронирующего электрода

Коронирующий элемент типа СФ применяется взамен ленточно-игольчатого элемента и взамен ленточно-трубчатых элементов с плоским профилем [10, 24].

Техническая возможность получения при изготовлении острых игл в сочетании с жесткостью профиля элемента позволяет:

- снизить напряжение зажигания короны в 1,5–2 раза, что приводит к увеличению тока короны, мощности разряда;
- увеличить ток короны за счет образования дополнительно фиксированных точек коронирования.
- форма профиля элемента СФ позволяет в более широком диапазоне регулировать пробивной промежуток.
- обеспечить жесткость профиля для повышения эффективности встряхивания пыли.

Система регенерации. С самого первого промышленного применения электрофильтров для очистки дымовых (технологических) газов от твердых мелкодисперсных примесей (зола, пыли, аэрозолей), стало очевидным, что для эффективной очистки, помимо электротехнических характеристик электрофильтра, площади осаждения и т. п. очень важным является процесс регенерации электрофильтра – встряхивание осажденной пыли с электродных систем. Неэффективная настройка, отказы механизмов встряхивания, снижают эффективность работы электрофильтра на 20-30%, вследствие вторичного уноса и снижения электрических характеристик полей [24].

В большинстве случаев система встряхивания (рис. 6, 7) включает в себя систему валов с молотковым валом и привод (мотор-редуктор). Эффективная настройка механической части системы встряхивания заключается в периодическом осмотре, своевременная дефектация и замена изношенных механизмов – молотков, подшипников, валов, для исключения заклинивания механизмов и ослабления ударных ускорений электродных систем [10, 24].

Правильный подбор режима работы механизмов встряхивания, интервалов работ приводов успешно решается расчетным методом и настраивается в период пусконаладочных работ.

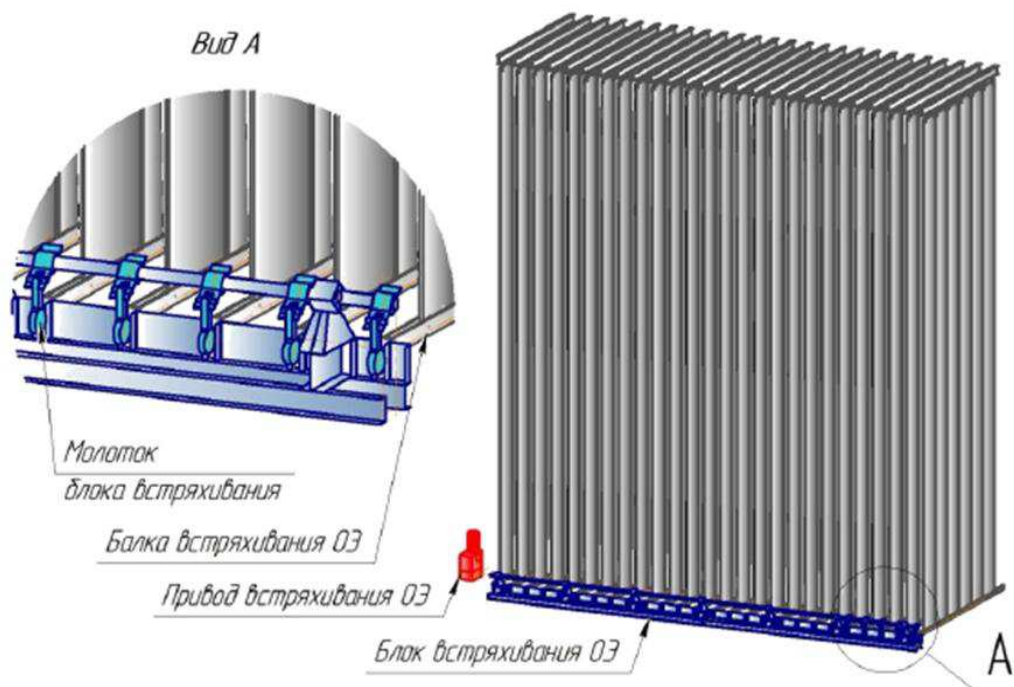


Рисунок 6 – Расположение механизмов встряхивания осадительных электродов в нижней части

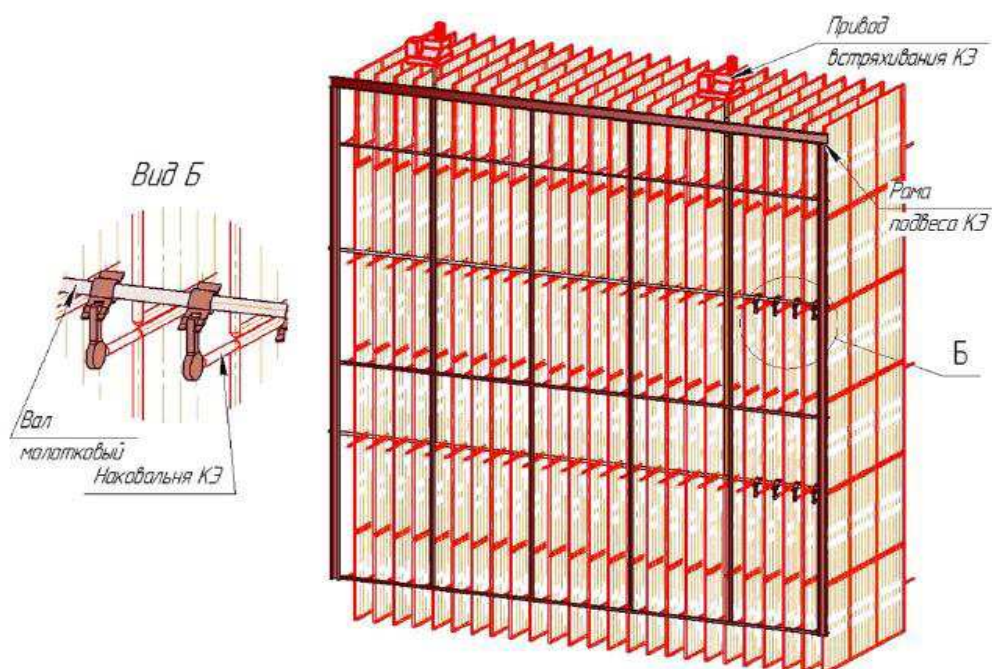


Рисунок 7 – Расположение механизмов встряхивания коронирующих электродов сбоку

С другой стороны, имеется мотор-редуктор (рис. 8), к надежности работы которого предъявляются особые требования.



Рисунок 8 – Привод встряхивания на базе мотор-редукторов типа HA 63

Цилиндрический редуктор, по сравнению с червячным, имеет более высокий КПД, менее чувствителен к неточной регулировке и имеет меньшую массу. Исключено вращение вала в обратном направлении.

Электродвигатель мотор-редуктора имеет тепловую защиту и принудительное охлаждение обмоток дополнительным встроенным электровентилятором [24].

Основные преимущества использования привода встряхивания на базе мотор-редукторов типа HA 63:

- тепловая и токовая защита от перегрева и перегрузок, что исключает обрыв молотков и деформацию вала; в случае
- срабатывания защиты происходит остановка привода и включение аварийной сигнализации;
- конструкция редуктора не требует технического обслуживания: контроля уровня и замены масла, регулировки подшипников, что значительно сокращает эксплуатационные затраты;
- гибко настраиваемая система регулирования частоты вращения привода позволяет оптимизировать режимы встряхивания, что снижает выбросы после электрофилтра до 3-х раз;

- возможность интегрирования в систему АСУ электрофильтра;
- возможность привязки к приводам всех типов электрофильтров.

Система управления электропитанием полей электрофильтра. В качестве современного технического решения вопроса эффективного питания полей электрофильтра током высокого напряжения предлагается использовать агрегаты питания с выходным напряжением 110 кВ в комплекте со шкафами управления (рис. 10) со встроенным микроконтроллером MicroKraft III (рис. 11).

MicroKraft III – это удобный для пользователя микропроцессорный контроллер, предназначенный для управления высоковольтными источниками питания электростатических фильтров. Полностью управляется через меню с логичной и интуитивно понятной структурой. Любая операция может быть выполнена нажатием всего несколько кнопок.



Рисунок 10 – Шкаф управления со встроенным микроконтроллером
MicroKraft III

Основными преимуществами устройства по сравнению с аналоговыми устройствами являются:

- сокращенная элементная база, за счет использования микропроцессора, что значительно повышает надежность устройства;
- блок управления устройств выполнен в герметичном корпусе, что обеспечивает защиту от механических и атмосферных воздействий;
- интерфейс управления прост и удобен в эксплуатации;
- возможности устройства позволяют совершенствовать и корректировать алгоритмы регулирования, управления, как на стадии наладки устройств, так и в процессе эксплуатации;
- более совершенные алгоритмы отработки на искру, восстановления напряжения, защиты – в результате устройства демонстрируют при работе с агрегатами питания: отсутствие затяжных и дуговых пробоев, форсированное восстановление напряжения нагрузки, устойчивую работу агрегата при низких токовых нагрузках, защиту агрегатов питания от однополупериодного режима;
- заложенные в программу устройств алгоритмы анализируют влияние частоты искрений на интегральное значение напряжения в поле электрофильтра, что позволяет поддерживать последнее на максимальном уровне, при этом повышается эффективность очистки.

Данное оборудование хорошо зарекомендовало себя как за рубежом, так и на территории Российской Федерации.



Рисунок 11 – Микроконтроллер MicroKraft III

4 Расчет электрофильтра типа ЭГВ-М2

Таблица 13 – Опросный лист для подготовки рекомендаций по выбору установок пылеулавливания [24]

№ п/п	Вопросы	Ответы
1	Наименование предприятия	ТЭЦ
2	Месторасположение предприятия	Красноярск
3	Режим работы оборудования (непрерывный, периодический, фонд машинного времени оборудования)	Постоянный
4	Длительность и периодичность профилактических или технологических остановок оборудования	120-240 ч/г
5	Характеристика существующей системы газоочистки (если таковая имеется)	БЦ-4-205
6	Наличие дымовой трубы (размеры), м: высота диаметр устья	180 м 7,6 м
7	Объемный расход газа, поступающего на очистку от каждого технологического агрегата в отдельности, отнесенный к 0 °С и 101,3 кПа,: минимальный (м ³ /час) максимальный (м ³ /час) нормальный (м ³ /час)	52,852 102,881 77,87
9	Температура газов на входе в установку газоочистки, °С: минимальная максимальная рабочая	143 197 170
10	Гидравлическое сопротивление рабочего тракта до газоочистки, Па	2

Окончание таблицы 13

№ п/п	Вопросы	Ответы
11	Допустимое падение давления газа в оборудовании газоочистки (гидравлическое сопротивление газоочистки), Па	100
12	Массовая концентрация взвешенных в газе частиц пыли перед очисткой, (г/нм ³ или г/м ³)	3,09 – 11,4
	Массовая концентрация взвешенных в газе частиц пыли после очистки, (г/нм ³ или г/м ³)	0,46 – 1,7
13	Требуемая массовая концентрация взвешенных в газе частиц пыли после очистки, (г/нм ³ или г/м ³)	0,15
14	Характеристика взвешенных в газе частиц: фракционный (дисперсный) состав насыпная плотность гигроскопичность	< 2мкм – 3% 2-5 мкм – 7 % 5-10 мкм – 16,5 % 10-25 мкм – 20 % 25-30 мкм – 9 % > 30 мкм – 44,5 % 34,67 % 1,1 кг/м ³
15	Система пылеудаления из аппарата	Пневмотранспортер, шибер
16	Необходимость возврата уловленной пыли в производство	–
17	Предполагаемое размещение вновь создаваемой системы газоочистки: желаемое место установки газоочистного аппарата (в помещении, на открытой площадке) размер площадки, на которой может быть установлен аппарат	Здание КЦ Длина 17900 мм Ширина 4800 мм Высота 12500 мм
18	Типы существующих или запроектированных дымососов	Д20х2 Количество на КА – 2 шт.

Исходные данные:

- Объемный расход газа, поступающего на очистку от КА
 $V_0 = 370368 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- плотность газов $\rho_0 = 1,31 \text{ кг}/\text{м}^3$;
- температура газов $t = 170 \text{ }^\circ\text{C}$;
- барометрическое давление $P_{\text{бар}} = 101,3 \text{ кПа}$;
- разрежение в системе аспирации $P_r = 2 \text{ кПа}$;
- рабочее напряжение $U = 110 \cdot 10^3 \text{ В}$;
- концентрация пыли перед электрофильтром $11,4 \text{ г}/\text{м}^3$.

Для расчета электрофильтра, необходимо знать вязкость газа поступающего на очистку. Следовательно находим состав дымовых газов:

1. Определение количества воздуха, необходимого для горения

Необходимый для горения объем воздуха и состав дымовых газов вычисляют при нормальных условиях для 1 кг твердого топлива по стехиометрическим реакциям горения и по заданному составу [6]. Теоретический объем воздуха, $\text{м}^3/\text{кг}$, необходимый для полного сгорания 1 кг твердого топлива вычисляют по формуле:

$$V_{\text{В}}^0 = 0,0889 \cdot C^P + 0,375 \cdot S^P + 0,265 \cdot H^P - 0,0333 \cdot O^P \quad (1)$$

$$V_{\text{В}}^0 = 0,0889 \cdot 42,63 + 0,375 \cdot 0,18 + 0,265 \cdot 2,98 - 0,0333 \cdot 13,24 = 5,1 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Объем CO_2 ($\text{м}^3/\text{кг}$) определяют по формуле:

$$V_{\text{CO}_2} = 0,0187 \cdot C^P \quad (2)$$

$$V_{\text{CO}_2} = 0,0187 \cdot 42,63 = 0,79 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Объем SO_2 ($\text{м}^3/\text{кг}$) определяют по формуле:

$$V_{SO_2} = 0,0069 \cdot S^P \quad (3)$$

$$V_{SO_2} = 0,0069 \cdot 0,18 = 0,00126 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретический объем азота ($\text{м}^3/\text{кг}$) в продуктах сгорания при теоретическом объеме воздуха находят по формуле:

$$V_{N_2}^O = 0,079 \cdot V_B^O + 0,008 \cdot N^P, \quad (4)$$

где N^P – процентное содержание азота, выраженное в отношении к рабочей массе топлива.

$$V_{N_2}^O = 0,079 \cdot 5,1 + 0,008 \cdot 0,6 = 4,0 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Водяные пары в дымовых газах образуются в результате сгорания водорода твердого топлива и испарения влаги, а также вносятся воздухом, поступающим для горения. Теоретический объем водяного пара ($\text{м}^3/\text{кг}$) вычисляют по формуле:

$$V_{H_2O}^O = 0,111 \cdot H^P + 0,0124 \cdot W^P + 0,0161 \cdot V_B^O, \quad (5)$$

где W^P – процентное содержание влаги в твердом топливе.

$$V_{H_2O}^O = 0,111 \cdot 2,98 + 0,0124 \cdot 33 + 0,0161 \cdot 5,1 = 0,8 \text{ м}^3/\text{кг}$$

Состав дымовых газов, % равен:

$$CO_2 = 14 \% ; H_2O = 14 \% ; O_2 = 1 \% ; N_2 = 71 \% ;$$

Таблица 14 – Дисперсный состав пыли

Размер частицы d , мкм	< 2	2-5	5-10	10-25	25-30	> 30
Средний радиус частиц $r_{\text{ср}}$, мкм	1,25	2,25	3,75	4,25	13,75	65
Содержание в газе, % (по массе)	3	7	16,5	20	9	44,5

Необходимые данные по техническим характеристикам электрофилтра принимаются по таблице 12.

2. Плотность газов при рабочих условиях находится по формуле:

$$\rho_{\Gamma} = \rho_{0\Gamma} \frac{273 \cdot (P_{\text{бар}} \mp P_{\Gamma})}{(273 + t_{\Gamma}) \cdot 101,3} \quad (6)$$

$$\rho_{\Gamma} = 1,31 \frac{273 \cdot (101,3 - 2)}{(273 + 170) \cdot 101,3} = 0,84 \text{ кг/м}^3$$

3. Расход газа при рабочих условиях:

$$V_{\Gamma} = \frac{V_0 \rho_{0\Gamma}}{3600 \rho_{\Gamma}} \quad (7)$$

$$V_{\Gamma} = \frac{370368 \cdot 1,31}{3600 \cdot 0,84} = 160,4$$

4. Скорость газа в электрофилтре принимаем за $W_{\Gamma} = 1$ м/с и находим по формуле необходимую площадь поперечного сечения электрофилтра:

$$F = \frac{V_{\Gamma}}{W_{\Gamma}} \quad (8)$$

$$F = \frac{160,4}{1} = 160,4 \text{ м}^2$$

Вследствие высокой дисперсности пыли, из каталога подбираем электрофильтр типа ЭГВ-М2.

5. Уточняем скорость газа в электрофильтре по формуле:

$$W_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{F} \quad (9)$$

$$W_{\Gamma} = \frac{160,4}{166,3} = 0,96 \text{ м/с},$$

где F – площадь активного сечения выбранного электрофильтра, м^2 .

6. Относительная плотность газов при нормальных условиях ($P_{\text{бар}} = 101,3$ кПа; $t = 20$ °С) находим по формуле:

$$\beta = \frac{T_{\text{ст}}(P_{\text{бар}} \pm P_{\Gamma})}{(273 + t_{\Gamma}) \cdot 101,3} \quad (10)$$

$$\beta = \frac{293(101,3 - 2)}{(273 + 170) \cdot 101,3} = 0,65$$

7. Критическая напряженность электрического поля находится по формуле:

$$E_{\text{кр}} = 3,04 \cdot \left(\beta + 0,0311 \sqrt{\frac{\beta}{R_1}} \right) \cdot 10^6 \quad (11)$$

$$E_{\text{кр}} = 3,04 \cdot \left(0,65 + 0,0311 \sqrt{\frac{0,65}{0,001}} \right) \cdot 10^6 = 4,4 \cdot 10^6 \text{ В/м,}$$

где R_1 – радиус коронирующего острия, принимаемый равным 0,001 м.

8. Критическое напряжение короны для электрофилтра находится по формуле:

$$U_{\text{кр}} = E_{\text{кр}} \cdot R_1 \left(\frac{\pi H}{S} - 2,31 \cdot \ln \frac{2R_1 \pi}{S} \right) \quad (12)$$

$$U_{\text{кр}} = 4,4 \cdot 10^6 \cdot 0,001 \left(\frac{3,14 \cdot 0,2}{0,4} - 2,31 \cdot \ln \frac{2 \cdot 0,001 \cdot 3,14}{0,4} \right) = 25520 \text{ В,}$$

где S – шаг коронирующего элемента, м: $S = 0,4$ м;

H – расстояние между плоскостями коронирующих и осадительных электродов, м:

$$H = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ м}$$

9. Линейная плоскость тока короны находится по формуле:

$$i_0 = \frac{4\pi^2 \cdot K \varphi U (U - U_{\text{кр}})}{9 \cdot 10^9 \cdot S^2 \left(\frac{\pi H}{S} - 2,31 \cdot \ln \frac{2R_1 \pi}{S} \right)}, \quad (13)$$

где K – коэффициент подвижности ионов, равный $2,1 \cdot 10^{-4}$;

φ – коэффициент, зависящий от отношения H/S (табл. 15):

Таблица – 15 Значения коэффициента φ [27]

$\frac{H}{S}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
φ	0,092	0,08	0,068	0,046	0,035	0,027	0,022	0,018	0,015	0,013	0,012

$$\varphi = \frac{H}{S} = \frac{0,2}{0,4} = 0,5$$

$$i_0 = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,092 \cdot 110000 (110000 - 25520)}{9 \cdot 10^9 \cdot 0,4^2 \left(\frac{3,14 \cdot 0,2}{0,4} - 2,31 \cdot \ln \frac{2 \cdot 0,001 \cdot 3,14}{0,4} \right)} = 0,85 \cdot 10^{-3} \text{ А/м}$$

10. Напряженность электрического поля находится по формуле:

$$E = \sqrt{\frac{8i_0H}{4\pi\epsilon_0K_0S}}, \quad (14)$$

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

$$E = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3} \cdot 0,2}{4 \cdot 3,14 \cdot 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,4}} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ В/м}$$

11. Динамическую вязкость газов входящих в состав дымовых газов при рабочих условиях (нс/м^2) находится по формуле:

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273+C}{T+C} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+t}{273} \right)^3}, \quad (15)$$

где μ_0 – коэффициент динамической вязкости газа при нормальных условиях, н·с/м²(табл. 16);

C – коэффициент, характерный для каждого вида газа.

Таблица 16 – Коэффициент динамической вязкости газа при нормальных условиях [27]

Вид газа	C	$\mu_0 \cdot 10^{-6}$, н·с/м ²
O_2	131	20,3
H_2O	673	10
N_2	114	17
CO_2	254	13,7

Коэффициенты динамической вязкости газообразных составляющих равны:

$$\mu_{O_2} = 20,3 \cdot 10^{-6} \frac{273+131}{443+131} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+170}{273}\right)^3} = 28,6 \cdot 10^{-6} \text{ нм/м}^2,$$

$$\mu_{N_2} = 17 \cdot 10^{-6} \frac{273+114}{443+114} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+170}{273}\right)^3} = 23,6 \cdot 10^{-6} \text{ нм/м}^2,$$

$$\mu_{CO_2} = 13,7 \cdot 10^{-6} \frac{273+254}{443+254} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+170}{273}\right)^3} = 20,7 \cdot 10^{-6} \text{ нм/м}^2,$$

$$\mu_{H_2O} = 10 \cdot 10^{-6} \frac{273+673}{443+673} \cdot \sqrt{\left(\frac{273+170}{273}\right)^3} = 17,0 \cdot 10^{-6} \text{ нм/м}^2$$

12. Вязкость газа определяется как сумма вязкостей.

$$\frac{M}{\mu} = \sum \frac{M_i}{\mu_i} = \left(\frac{a_{CO_2} \cdot M_{CO_2}}{\mu_{CO_2}} + \frac{a_{H_2O} \cdot M_{H_2O}}{\mu_{H_2O}} + \frac{a_{O_2} \cdot M_{O_2}}{\mu_{O_2}} + \frac{a_{N_2} \cdot M_{N_2}}{\mu_{N_2}} \right) \quad (16)$$

где a_i – содержание компонента в долях;

M_i – молекулярная масса газов (в кг/кмоль).

$$\frac{M}{\mu} = \sum \frac{M_i}{\mu_i} = \left(\frac{0,14 \cdot 44}{20,7 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,14 \cdot 18}{17 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,01 \cdot 32}{28,6 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,71 \cdot 28}{23,6 \cdot 10^{-6}} \right) = 128 \cdot 10^4$$

Т. к. относительная молекулярная масса газов равна:

$$M = \sum a_i \cdot M_i, \quad (17)$$

$$M = 0,14 \cdot 44 + 0,14 \cdot 18 + 0,01 \cdot 32 + 0,71 \cdot 28 = 29,55 \text{ кг/моль},$$

следовательно вязкость газов (нс/м²) равна:

$$\mu = \frac{29,55}{128 \cdot 10^4} = 0,231 \cdot 10^{-4} \text{ нс/м}^2$$

13. Коэффициент очистки газа:

$$\eta = \sum \frac{\eta_i \varphi_i}{100}, \quad (18)$$

где φ_i – содержание данной фракции в составе пыли;

η_i – эффективность очистки газового потока от конкретной фракции, равная:

$$\eta_i = 1 - e^{-f\omega_d}, \quad (19)$$

где F_3 – площадь осаждения осадительных электродов (из паспортных данных выбранного электрофилтра);

ω_d – скорость дрейфа.

f – удельная поверхность осаждения, $\text{м}^2 \cdot \text{с} / \text{м}^3$ равна:

$$f = \frac{F_3}{V_r} \quad (20)$$

$$f = \frac{14990}{160,4} = 93 \text{ м}^2 \cdot \text{с} / \text{м}^3;$$

14. Скорость дрейфа для разных фракций частиц пыли.

Скорость дрейфа частиц диаметром от 2 до 50 мкм определяется по формуле:

$$\omega = 1,118 \cdot 10^{-10} \cdot E^2 \frac{r}{\mu}, \quad (21)$$

а для частиц диаметром от 0,1 до 2 мкм по формуле:

$$\omega_m = \omega \left(1 + A \frac{\lambda}{r} \right), \quad (22)$$

где $A = 0,815 - 1,63$;

λ – средняя длина свободного пробега молекулы, м: для газов $\lambda = 10^{-7}$;

r – средний размер радиусов частиц (табл. 12).

Скорость дрейфа частиц диаметром от 0,1 до 2 мкм (при $A=1$) равна:

$$\omega = 1,118 \cdot 10^{-10} \cdot (1,5 \cdot 10^5)^2 \frac{r}{0,231 \cdot 10^{-4}} = 1,15 \cdot 10^4 r,$$

$$\omega_{<2} = 1,15 \cdot 10^4 \cdot 1,25 \left(1 + \frac{10^{-7}}{1,25} \right) = 0,0129 \text{ м/с},$$

$$\omega_{2-5} = 1,118 \cdot 10^{-10} \cdot (1,5 \cdot 10^5)^2 \frac{2,25}{0,231 \cdot 10^{-4}} = 0,026 \text{ м/с},$$

$$\omega_{5-10} = 1,118 \cdot 10^{-10} \cdot (1,5 \cdot 10^5)^2 \frac{3,75}{0,231 \cdot 10^{-4}} = 0,043 \text{ м/с},$$

$$\omega_{10-25} = 1,118 \cdot 10^{-10} \cdot (1,5 \cdot 10^5)^2 \frac{4,25}{0,231 \cdot 10^{-4}} = 0,049 \text{ м/с},$$

$$\omega_{25-30} = 1,118 \cdot 10^{-10} \cdot (1,5 \cdot 10^5)^2 \frac{13,75}{0,231 \cdot 10^{-4}} = 0,158 \text{ м/с},$$

$$\omega_{>30} = 1,118 \cdot 10^{-10} \cdot (1,5 \cdot 10^5)^2 \frac{65}{0,231 \cdot 10^{-4}} = 0,751 \text{ м/с}$$

15. Степень очистки газов. Для начало находятся фракционные коэффициенты очистки:

$$\eta_{<2} = 1 - e^{-93 \cdot 0,0129} = 0,85,$$

$$\eta_{2-5} = 1 - e^{-93 \cdot 0,026} = 0,911,$$

$$\eta_{5-10} = 1 - e^{-93 \cdot 0,043} = 0,982,$$

$$\eta_{10-25} = 1 - e^{-93 \cdot 0,158} = 1,$$

$$\eta_{>30} = 1 - e^{-93 \cdot 0,751} = 1,$$

следовательно, общий коэффициент очистки газов равен:

$$\eta = \frac{0,85 \cdot 3 + 0,911 \cdot 7 + 0,982 \cdot 16,5 + 0,999 \cdot 20 + 1 \cdot 9 + 1 \cdot 44,5}{100} = 98,69 \%$$

4.1 Расчет выбросов твердых частиц ТЭЦ

1. Суммарное количество твердых частиц [13] (летучей золы и несгоревшего топлива) $M_{\text{ТВ}}$, поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов (г/с, т), вычисляют по формуле:

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

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, %;

$Q_{\text{н}}^r$ – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

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

Суммарное количество твердых частиц при ГОУ БЦ-4-205:

$$M_{\text{ТВ}} = 0,01 \cdot 11100 \left(0,7 \cdot 7,37 + 0,4 \cdot \frac{15,9}{32,68} \right) (1 - 0,85) = 89 \text{ г/с} = 320 \text{ кг/ч}$$

Суммарное количество твердых частиц при ГОУ ЭГВ-М2:

$$M_{\text{ТВ}} = 0,01 \cdot 11100 \left(0,7 \cdot 7,37 + 0,4 \cdot \frac{15,9}{32,68} \right) (1 - 0,987) = 7,7 \text{ г/с} = 27,72 \text{ кг/ч}$$

2. Количество летучей золы (M_3) в г/с (т), входящее в суммарное количество твердых частиц, уносимых в атмосферу [13], вычисляют по формуле:

$$M_3 = 0,01 \cdot B \cdot a_{\text{уН}} \cdot A^r (1 - \eta) \quad (24)$$

Количество летучей золы при ГОУ БЦ-4-205:

$$M_3 = 0,01 \cdot 11100 \cdot 0,7 \cdot 7,37 \cdot (1 - 0,85) = 85,9 \text{ г/с}$$

Количество летучей золы при ГОУ ЭГВ-М2:

$$M_3 = 0,01 \cdot 11100 \cdot 0,7 \cdot 7,37 \cdot (1 - 0,987) = 7,4 \text{ г/с}$$

3. Количество твердых частиц (M_K) в г/с (т), образующихся в топке в результате механического недожога топлива и выбрасываемых в атмосферу в виде коксовых остатков при сжигании твердого топлива [13], определяют по формуле:

$$M_K = M_{\text{ТВ}} - M_3 \quad (25)$$

Количество твердых частиц, образующихся в топке при ГОУ БЦ-4-205:

$$M_K = 89 - 85,9 = 3,1 \text{ г/с}$$

Количество твердых частиц, образующихся в топке при ГОУ ЭГВ-М2:

$$M_K = 7,7 - 7,4 = 0,3 \text{ г/с}$$

Расчетные данные вносим в таблицу 17, для сравнения эффективности очистки батарейного циклона БЦ-4-205 и электрофильтра ЭГВ-М2.

Таблица 17 – Сравнительная характеристика аппаратов очистки газа БЦ-4-205 и ЭГВ-М2

№ п/п	Наименование	БЦ-4-205	ЭГВ-М2
1	Объемный расход газа, м ³ /ч	370368	370368
2	Температура газов на входе в аппарат очистки, °С	170	170
3	Массовая концентрация взвешенных частиц пыли перед очисткой(г/нм ³ или г/м ³)	3,09-11,4	3,09-11,4
4	Массовая концентрация взвешенных в газе частиц пыли после очистки, (г/нм ³ или г/м ³)	0,46-1,7	0,05-0,15
5	Требуемая массовая концентрация взвешенных в газе частиц пыли после очистки, (г/нм ³ или г/м ³)	0,15	0,15
6	Требуемая степень очистки, %	95-98,6	95-98,6
7	КПД, %	85	98,7
8	Суммарное количество твердых частиц, г/с	89,0	7,7
9	Количество летучей золы, г/с	85,9	7,4
10	Количество твердых частиц, г/с	3,1	0,3

5 Нормативно–правовая база

1. Основными законами, устанавливающими правовые основы охраны атмосферного воздуха, являются:

Федеральный закон от 04.05.1999 г. № 96-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «Об охране атмосферного воздуха».

Данный закон устанавливает правовые основы охраны атмосферного воздуха, направлен на обеспечение прав граждан на благоприятную окружающую среду и достоверную информацию о ее состоянии.

Область охраны атмосферного воздуха основывается на следующих принципах:

- приоритет охраны жизни и здоровья человека, настоящего и будущего поколений;
- обеспечение благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха человека;
- недопущение необратимых последствий загрязнения атмосферного воздуха для окружающей среды;
- обязательность государственного регулирования выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него;
- гласность, полнота и достоверность информации о состоянии атмосферного воздуха, его загрязнении;
- научная обоснованность, системность и комплексность подхода к охране атмосферного воздуха и охране окружающей среды в целом;
- обязательность соблюдения требований законодательства Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха, ответственность за нарушение данного законодательства.

Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) «Об охране окружающей среды».

Данный закон определяет правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды и сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности. Регулирует отношения в сфере взаимодействия общества и природы, возникающие при осуществлении хозяйственной и иной деятельности, связанной с воздействием на природную среду в пределах территории Российской Федерации.

Основные принципы охраны окружающей среды:

- соблюдение права человека на благоприятную окружающую среду;
- обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека;
- научно обоснованное сочетание экологических, экономических и социальных интересов человека, общества и государства в целях обеспечения устойчивого развития и благоприятной окружающей среды;
- охрана, воспроизводство и рациональное использование природных ресурсов как необходимые условия обеспечения благоприятной окружающей среды и экологической безопасности;
- ответственность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления за обеспечение благоприятной окружающей среды и экологической безопасности на соответствующих территориях;
- платность природопользования и возмещение вреда окружающей среде;
- независимость государственного экологического надзора;
- презумпция экологической опасности планируемой хозяйственной и иной деятельности;

- обязательность оценки воздействия на окружающую среду при принятии решений об осуществлении хозяйственной и иной деятельности;
- обязательность проведения в соответствии с законодательством Российской Федерации проверки проектов и иной документации, обосновывающих хозяйственную и иную деятельность, которая может оказать негативное воздействие на окружающую среду, создать угрозу жизни, здоровью и имуществу граждан, на соответствие требованиям технических регламентов в области охраны окружающей среды;
- учет природных и социально-экономических особенностей территорий при планировании и осуществлении хозяйственной и иной деятельности;
- приоритет сохранения естественных экологических систем, природных ландшафтов и природных комплексов;
- допустимость воздействия хозяйственной и иной деятельности на природную среду исходя из требований в области охраны окружающей среды;
- обеспечение снижения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду в соответствии с нормативами в области охраны окружающей среды, которого можно достигнуть на основе использования наилучших доступных технологий с учетом экономических и социальных факторов;
- обязательность участия в деятельности по охране окружающей среды органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных объединений и некоммерческих организаций, юридических и физических лиц;
- сохранение биологического разнообразия;
- обеспечение сочетания общего и индивидуального подходов к установлению мер государственного регулирования в области охраны окружающей среды, применяемых к юридическим лицам и индивидуальным

предпринимателям, осуществляющим хозяйственную и (или) иную деятельность или планирующим осуществление такой деятельности;

– запрещение хозяйственной и иной деятельности, последствия воздействия которой непредсказуемы для окружающей среды, а также реализации проектов, которые могут привести к деградации естественных экологических систем, изменению и (или) уничтожению генетического фонда растений, животных и других организмов, истощению природных ресурсов и иным негативным изменениям окружающей среды;

– соблюдение права каждого на получение достоверной информации о состоянии окружающей среды, а также участие граждан в принятии решений, касающихся их прав на благоприятную окружающую среду, в соответствии с законодательством;

– ответственность за нарушение законодательства в области охраны окружающей среды;

– организация и развитие системы экологического образования, воспитание и формирование экологической культуры;

– участие граждан, общественных объединений и некоммерческих организаций в решении задач охраны окружающей среды;

– международное сотрудничество Российской Федерации в области охраны окружающей среды;

– обязательность финансирования юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями, осуществляющими хозяйственную и (или) иную деятельность, которая приводит или может привести к загрязнению окружающей среды, мер по предотвращению и (или) уменьшению негативного воздействия на окружающую среду, устранению последствий этого воздействия.

Федеральный закон от 30.03.1999 N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»

Настоящий Федеральный закон направлен на обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения как одного из основных условий реализации конституционных прав граждан на охрану здоровья и благоприятную окружающую среду.

Данный закон определяет санитарно-эпидемиологические требования к атмосферному воздуху в городских и сельских поселениях, на территориях промышленных организаций, воздуху в рабочих зонах производственных помещений, жилых и других помещениях.

2. На территории Российской Федерации на сегодняшний день действуют следующие нормативные документы по организации воздухоохранной деятельности:

Постановление Правительства РФ от 02.03.2000 г. № 182 (ред. от 14 июля 2017г.) «О порядке установления и пересмотра экологических и гигиенических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимых уровней физических воздействий на атмосферный воздух и государственной регистрации вредных (загрязняющих) веществ и потенциально опасных веществ».

Настоящее Положение устанавливает экологические нормативы качества атмосферного воздуха, методы определения экологических нормативов качества атмосферного воздуха, предельно допустимые (критические) нагрузки на экологические системы и другие экологические нормативы в целях охраны атмосферного воздуха устанавливаются и пересматриваются Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Совместно с Федеральной службой по надзору в сфере природопользования организует регистрационные испытания вредных (загрязняющих) веществ и потенциально опасных веществ, которые оказывают или могут оказывать вредное воздействие на человека и окружающую природную среду, и осуществляет их государственную регистрацию.

Постановление Правительства РФ от 02.03.2000 г. № 183 «О нормативах выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него».

Настоящее Положение определяет нормативы выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации разрабатывает и утверждает методы (методики) определения нормативов выбросов вредных (загрязняющих) веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух и временно согласованных выбросов. А также утверждает предельно допустимые нормативы вредных физических воздействий на атмосферный воздух, за исключением предельно допустимых нормативов вредных физических воздействий, оказывающих отрицательное влияние на здоровье людей, методы определения этих нормативов и виды источников, для которых они устанавливаются.

Постановление Правительства РФ от 21.04.2000 г. № 373 «Об утверждении положения о государственном учете вредных воздействий на атмосферный воздух и их источников».

Настоящее Положение определяет порядок государственного учета вредных воздействий на атмосферный воздух и их источников.

Основные задачи государственного учета:

- формирования и обеспечения реализации федеральных целевых программ по охране атмосферного воздуха;
- разработки и выполнения мероприятий по охране атмосферного воздуха, вытекающих из международных обязательств Российской Федерации;
- разработки и реализации региональных целевых программ охраны атмосферного воздуха;
- регулирования выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на него;

- проектирования, размещения, строительства, реконструкции и эксплуатации объектов, влияющих на состояние атмосферного воздуха;
- размещения и развития городских и иных поселений;
- осуществления государственного контроля над охраной атмосферного воздуха;
- прогнозирования изменений качества атмосферного воздуха;
- определения и взимания платы за загрязнение атмосферного воздуха;
- информирования населения, органов государственной власти и других заинтересованных лиц о загрязнении атмосферного воздуха;

Государственный учет вредных воздействий на атмосферный воздух осуществляется Государственным комитетом Российской Федерации по охране окружающей среды, Министерством здравоохранения Российской Федерации, Государственным комитетом Российской Федерации по статистике и их территориальными органами.

Постановление Правительства РФ от 28.11.2002 г. № 847 (ред. от 22.04.2009) «О порядке ограничения, приостановления или прекращения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на атмосферный воздух»;

Настоящее Положение определяет ограничение, приостановление или прекращение выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на атмосферный воздух.

Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации разрабатывает и утверждает в установленном порядке по согласованию с Министерством здравоохранения Российской Федерации показатели, на основе которых выдается предписание о прекращении выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух и вредных физических воздействий на атмосферный воздух.

Положение о Федеральной службе по надзору в сфере природопользования, утвержденное Постановлением Правительства РФ от 30.07.2004 г. № 400 (ред. от 13.12.2017);

Настоящее Положение устанавливает, что Федеральная служба по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор) является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по контролю и надзору в сфере природопользования, а также в пределах своей компетенции в области охраны окружающей среды, в том числе в части, касающейся ограничения негативного техногенного воздействия, в области обращения с отходами (за исключением радиоактивных отходов) и государственной экологической экспертизы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение атмосферного воздуха в г. Красноярске одна из наиболее острых проблем, т. к. основная часть населения города проживает в районах, где концентрации по ряду загрязняющих веществ регулярно превышают санитарные нормы.

По данным гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды г. Красноярска уровень загрязнения атмосферы оценивается как «очень высокий».

В данной работе было рассмотрено снижение негативного воздействия на примере ТЭЦ, с помощью модернизации газоочистного оборудования.

1. Была рассмотрена характеристика промышленного предприятия и его влияние на атмосферный воздух. Выявлены основные источники, загрязняющие атмосферу, такие как: пыль неорганическая (зола), сернистый ангидрид, окислы азота (диоксид азота, оксид азота), оксиды углерода.

2. В результате изучения технологического процесса и существующей системы золоулавливания превышены выбросы взвешенных загрязняющих веществ. Концентрация взвешенных веществ в дымовых газах после очистки золоуловителем БЦ4-205 составляет 0,46-1,7 г/м³.

3. Для снижения выбросов в атмосферу, был рассчитан и подобран электрофильтр ЭГВ-М2, степень очистки составляет 98,7 %, что соответствует нормативам выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух

Концентрация взвешенных веществ в дымовых газах после применения в качестве золоуловителя ЭГВ-М2 составляет 0,05-0,15 г/м³.

4. Также после модернизации газоочистного оборудования снижается количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива), поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов с 89 г/ до 7,7 г/с.

В результате проведенной работы по замене газоочистного оборудования БЦ4-205 на электрофильтр ЭГВ-М2, снижается негативное воздействие на атмосферный воздух до требуемых нормативов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 57021-2016 Угли Канско-Ачинского бассейна для энергетических целей. Технические условия – Утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 июля 2016 г. N 895-ст – от 01.08.2017.
2. ГОСТ Р 50831-95 Установки котельные. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования – утвержден и введен в действие Постановлением Госстандарта Российской Федерации от 25 октября 1995 г. N 553.
3. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. – Постановление главного государственного санитарного врача РФ от 22 декабря 2017 года N 165. – Зарегистрировано в Минюсте России 9 января 2018 г. N 49557.
4. ОСТ 34-70-542-2001 Зола-унос тепловых электростанций. Нормативные характеристики – РАО «ЕЭС России» – Москва : АО «ВТИ», 2001 г.
5. Безуглая, Э. Ю. Климатические характеристики условий распространения примесей в атмосфере: справочное пособие / Э. Ю. Безуглая. – Л. : Гидрометеиздат, 1983.
6. Белоусов, В. Н. Топливо и теория горения Ч 2: учебное пособие / В. Н. Белоусов, С. Н. Смородин, О. С. Смирнова. – Санкт-Петербург : СПбГТУРП 2011. – 84 с.
7. Бойко Е. А. Котельные установки и парогенераторы (тепловой расчет парового котла): учебное пособие / Е. А. Бойко, И. С. Деринг, Т. И. Охорзина. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 96 с.
8. Вальдберг, А. Ю. Образование туманов и каплеулавливание в системах очистки газов : пособие для специалистов / А.Ю. Вальдберг, А. А. Мошкин, И. Г. Каменщиков. – М. : Изд. дом «Грааль», 2003. – 256 с.

9. Веригин, А.Н. Химико-технологические агрегаты конденсационного улавливания пыли учебное пособие /А.Н. Веригин, В.Н. Федоров, М.С. Малютин. – Санкт- Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2000. – 336 с.

10. Ветошкин , А. Г. Процессы и аппараты пылеочистки : учебное пособие / – А. Г. Ветошкин. – Пенза : Изд-во Пензенского государственного университета, 2005. – 210 с.

11. Ветошкин, А.Г. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы) : учебное пособие. / А. Г. Ветошкин, К. Р. Таранцева – Пенза : Изд-во Пензенского технологического ин-та, 2004. – 246 с.

12. Ерофеев, Б.В. Экологическое право России : учебник / Б.В. Ерофеев – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва : Юристъ, 2005. – 205 с.

13. Кулагина, Т. А. Технологические процессы и загрязняющие выбросы : учебное пособие / Т. А. Кулагина, И. В. Андруняк, Д. А. Кашин. – Красноярск : СФУ, 2012. – 88 с.

14. Малахов, В.М. Тепловое загрязнение окружающей среды промышленными предприятиями : учебное пособие / В. М. Малахов, В. Н. Сенин. – Москва : «Экология», 1996. – 124 с.

15. Санаев, Ю. И. Обеспыливание газов электрофильтрами : пособие / Ю. И. Санаев. – Ярославль, 2009 – 163 с.

16. Сорокин, Н. Д. Пособие для природопользователей по вопросам охраны окружающей среды / Н.Д. Сорокин, Е. Б. Королева, Л. И. Жегло, Е. В. Лосева, М. А. Копылов, Гришина Ю. А. – Санкт-Петербург : Космос, 2013. – 223 с.

17. 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.

18. Стрекалова, В.А. Процессы и аппараты защиты атмосферы : учебное пособие / В. А. Стрекалова, Т. А. Стрекалова, Д. Ю. Егорихина. – Красноярск : СФУ, 2008 – 119с.

19. Трубаев, П. А. Практикум по гидравлическим машинам и компрессорам : учебное пособие / П. А. Трубаев, П. В. Беседин. – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 2001. – 108 с.
20. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами : научное изд. / В. Н. Ужов. – Москва : Химия, 1967. – 340 с.
21. Швыдкий, В.С. Очистка газов : справочное издание / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. Москва : Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.
22. Швер, И. А., Герасимова А.С. Климат г. Красноярска / И.А Швер. Л : Гидрометеоиздат, 1983.
23. Испытание котельных установок КрасноярскойТЭЦ-1 : методические указания по лабораторной работе / сост. С. В. Пачковский, Е. А. Бойко, П. В. Шишмарёв., Янов С.Р. – Красноярск : ИПК СФУ, 2014. – 43 с.
24. Каталог пылеулавливающего оборудования : научный сборник / Холдинговая группа «Кондор Эко–СФ НИИОГАЗ» – рп. Семибратово, 2012. – 256 с.
25. Процессы и аппараты защиты атмосферы : практикум. / В. В. Коростовенко, В. А. Стрекалова – Красноярск : КГАЦМиЗ, 2003. – 141 с.
26. Экологические требования к установкам очистки газов. Методическое пособие. – Введен 21.06.1996 г. – Санкт-Петербург: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ.
27. Экотехника. Аппаратура процессов очистки промышленных газов и жидкостей : учебное пособие/Д. Е. Смирнов [и др.]. – Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 2013. – 180 с.
28. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году» — Красноярск, 2017.
29. «Методических рекомендаций по разработке проекта нормативов предельного размещения отходов для теплоэлектростанций, теплоэлектроцентралей, промышленных и отопительных котельных» подготовлено Григорьевым Л.Н. (СПб ГТУ РП) при участии «Фирмы «Интеграл» 15.06.2001 г.

30. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения [Электронный ресурс] : федеральный закон Российской Федерации от 30.03.1999 N 52-ФЗ // Справочная правовая система «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

31. 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>.

32. 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>.

33. 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>.

Министерство образования и науки Российской Федерации
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»

«Модернизация системы очистки отходящих газов на ТЭЦ»

Пояснительная записка

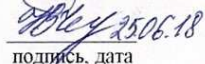
Руководитель


подпись, дата

канд. техн. наук

Л. В. Кулагина

Выпускник


подпись, дата

Н. В. Чекалова

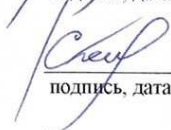
Консультанты по разделам:

Консультант по
нормативно-правовой базе


подпись, дата

С. В. Комонов

Нормоконтроль


подпись, дата

С. В. Комонов

Красноярск 2018