

6/7/1

Одобрено кафедрой
«Инженерная экология
и техносферная
безопасность»

Утверждено
деканом факультета
«Управление
процессами перевозок»

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Рабочая программа
и задание на контрольную работу
с методическими указаниями
для студентов IV и V курсов

специальности
280101 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
В ТЕХНОСФЕРЕ (БЖТ)



Москва – 2007

Рабочая программа и контрольная работа составлены в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и удовлетворяет государственным требованиям к минимуму содержания и уровню подготовки инженеров по специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».

С о с т а в и т е л и : канд. техн. наук, проф. Н.И. Зубрев,
преп. И.Ю. Крошечкина

Р е ц е н з е н т : канд. техн. наук, доц. Г.Ф.Климова

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Курс дисциплины «Системы защиты среды обитания» предназначен для студентов IV и V курса специальности 280101 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».

Изучение данной дисциплины является необходимым этапом в подготовке и профессиональной работе инженеров.

Одной из наиболее актуальных проблем является загрязнение воздушного бассейна промышленными выбросами. Для качественного решения этой проблемы необходимо рассматривать весь комплекс вопросов, связанных с загрязнением воздуха: виды загрязнений атмосферы и их свойства, нормирование качества воздуха и выбросов, принципы образования загрязняющих веществ, поведение выбросов в атмосфере, физические и химические процессы, лежащие в основе процессов очистки выбросов, конструкция газоочистного оборудования и разработка технологии газоочистки, утилизация уловленного продукта, что и является предметом данного курса. При этом особое внимание уделяется всестороннему анализу и оптимизации действующих газоочистных установок с учетом внедрения новых перспективных технологий, порядку расчета газоочистного оборудования и проблемам, возникающим в связи с этим.

Изучив данную дисциплину студент должен знать:

- нормы контроля воздушной среды;
- последствия загрязнения воздушной среды;
- перемещение и превращение загрязняющих веществ в атмосфере;
- классификация пыли и ее свойства;
- классификация аппаратов пыле- и газоочистки;
- основные характеристики и принцип работы аппаратов пыли – и газоочистки.

Содержание программы основывается на физических, химических и математических знаниях студента, заложенных в курсе общего и специального среднего образования. Курс включает лекционные, практические и лабораторные занятия, выполнение контрольной работы; для углубления фундаментальных знаний предмета студенту предлагается самостоятельная работа по ин-

тересующим их темам в виде научных сообщений и рефератов на семинарах или студенческих конференциях.

2. ЦЕЛЬ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины является изучение технологий очистки загрязненных промышленных выбросов и сточных вод, а так же существующих аппаратов защиты атмосферного воздуха и водных объектов.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ВРЕМЕНИ

Виды учебной работы	Всего часов	
	IV курс	V курс
Общая трудоемкость дисциплины	146	160
Аудиторные занятия	20	24
Лекции	8	12
Практические занятия		4
Лабораторные занятия	12	8
Самостоятельная работа	100	102
Курсовой проект		1
Контрольная работа	1	
Вид итогового контроля	зачет	экзамен

4. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Часы
1	Введение. Загрязнители атмосферы. Нормативы качества атмосферного воздуха	2
2	Перемещения и превращения ЗВ в атмосфере. Физико-химические основы удаления загрязняющих веществ из атмосферы	2
3	Сухие пылеуловители. Аппараты мокрого пылеулавливания	2
4	Электрофильтры. Техника и технологии удаления газообразных вредных веществ из выбросов	2
5	Нормирование качества воды в водных объектах	2
6	Механические методы очистки сточных вод	2
7	Физико-химические методы очистки сточных вод	2
8	Химические методы очистки сточных вод	2
9	Электрохимические методы очистки сточных вод	2
10	Биологические методы очистки сточных вод. Комбинированные методы очистки производственных стоков	2

5. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Часы
1	Очистка газовоздушных выбросов от аэрозолей на волокнистом фильтре	12
2	Очистка сточных вод методом реагентной коагуляции	4
3	Очистка сточных вод методом электрокоагуляции	4

6. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ п/п	Наименование темы	Часы
1	Определение размеров, энергозатрат и времени защитного действия адсорбера.	2
2	Проектирование установки с многоярусными гидроциклонами для очистки сточных вод от вагранок литейного цеха	2

7. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. АТМОСФЕРА – ОСНОВА ЖИЗНИ

Строение атмосферы Земли. Последствие загрязнение атмосферы. Влияние атмосферы на здоровье людей. Влияние атмосферы на растительность. Влияние атмосферы на материалы. Глобальные экологические проблемы, связанные с загрязнением атмосферы. Самоочищение атмосферы.

Раздел 2. ЗАГРЯЗНИТЕЛИ АТМОСФЕРЫ

Определение и классификация взвешенных веществ. Основные физико-химические свойства взвешенных частиц. Дисперсный состав пыли. Определение концентрации взвешенных веществ. Характеристика загрязняющих газообразных веществ. Определение концентрации газообразных вредных веществ. Классификация выбросов в атмосферу. Классификация источников выбросов. Определение запыленности газового потока.

Раздел 3. НОРМАТИВЫ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Классификация нормативов качества атмосферного воздуха. Концентрация загрязняющего вещества. Предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества (ПДК). ПДК рабочей зоны. ПДК максимально разовое. ПДК среднесуточное. Предельно допустимый выброс загрязняющего вещества. Классификация загрязняющих веществ по степени воздействия на окружающую среду.

Раздел 4. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И ПРЕВРАЩЕНИЕ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ

Теоретические основы рассеивания выбросов. Влияние метеорологических факторов на рассеивание. Влияние характеристик местности на рассеивание. Влияние искусственных сооружений на рассеивание. Расположение источников выбросов и защищаемых объектов. Превращение загрязняющих веществ в атмосфере.

Раздел 5. ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВЫБРОСОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Гравитационное осаждение. Центробежное осаждение. Инерционное осаждение. Зацепление. Диффузионное осаждение. Осаждение под действием электрического поля. Термофорез. Диффузиофорез. Использование электромагнитного поля для осаждения частиц. Суммарная эффективность под воздействием различных механизмов осаждения. Особенности осаждения частиц при контакте газового потока с жидкостью. Фильтрация через пористые материалы. Адсорбция. Абсорбция. Катализ. Термическое окисление.

Раздел 6. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ

Классификация газо- и пылеулавливающего оборудования. Основные характеристики. Эффективность очистки газов. Производительность газоочистных устройств. Гидравлическое сопротивление. Расход электрической энергии. Стоимость очистки.

Раздел 7. СУХИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ

Аспирационные устройства. Вытяжные зонты. Пылеосадительная камера. Расчет пылеосадительной камеры. Инерционные пылеуловители. Выбор и расчет инерционных пылеуловителей. Циклоны. Прямоточные и групповые циклоны. Выбор и расчет циклонов. Вихревые пылеуловители. Динамические пылеуловители. Преимущества и недостатки механических пылеуловителей.

Раздел 8. ФИЛЬТРЫ

Преимущества фильтров. Классификация фильтрующих материалов. Способы регенерации фильтров. Абсолютные фильтры. Мокрые фильтры туманоуловители. Тканевые фильтры. Виды фильтровальных тканей. Способы регенерации тканевых фильтров. Расчет тканевых фильтров. Зернистые фильтры.

Раздел 9. МОКРЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ

Классификация аппаратов мокрого пылеулавливания. Способы подвода орошаемой жидкости в мокрые газоочистные аппараты. Форсунки. Каплеулавливающие устройства. Полые газопромыватели. Насадочные газопромыватели. Тарельчатые газопромыватели. Газопромыватели с подвижным слоем насадки. Газопромыватели ударно-энергетического действия. Центробежные газопромыватели. Механические газопромыватели. Скоростные газопромыватели. Расчет мокрых пылеуловителей. Преимущества и недостатки мокрого пылеулавливания.

Раздел 10. ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ

Преимущества и недостатки электрофильтров. Классификация электрических фильтров. Конструкции электрофильтров. Основные типы электрофильтров. Выбор и расчет электрофильтра.

Раздел 11. ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ

Абсорбционная очистка газов. Разработка и проектирование абсорбционных систем. Абсорберы, применяемые для очистки га-

зов. Расчет адсорберов. Адсорбционная очистка газов. Виды адсорберов. Расчет адсорберов. Каталитическая очистка газов. Катализаторы для очистки газов. Конструкция каталитических реакторов. Расчет реакторов с фильтрующим слоем. Термическое обезвреживание газов.

Раздел 12. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ В ВОДОЕМАХ

Природные воды, их классификация. Примеси природных вод. Нормы контроля загрязнений в сточных водах. Контроль состава сточных вод. Концентрация вредных примесей. Фоновая концентрация. Предельно допустимый сброс. Лимитирующие показатели вредности. Типы водопользования.

Раздел 13. МЕХАНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Процессы обеспечивающие очистку сточных вод в результате применения механических методов. Усреднители. Улавливание крупных примесей. Конструкция решеток. Барабанные сетки и микрофильтры. Сооружения и аппараты для осаждения примесей из сточных вод. Отстаивание. Расчет отстойников. Тонкослойный отстойник. Двухъярусный отстойник. Способы удаления и переработки осадка сточных вод. Песколовки. Классификация и принцип работы отстойников. Осветлители. Конструктивные особенности и принцип работы осветлителей. Очистка сточных вод от всплывающих примесей. Нефтеловушки. Фильтрация. Классификация фильтров. Состав фильтровальных элементов. Центрифуги. Способы регенерации фильтров. Гидроциклоны. Конструкции гидроциклонов (открытые, напорные, многоярусные). Принцип работы гидроциклонов, их достоинства и недостатки.

Раздел 14. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Фильтры – нейтрализаторы. Коагуляция и коагуляционные установки. Коагуляция коллоидных растворов. Концентрационная коагуляция.

Нейтрализационная коагуляция. Доза коагулянта. Коагулирование с подщелачиванием. Флокуляция. Флотация. Флотационные установки. Принцип действия и классификация флотационных установок. Достоинства и недостатки флотационных установок. Расчет флотатора. Импульсная флотация. Пневматическая флотация.

Раздел 15. ХИМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Выбор материала электрода. Электрокоагуляция. Принцип работы и конструктивные особенности установки. Достоинства и недостатки электрокоагуляционной установки. Электрофлотация. Принцип работы электрофлотатора. Электролизеры. Классификация химических методов очистки сточных вод. Аппараты для адсорбционной и обменной обработки. Нейтрализация. Нейтрализация дымовыми газами. Окисление. Восстановление. Установки хлорирования и озонирования. Экстракционные установки. Достоинства и недостатки данных методов. Аппараты для мембранной очистки производственных сточных вод.

Раздел 16. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Морфология микроорганизмов. Физиология микроорганизмов. Закономерности распада органических веществ. Влияние факторов окружающей среды на микроорганизмы. Очистка сточных вод в природных условиях. Поля орошения. Биологические пруды. Очистка сточных вод в искусственных условиях. Аэротенк – принцип работы, достоинства и недостатки. Биологические фильтры. Пруды – отстойники.

Методы удаления ионов тяжелых металлов. Влияние кислотности среды на осаждение ионов металлов. Реагентные методы. Ионный обмен. Гальванокоагуляция.

Методы удаления поверхностно активных веществ. Метод пенного сепарирования. Замкнутые системы водопользования на предприятиях железнодорожного транспорта.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Основная литература

1. Техника и технология защиты воздушной среды: Уч. пос./ В.В. Юшин и др. – М.: Высшая школа, 2005.
2. Зубрев Н.И., Байгулова Т.М, Зубрева Н.П. Теория и практика защиты окружающей среды. – М.: Желдориздат, 2004.

8.2. Дополнительная литература

1. Еремкин А.И. Нормирование выбросов загрязняющих веществ в атмосферу: Уч. пос./ А.И. Еремкин, И.М. Крашнин, Ю.И. Юнкерев. – М.: АСВ, 2000.
2. Инженерная защита окружающей среды. В примерах и задачах: Уч. пос./ Под ред. О.Г. Воробьева. – СПб.: Лань, 2002.
3. Практикум по экологии и охране окружающей среды: Уч. пос./ А.И. Федорова. – М.: Владос, 2001.
4. Родионов А.И., Кузнецов Ю.П., Соловьев Г.С. Защита биосферы от промышленных выбросов. — М.: Химия. Колос, 2005.
5. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. — М.: Metallurgia, 1986.
6. Цховребов Э.С. Сборник задач и упражнений по охране окружающей среды на железнодорожном транспорте. — М.: Космосинформ, 1993.
7. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. — М.: Химия, 1991.
8. Алиев А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок. — М.: Химия, 1992.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа состоит из четырех задач и выполняется студентом в тетради с учетом следующих требований:

1. Вариант выбирается студентом по последней цифре шифра.
2. Каждое задание выполняется с новой страницы.
3. Далее полностью записывается условие задачи, исходные данные для расчета согласно варианту.
4. До решения приводится схема очистного устройства, расчет которого выполняется в задании.
5. Все чертежи выполняются на миллиметровой бумаге с помощью чертежных принадлежностей и вкладываются в контрольную работу.
6. Математические расчеты производятся с точностью до тысячных.
7. В конце контрольной работы необходимо предоставить список использованной литературы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАНИЮ № 1

1.1. СВОЙСТВА ПЫЛИ

Кроме физических и химических факторов свойства пыли определяют распространение ее в воздушной среде. Мелкодисперсная пыль осаждается медленнее, чем крупнодисперсная, а высокодисперсная пыль практически не осаждается.

При совершенствовании пылеулавливающего оборудования необходимо чувствовать свойства пыли, а так же осуществлять мероприятия по снижению или полному предотвращению выделения пыли и ее распространению. К основным свойствам пыли относятся:

- *слипаемость* возникает при взаимодействии пылевых частиц между собой и с поверхностями ограждений или конструкций образуются конгломераты. Это явление называется слипаемостью. Слипаемость обуславливается силами молекулярного, капиллярного и электрического происхождения;

- *сыпучесть* характеризует подвижность частиц пыли относительно друг друга и поверхности. Другими словами сыпучесть – это способность частиц перемещаться под действием внешних сил. Понятие «сыпучесть» используется при определении конструктивных параметров оборудования по улавливанию и транспортировке пыли. От сыпучести пыли зависит угол наклона нижней части бункера пыли;

- *гигроскопичность* — способность пыли поглощать влагу. Количество влаги в пыли или ее влагосодержание меняется в зависимости от относительной влажности воздуха;

- *смачиваемость* пыли определяется ее взаимодействием с водой. Если при попадании пыли на поверхность воды доля затонувших частиц превышает 80 %, то смачиваемость пыли считается хорошей. Смачиваемость пыли определяет возможность использования мокрой уборки и гидроудаления;

- *горючесть и взрываемость пыли* — ее способность образовывать с воздухом горючую или взрывоопасную смесь. Это главное отрицательное свойство пыли. Многие виды пыли образуют с воздухом взрывоопасную смесь. При этом пыль в состоянии аэрозоля, т.е. находящаяся во взвешенном состоянии, взрывоопасна, а осевшая на поверхности- пожароопасна;

- *самовозгорание* — возникновение горения при отсутствии источника зажигания. Самовозгорание может быть тепловым (при нагревании вещества до определенной температуры), микробиологическим (в результате жизнедеятельности организмов и выделении при этом теплоты) и химическим (в результате химических экзотермических реакций). Взрыво- и пожароопасность уменьшаются с увеличением влажности, а также при наличии в пылевоздушной смеси минеральных добавок, не участвующих во взрывообразовании;

- *электрические свойства* в значительной степени влияют на процесс коагуляции, ее взрывоопасность и воздействие на живые организмы.

1.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Пылеуловителями называют устройства, действия которых основаны на использовании для осаждения пылевых частиц сил тяжести или инерции, отделяющих пыль от воздушного или газового потоков при изменении скорости и направления движения.

По принципу удаления взвешенных частиц из газового потока золоуловители можно классифицировать следующим образом:

1. Устройства, работа которых основана на использовании силы тяжести (пылевые камеры). Ввиду громоздкости и низкой эффективности в настоящее время этот способ не применяется;

2. Сухие инерционные золоуловители. (Для выделения частиц здесь используются силы инерции, центробежные силы);

3. Тканевые фильтры (используется принцип фильтрации газов через ткань);

4. Мокрые инерционные золоуловители. (Здесь кроме сил инерции и центробежных сил используется принцип пленочного и капельного улавливания жидкостью);

5. Турбулентные золоуловители с применением труб Вентури (используется укрупнение частиц в турбулентном потоке с последующим улавливанием укрупненных капель в мокром циклоне);

6. Пенные газопромыватели, использующие принцип барботажа запыленных газов через слой водяной пены;

7. Ультразвуковые коагуляторы, использующие ультразвук для укрупнения мельчайших частиц;

8. Электрофильтры, в которых происходит ионизация газа, перемещение частицами летучей золы электрических зарядов и перемещение в мощном электрическом поле этих частиц к осадительным электродам.

К основным требованиям, предъявляемым к системам пылеулавливания, относятся высокая эффективность и эксплуатационная надежность. Эффективность практически всех пылеуловителей зависит от дисперсного состава частиц.

Пылеулавливающее оборудование по особенностям процесса отделения твердых частиц от газовой фазы можно разделить на две группы:

- оборудования для улавливания пыли сухим способом, к которому относятся пылеосадительные камеры, циклоны, вихревые циклоны, жалюзные и ротационные пылеуловители, фильтры и электрофильтры;

- оборудования для улавливания пыли мокрым способом: скрубберы Вентури, форсуночные скрубберы, пенные аппараты и другие виды установок.

1.3. КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЖАЛЮЗИЙНОГО ЗОЛОУЛОВИТЕЛЯ

В котельных, работающих на низкосортных топливах и угрубленном помолу угля, наблюдается сильный износ дымососов. Для того, чтобы избежать быстрого износа дымососов применяются жалюзийные пылеуловители, которые используются с целью улавливания наиболее крупных фракций. Иногда дымососы применяются как первая ступень очистки в двухступенчатой схеме. Жалюзийные золоуловители малогабаритны, поэтому могут быть установлены в существующих дымоходах.

Жалюзийный золоуловитель (рис. 1) представляет собой решетку, составленную из ряда лопастей, собранных в виде жалюзи. Решетка устанавливается в прямом газоходе под небольшим углом к направлению движения газов и разделяет его на входную и выходную камеры.

Запыленный газ при входе в решетку разбивается на ряд отдельных струек по числу лопастей в решетке. Каждая струйка при входе в зазор между лопастями делает резкий поворот. Содержащиеся в ней крупные частицы золы по инерции улетают дальше, ударяются о кромку следующей лопасти и отражаются внутрь входной камеры. Отраженная зола отжимается к противоположной стенке входной камеры и двигается к ее заднему узкому концу. В этом месте решетка не доходит до противоположной стенки. Между решеткой и стенкой остается узкая щель в ширину всей решетки. Основная масса газа проходит через решетку, небольшая часть —

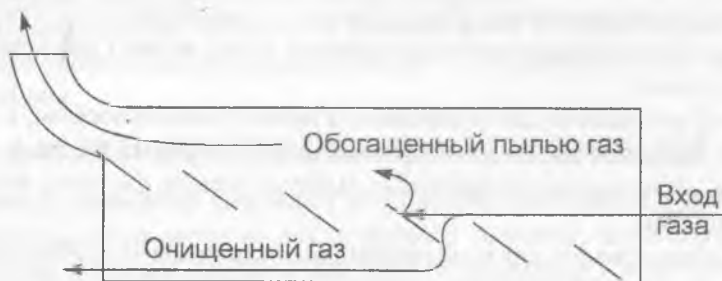


Рис. 1. Схема действия жалюзийного пылеуловителя

через щель в циклон. В циклоне пыль улавливается, очищенный газ направляется в выходную камеру.

На работу жалюзийного золоуловителя оказывают влияние следующие факторы:

- скорость в отсосной щели. С увеличением скорости в отсосной щели коэффициент очистки возрастает. Однако увеличение отношения скорости в отсосной щели к входной скорости больше 1,25 уже мало влияет на коэффициент очистки;

- ширина отсосной щели. Рекомендуемая ширина отсосной щели — 7 % от ширины входного патрубка. Тогда количество отсасываемого воздуха:

$$G_v = 7 \times 1,25 = 8,75 \%;$$

- угол наклона лопастей. При изучении функции $n = f(b)$, где b — угол наклона лопастей, выяснено, что наилучший угол наклона $b = 30^\circ$;

- зависимость степени очистки от шага лопастей такова: с уменьшением шага степень очистки растет, но растет и сопротивление золоуловителя. Рекомендуется принимать шаг решетки 50 мм. Сопротивление жалюзийного золоуловителя ВТИ для котла с $D = 200$ т/ч при шаге решетки 50 мм — 300 Па, а со всеми подводящими и отводящими газоходами — 600 Па;

- с увеличением числа уголков в решетке увеличивается интенсивность износа уголков, расположенных у отсосной щели и несколько снижается степень очистки дымовых газов. Чем ближе к отсосной щели, тем больше износ уголков ввиду увеличения концентрации пыли. Интенсивность износа решетки пропорциональна кубу скорости газа;

- нагрузка котлоагрегата несущественно влияет на степень очистки газов. Так, испытаниями одного из котлов установлено, что при снижении нагрузки котла в 2 раза степень очистки понизилась всего на 2–3 %.

На поворотах газоходов перед жалюзийной решеткой следует устанавливать направляющие лопатки для обеспечения равномерного распределения газов и концентрации золы по сечению газохода перед золоуловителем во избежание неравномерного износа угол-

гов решетки. При изготовлении жалюзийных золоуловителей особое внимание необходимо уделить правильному устройству отсосной щели, ибо ошибки при ее изготовлении значительно влияют на коэффициент очистки газов.

Коэффициент очистки газов жалюзийного золоуловителя рассчитывают по формуле

$$\eta = \eta_p \times \eta_{\text{ц}},$$

где η_p — КПД решетки; $\eta_{\text{ц}}$ — КПД циклона.

Наиболее распространенной является конструкция Всесоюзного теплотехнического института (ВТИ), схема которой представлена на рис. 2. В данной конструкции решетку 1 выполняют из угловой стали в виде буквы V и устанавливают на прямом участке газохода прямоугольного сечения под углом 7–8 градусов к направлению движения газов. Щели между решеткой и противоположными стенками газохода образуют каналы, суживающиеся в направлении движения газов и заканчивающиеся щелями. Через эти щели обогащенные пылью газы (около 10 % от общего объема) поступают в циклоны 2. КПД жалюзийных золоуловителей приведены в табл. 1.

Таблица 1
КПД жалюзийных золоуловителей

Тип золоуловителя	Размер частицы золы, мкм								
	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Конический (системы ЛИОТ)	35	65	83	90	92	94	96	97,5	99
Плоский (системы ВТИ)	25	63	63	76	86,5	91,3	94,8	96,5	97,5

Примечание: ЛИОТ — Ленинградский институт охраны труда

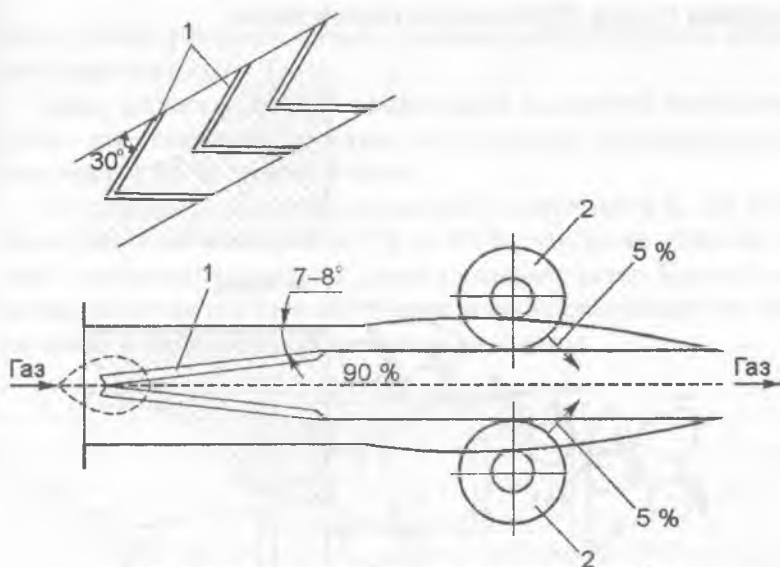


Рис. 2. Схема жалюзийного пылеуловителя ВТ

1.4. ЖАЛЮЗИЙНЫЕ ЗОЛОУЛОВИТЕЛИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Большинство российских котельных установок работает на низкосортных многозольных топливах. Это вызывает повышенный износ поверхностей нагрева летучей золой, особенно в топках с камерным сжиганием. Для очистки дымовых газов от золы и охраны поверхностей нагрева от износа, ВТИ проделал ряд работ и сконструировал малогабаритный золоуловитель для работы при температурах: один — до 1000 °С и другой — 600 °С.

В 1945 г. сконструирован малогабаритный золоуловитель для работы при температуре до 1000 °С (рис. 3). Основная его часть — решетка, состоящая из ряда пластин 1 сечением 40×6 мм, собранных в виде жалюзи и приваренных к трубам 2 диаметром 38 мм, включенным в схему котла параллельно основной поверхности нагрева.

Каждый золоуловитель состоит из трех решеток, имеющих форму трапеции и вместе образующих усеченную пирамиду. Три стен-

ки пирамиды — две боковые и одна нижняя — являются рабочими, верхняя стенка образована потолком котла.

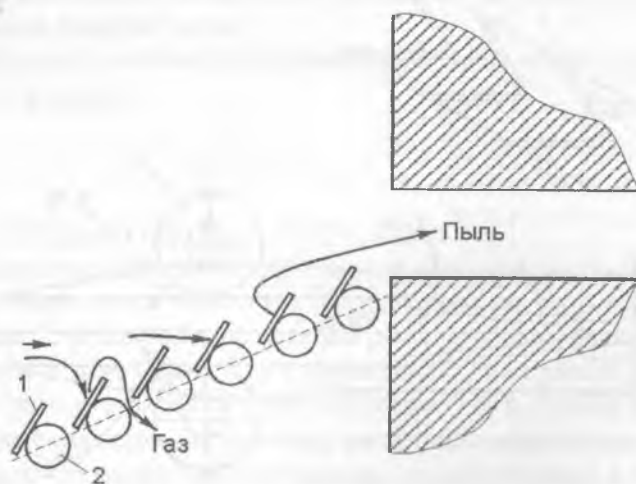


Рис. 3. Жалюзийный пылеуловитель для работы при высоких температурах

Трубки 2, к которым приварены лопасти 1, имеют форму перевернутой буквы П и приварены к выходным и входным коллекторам, расположенным снаружи котла на его перекрытии. На пороге за пароперегревателем установлена глухая кирпичная стенка, в которой сделаны четыре окна. К окнам присоединены своим большим основанием четыре пирамиды золоуловителей. Верхние основания пирамид присоединены к щелевым окнам и задней стенке котла. Основная масса газа проходит между пластинами и поступает на конвективную поверхность нагрева котла; 10 % газа проходит через верхнее основание пирамиды — отсосную щель, поступает в батарею циклонов, расположенную снаружи, и из нее по четырем трубам возвращается в котел между II ступенью воздухоподогревателя и пакетом конвективного котла (котел прямоточный).

Для очистки газов с температурой до 600 °С в ВТИ разработана вторая конструкция жалюзийного золоуловителя с охлаждаемой чугунной решеткой и чугунными элементами отсосного мультицик-

лона. Ниже приведена схема установки золоуловителя с охлаждаемой решеткой (рис. 4).

Здесь решетка собрана в виде одной наклонной плоскости, подобно колосниковой решетке, из отдельных чугунных лопастей, уложенных по чугунным балкам.

По данным испытаний описанный золоуловитель для фракций пыли более 30 мкм дает КПД 90-95 %, что резко снижает износ труб поверхностей нагрева, расположенных далее. Кроме того, наличие решетки обеспечивает равномерное распределение газа по сечению и также сокращает местные износы.

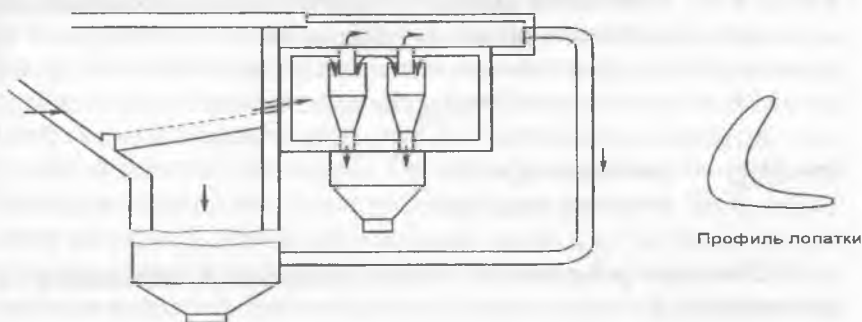


Рис. 4. Схема высокотемпературного жалюзийного золоуловителя с чугунной решеткой

Задание № 1

РАСЧЕТ ЖАЛЮЗИЙНОГО ЗОЛОУЛОВИТЕЛЯ

Расчет жалюзийного пылеуловителя проводится по следующей схеме:

1. Определяется плотность дымовых газов, кг/м³,

$$\rho = 1,32 \frac{1}{1 + t/273},$$

где t — температура газозвушной смеси.

2. Определяется скоростной напор во входной и выходной камерах, мм,

$$h = \Delta H / \xi = \Delta H / 2,75,$$

где ΔH — размер зазора между жалюзиами

3. Сечение входной и выходной камеры определяется по формуле, мм

$$W = \sqrt{20 \times h / \rho},$$

где h — скоростной напор во входной и выходной камерах, мм,
 ρ — плотность дымовых газов, кг/м³,

$$F_3 = Q_{\max} / V,$$

где Q_{\max} — расход газа, м³/с;
 V — скорость газа, м/с.

4. Учитывая равенство $F_3 = A \cdot B$, величина A выражается через величину B

$$A = F_3 / B,$$

где A — длина лопастей решетки золоуловителя, м;
 B — рабочая ширина входной и выходной камер, м.

5. По данным ВТИ (проект нормали жалюзийного золоуловителя) рекомендуется выражать основные его размеры через величину B :

а) определяется величина B , м через отношение A / B . Отношение A / B является константой (const), учитывая это получим

$$B = \sqrt{F_3 / \text{const}};$$

б) рабочая длина решетки $L = 2,9$ м;

в) ширина основной щели $0,07 B$;

г) сечение входного патрубка циклона: $F_y = 0,064 \cdot F_3$, м².

6. Коэффициент очистки газов определяется по формуле

$$\eta = \eta_p / \eta_u,$$

где η_p — КПД решетки (жалюзийных пылеуловителей); η_u — КПД циклона.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАНИЮ № 2

2.1. Конструкция и принцип работы циклонного аппарата

Работа циклонов основана на использовании силы инерции. Основные элементы конструкции представлены на рис. 5. Газ поступает в патрубок со скоростью 20–25 м/с. Будучи подведен тангенциально, газ получает вращательное движение и разворачивается вниз, одновременно совершает вращательное и поступательное движения. Приблизительно можно считать, что все частицы газа движутся с постоянной угловой скоростью. Статическое давление по диаметру цилиндра непостоянно. В центре создается разрежение. Пыль, вследствие инерции, отжимается к стенкам цилиндра. Частицы, касаясь стенок, теряют скорость и выпадают из потока. По мере движения к вершине конуса внутренние слои газа поворачивают к оси циклона и начинают двигаться в сторону выхлопной трубы, образуя по центру трубы восходящий вращающийся вихрь. Пыль осаждается в нижней части, входя в золоспускную трубу. Работа циклона может происходить при любом его геометрическом положении.

Вышеизложенная теория не дает исчерпывающие указания о наилучшей конструкции циклонных аппаратов, о влиянии изменения конструктивных форм на коэффициент полезного действия аппарата. Поэтому большинство данных опытные.

Дисперсионный состав пыли и ее удельный вес влияют на КПД улавливания. Чем крупнее частицы, тем лучше они улавливаются.

В табл. 2 приведен фракционный КПД конических циклонов при сопротивлении $P = 500$ Па.

В обычных циклонах с увеличением концентрации степень очистки повышается. Так по опытам Кирпичева Е. Ф. с увеличением концентрации с 10 до 75 г/м³ КПД увеличивается с 65 до 70 %. Концентрация пыли может колебаться в широких пределах. Предельно допустимые концентрации зависят от слипаемости пыли,

формы и строения ее частиц, влажности, температуры и давления транспортируемого газа, а также размеров циклона и, в первую очередь, размеров пылевывпускного патрубка. Предельные значения концентрации для малослипающей пыли представлены в табл. 3.

Таблица 2
Фракционный КПД конических циклонов

Диаметр циклона, мм	Размер частиц, мк					
	10	20	30	40	60	80
300	85	95	98	99	100	—
500	81	93	96	98	99	100

Таблица 3
Предельные значения концентрации для малослипающей пыли

Диаметр циклона, мм	300	400	500	600	700	800
Q , м/ч, при $P = 500$ Па	650	1200	1850	2650	3600	4700
Q , м/ч, при $P = 850$ Па	850	1550	2400	3450	4700	6200

Для слипающей и сильно слипающей пыли, до накопления достаточного количества данных, указанные значения предельно допустимых концентраций должны быть уменьшены на 25–50 %.

Температура и вязкость газа влияют на КПД циклона очень незначительно. С увеличением вязкости КПД падает. При снижении температуры КПД также снижается. Так, при снижении температуры с 360 до 150 °С КПД падает с 77,7 % до 75 %.

Циклоны, изготавливаемые из обычных сталей, могут быть применены для температуры не выше 400 °С, а с литыми чугунными корпусами — до 500 °С. Циклоны из специальных сталей могут использоваться до температуры 750 °С, а в случае наличия при этом жаростойких внутренних покрытий соответствующей толщины — до 1000 °С и выше.

Влажность газов сильно влияет на очистку от пыли, в особенности, если возможна конденсация влаги на поверхности частиц. Для

устранения отложения пыли на стенках циклона температура за циклоном должна быть на 15-20 °С выше точки росы.

Скорость поступления газов сильно влияет на КПД циклона. Теоретически с увеличением скорости КПД должен расти. Практически рост возможен только до определенного предела, а затем начинается падение. Наилучшая скорость от 20 до 29 м/с.

Число оборотов газового потока в циклоне теоретически в значительной мере должно влиять на КПД, которое должно расти с увеличением числа оборотов. Практически это не подтверждено, видимо, вследствие возмущений в газовом потоке.

Абсолютные размеры циклона, вне зависимости от его конструктивных особенностей, существенно влияют на степень очистки газа. При геометрически подобном уменьшении размеров циклона КПД растет, при увеличении — падает. Исходя из принципа улавливания наиболее тонкой пыли, рекомендуется применять единичные циклоны и блоки параллельно включенных одинаковых циклонов диаметром до 800 мм, но не более 1000 мм. Для малых расходов газа диаметр циклона может быть принят менее 300 мм. При уменьшении размеров уменьшается ширина входного патрубка, а следовательно, и расстояние, которое частицы должны пройти, чтобы достигнуть стенки; с уменьшением диаметра цилиндра увеличивается угловая скорость газов, а следовательно, увеличиваются и силы, действующие на частички. Это свойство используется при проектировании мультициклонов.

Экспериментально установлено, что при уменьшении отношения диаметра выхлопной трубы к диаметру цилиндрической части циклона КПД растет, но растет и сопротивление циклона. большей частью это отношение поддерживается от 0,55 до 0,65. Опытами установлено оптимальное отношение диаметра пылеотводящего патрубка к диаметру циклона от 0,16 до 0,18. Уменьшение угла раскрытия конуса несколько увеличивает степень очистки газа. Так, при изменении угла с 60 до 30° КПД изменяется от 74 до 78 %.

При увеличении высоты цилиндрической части циклона степень очистки газов незначительно возрастает. Своевременный отвод из циклона уловленного уноса — неперемное условие нормальной работы аппарата.

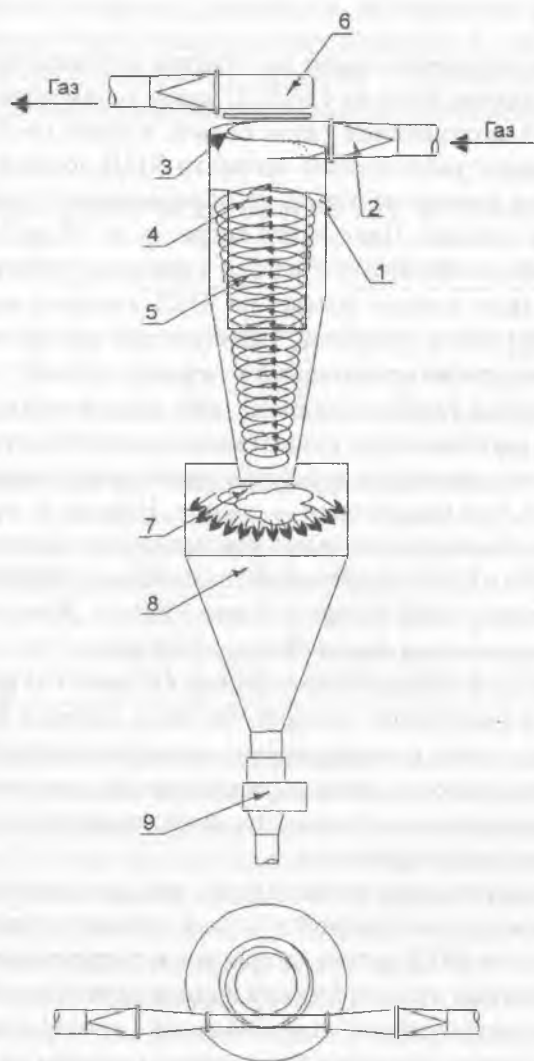


Рис. 5. Устройство циклона и схема движения в нем газового потока:

1 — цилиндрическая часть аппарата; 2 — входной патрубок с осью, перпендикулярной оси цилиндра, присоединенный тангенциально к цилиндрической части аппарата; 3 — крышка, закрывающая верхнюю часть цилиндра; 4 — выхлопная труба; 5 — коническая часть корпуса; 6 — выходная улитка; 7 — пылевывпускное отверстие; 8 — бункер; 9 — пылевой затвор

Неплотности в золоспускной системе снижают КПД. Подсос воздуха 10–15% к количеству очищаемого газа сведет к нулю эффект работы аппарата.

Максимальная часовая производительность единичных циклонов рекомендуемых диаметров, при проходе газов с плотностью $\rho = 1,32 \text{ кг/м}^3$ и поддержании гидравлических сопротивлений 500–850 Па приведена в табл. 4.

Таблица 4

Максимальная тяговая производительность единичных циклонов

Диаметр циклона, мм	300	400	500	600	700	800
Q , м ³ /ч, при $P = 500$ Па	650	1200	1850	2650	3600	4700
Q , м ³ /ч, при $P = 850$ Па	850	1550	2400	3450	4700	6200

При компоновке в блоках эти циклоны могут быть использованы на производительность (по газам) до 50000 – 60000 м³/ч.

2.2. Конструкция батарейных циклонов

При уменьшении диаметра цилиндрической части корпуса циклона повышается эффективность осаждения в нем пыли. При очистке большого количества газов для достижения достаточно большой степени управления необходимо устанавливать группу циклонов относительно небольшого диаметра. Число циклонов в группе ограничивается из-за конструктивных соображений, тем самым ограничивается и производительность группы. Так, для циклонов НИИОГАЗ типа 13Д-15 предельная производительность группы из восьми циклонов диаметром 800 мм (максимальный рекомендуемый диаметр) при рабочих условиях равна 50000 т/ч (рис. 6).

Конструкцией, объединяющей при минимальном диаметре элементов в один аппарат большое их количество, явились батарейные циклоны с диаметром цилиндрического корпуса каждого элемента 40–250 мм.

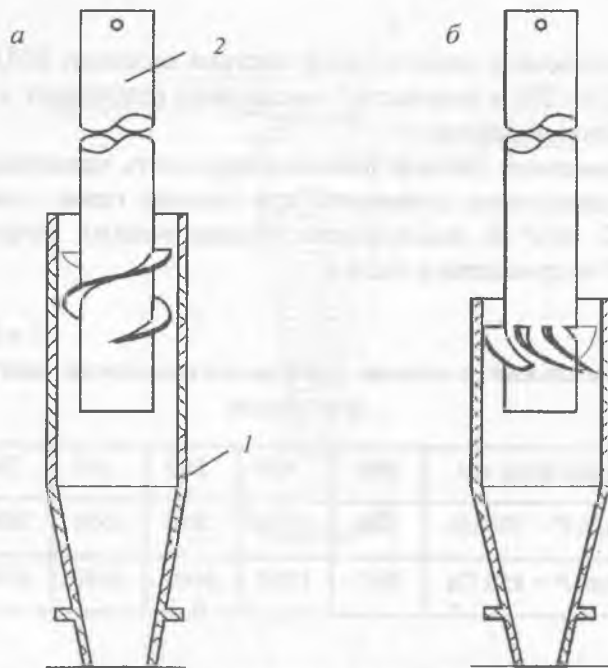


Рис. 6. Циклонные элементы батарейных циклонов:

а — с направляющим типа «Винт»; *б* — с направляющим типа «Розетка»

Циклонный элемент (рис.6) состоит из корпуса 1 элемента, направляющего аппарата и выходной трубы 2. Аппарат, направляющий поток, может выполняться в виде винта, розетки либо в виде тангенциального подвода газа к корпусу. По схеме движения газа циклонные элементы можно разделить на противоточные, в которых газ изменяет направление движения на 180° , и прямоточные, сохраняющие направление движения. На рис. 7 приведена схема батарейного циклона с противоточными элементами конструкции ЦКТИ. Корпус элемента литой чугунный, внутренним диаметром 250 мм; выхлопная труба элемента стальная, диаметром 150 мм; направляющий аппарат — либо винтовая лента, либо розетка; угол наклона центральной линии лопастей 25° . Трест газоочистки проектирует элементы и с диаметром корпуса элемента 150 мм.

Обычно на практике батарейные циклоны дают более низкую степень очистки газов, чем в опытных образцах с меньшим количеством циклонов.

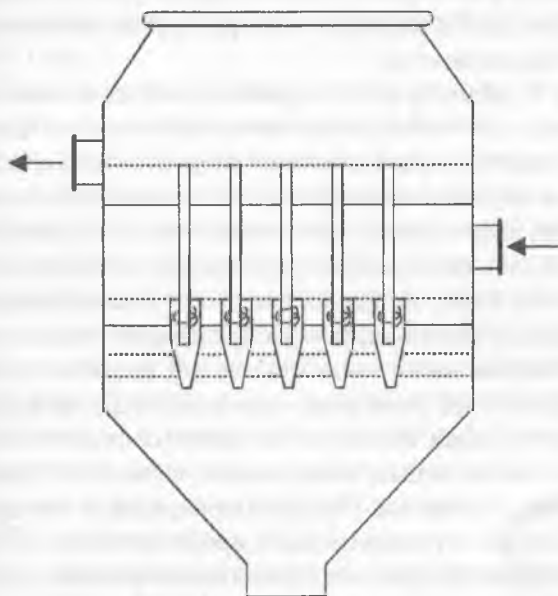


Рис. 7. Схема батарейного циклона

Батарейные циклоны имеют общий пылевой бункер для всех элементов. Это снижает КПД батарейного циклона по сравнению с КПД одного элемента (коэффициента улавливания). Нарушение работы происходит не только из-за неравномерности распределения газов по элементам и различных сопротивлений элементов, но и за счет нарушения обмена газов между пылевым бункером и элементами мультициклона.

Обмен газа происходит и в том случае, когда все элементы одинаковы и работают в одинаковых условиях. В патрубке, отводящем золу, происходит следующее. По периферии патрубка, благодаря вращению газа, давление больше, следовательно, пыль с частью газов выходит вниз. В центре патрубка разрежение, туда подсасывается газ. Так происходит газовый обмен между бункером и элементом. При одном из вышеперечисленных нарушений этот обмен нарушается. В отдельных эле-

ментах количество газа, подсасываемого через патрубок, становится больше, чем выходящего из него. Встречный поток движется навстречу поступающей пыли и снижает эффективность работы элемента. В других элементах выходить газов будет больше, чем подсасываться. Коэффициент улавливания этих элементов будет несколько выше, но не настолько, чтобы перекрыть потерю других элементов. Общая степень очистки снижается.

Одним из недостатков батарейного циклона является забивание золой, ввиду чего сильно возрастает сопротивление циклона. Забивание происходит вследствие низкой скорости газов при малой нагрузке либо при неравномерном распределении газов по элементам. Степень неравномерности распределения газа по элементам зависит от конфигурации и направления подводящих газоходов, от скорости газового потока в них и наличия или отсутствия выравнивающих приспособлений. Неравномерное распределение газа по элементам помимо забивания части элементов золой вызывает неравномерный износ труб циклона. Появление сквозных отверстий в выхлопных трубах либо в корпусах элементов батарейных циклонов вызывает просасывание неочищенных газов, минуя элементов. Этим резко ухудшается степень очистки. Отсутствие коридоров между элементами не дает возможности производить профилактические осмотры.

При неплотной установке элементов на нижней трубной доске появляются подсосы газов из распределительной камеры в пылевой бункер, что приводит к разъеданию больших отверстий. Коррозии подвержены внешние стенки золоуловителя и стенки газоходов. Коррозия интенсивно протекает в местах отложения золы. Под слоем золы, ввиду охлаждения стенки наружным воздухом, создается низкая температура. Пары воды конденсируются. Вследствие просачивания газов через слой пыли, туда попадает SO_2 и начинается коррозия. Метод борьбы с коррозией — тщательная наружная изоляция. Мультициклоны плохо улавливают частицы от 0 до 10 микрон, поэтому в большинстве случаев не могут удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям. Температурный предел работы батарейных циклонов следующий: циклонные элементы со сварными корпусами из обычной стали — 400 °С, с литыми чугунными корпусами — 500 °С. При температурах выше 500 °С — из специальной стали сварные.

Толщина стенки литых корпусов циклонных элементов колеблется в зависимости от диаметра: от 8 до 11 мм. Выбор типа закручивающего аппарата циклонного элемента зависит от концентрации пыли, ее свойств (слипаемости, абразивности, зернового состава) и влажности газа.

Лопаточные закручивающие аппараты следует устанавливать, когда газ имеет небольшую влажность (<50 г/кг), концентрацию пыли не более 25 г/м³ и улавливаемая пыль обладает малой способностью к слипанию и небольшой абразивностью. Расстояние между центрами (шаг) циклонных элементов с диаметрами 250, 150 и 100 мм соответственно составляют 280, 150 и 130 мм, что обеспечивает минимальные зазоры между корпусами литыми 8 мм и сварными — 7 мм. Батарейные циклоны могут быть использованы для двухступенчатой очистки газов. Батареи включают последовательно, причем I ступень с циклонными элементами диаметром 250 мм, II ступень — с элементами диаметром 100 мм. Фракционные КПД для улавливания пылеугольной золы в циклонных элементах с винтовыми закручивающими аппаратами, при перепаде давления $P = 500$ Па приведены в табл. 5.

Обычное гидравлическое сопротивление батарейного циклона составляет от 500 до 850 Па.

Таблица 5

Фракционный КПД

Диаметр циклонных элементов, мм	Размеры частиц, мкм					
	10	20	30	40	60	80
250	76	88	93	96	98	99
150	80	92	96	98	99	100
100	83	94	98	99	100	—

Для выравнивания нагрузки по циклонным элементам необходимы следующие мероприятия. Число циклонных элементов (для всех диаметров и типов), объединенных общим пылевым бункером, не должно превышать в одном ряду (по ходу газов) десяти, а число элементов в ряду, перпендикулярном потоку газов, может достигать до шестнадцати. Однако при этом начиная с двенадцати элемен-

тов в ряду (перпендикулярном) пылевой бункер следует разделить перегородкой на две части. Перегородка должна быть расположена перпендикулярно потоку газов и оканчиваться на расстоянии 200-250 мм от пылевыпускного отверстия бункера. Кроме того, начиная с четырнадцати элементов в ряду рекомендуется устанавливать в секции два бункера (для ограничения перетекания газов из одних элементов в другие). Число секций с самостоятельным бункером не ограничивается.

В зависимости от свойств пыли: ее фракционного состава, слипаемости, а также начальной запыленности очищаемых газов, — выбирают диаметр D циклонного элемента и тип направляющего аппарата (при большой запыленности и повышенной слипаемости пыли следует выбирать циклонные элементы больших диаметров).

Зная допустимое гидравлическое сопротивление P , принимаемое на основании технико-экономических расчетов и опыта эксплуатации, а также коэффициент гидравлического сопротивления для данного типа циклонных элементов, можно рассчитать их число. Для этого из формулы

$$\Delta P = \xi \frac{W_{\text{усл}}^2}{2} \rho,$$

определяют $W_{\text{усл}}$ — условную скорость газов, м/с, отнесенную к полному сечению цилиндрической части корпуса элемента. После этого находят количество газов, очищаемых одним элементом батарейного циклона (производительность одного элемента), м³/с:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} W_{\text{усл}}$$

Разделив количество очищаемых газов на производительность одного элемента Q_e , находят требуемое число циклонных элементов:

$$n = \frac{Q_{\text{общ}}}{Q_e}.$$

Общую степень улавливания пыли циклонными элементами выбранного диаметра определяют так же, как и степень улавливания для обычных циклонов, пользуясь данными об известном или пред-

полагаемом фракционном составе улавливаемой пыли (R_1 — содержание определенной фракции, %), и экспериментально найденными значениями фракционных КПД (данного типа аппаратов):

Если степень улавливания не удовлетворяет нужным требованиям, принимают меньший диаметр циклонного элемента или повышают в нем скорость газов. Это увеличивает гидравлическое сопротивление.

Для уменьшения гидравлического сопротивления циклонов в ряде отечественных и зарубежных конструкций использованы раскручивающие и спрямляющие поток устройства. При оборудовании циклонов лопастными раскручивателями, устанавливаемыми в нижней части выхлопных труб, удается снизить их гидравлическое сопротивление на 25–30%, однако коэффициент очистки при этом уменьшается на 1–1,5%. Но их применение может быть рекомендовано только при неслипающейся пыли.

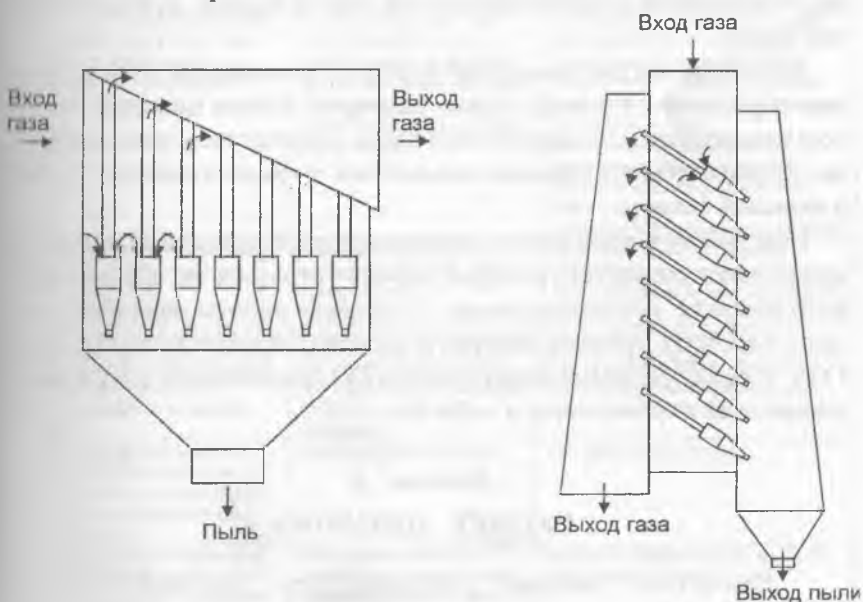


Рис. 8. Схема батарейного циклона

Рис. 9. Схема батарейного циклона при ограничении высоты помещения с наклонными элементами

Часто батарейные циклоны приходится размещать на давно построенных станциях. Для удобства их размещения создано много конструкций. Ниже приведены две из них. Батарейный циклон, изображенный на рис. 8, устанавливается при малой высоте помещения. Второй вариант (рис. 9) занимает мало места в плане.

2.3. Неисправности сухих механических пылеуловителей

Большое значение для устойчивой работы циклона имеет удаление уловленных частиц. Схема удаления из циклона уловленной пыли состоит из:

- бункера, в котором собирается уловленная пыль;
- пылевого затвора, позволяющего вывезти пыль из бункера без нарушения герметичности;
- транспортера пыли для подачи ее в накопительный бункер;
- накопительные бункера;
- увлажнителя, в котором пылевая масса переводится в не пылевое состояние и дает возможность для ее вывоза на утилизацию без потерь.

Выбор схемы пылевыгрузки и видов применяемого оборудования определяется целым рядом факторов: типом циклона, способом утилизации или захоронения пыли, количеством и ее свойствами. Однако обязательными элементами в схеме являются бункер и пылевой затвор.

При эксплуатации сухих пылеуловителей возникают ряд поломок и неисправностей, которые можно устранить во время планового ремонта, непосредственно в процессе работы устройств, или приостановить процесс очистки и произвести внеплановый ремонт ГОУ. Ряд характерных неисправностей механических сухих пылеуловителей перечислены в табл. 6.

Задание 2

РАСЧЕТ ЦИКЛОНА

Рассчитать циклон учитывая, что плотность частиц $\rho_{\text{ч}} = 1930 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость газа $\mu_{\text{г}} = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ (Н} \cdot \text{с)/м}^2$, динамическая вязкость воздушного потока $\mu = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ (Н} \cdot \text{с)/м}^2$.

Расчет циклона производится по следующей схеме:

Характерные неисправности сухих механических пылеуловителей

№	Признаки неисправности	Способ определения	Способ устранения
1	2	3	4
1	Гидродинамическое сопротивление аппарата намного превышает проектное значение		
	Фактический объемный расход газов превышает проектное значение	По разности показателей V – образного манометра на входе и выходе аппарата	При подтверждении и отсутствии запаса по тяге реконструировать ПУ с целью увеличения ее производительности по газу
	Значительный подсос атмосферного воздуха	По разности показателей V – образного манометра на входе и выходе аппарата	Установить место подсоса и провести герметизацию установки
	Неправильный выбор дымососа (вентилятора), его двигателя	Изменением скорости вращения валов дымососа (вентилятора) и двигателя	Проверить давление (разряжение) создаваемое дымососом, частоту вращения вала двигателя. При подтверждении отклонений параметров их работы от проектного значения заменить дымосос или двигателя
	Отложение пыли в газопотоках или внутри циклона (отдельных элементов батарейного циклона)	По разности звука при постукивании, но легкости поворота или движения задвижек, шиберов. Определением температуры точки росы очищаемого газа	Отделить места образования отложений пыли: В случае конденсации паров воды усилить тепловую изоляцию или повысить температуру очищаемого газа; В случае неравномерного распределения газов между элементами батарейного циклона установить в подводящем газопотоке направляющие лопатки
Несоответствие типоразмера требуемому по проектной документации.	Измерением основных размеров аппарата и их сопоставление с чертежами.	При наличии отклонений устранить их путем приведения в соответствие с документацией	
2	Гидродинамическое сопротивление аппарата ниже проектного значения		
	Фактический объемный расход газов ниже проектного значения	По разности показаний V – образного манометра на входе и выходе аппарата	При подтверждении отключить часть циклонов или циклонных элементов в батарейном циклоне аппарата
	Нарушение герметичности бункерной части циклона, в верхней решетке батарейного циклона	Внутренним осмотром	Устранить неплотности
	Образование сквозных отверстий в цилиндрической и конусной частях циклона, на выхлопных трубах батарейного циклона	Наружным осмотром циклонов и внутренним осмотром батарейного циклона	Заделать отверстия или заменить изношенные трубы
	Вентилятор не обеспечивает необходимую производительность	Проверкой производительности вентилятора, частоты вращения вала и вала двигателя	При подтверждении заменить вентилятор или двигатель

1	2	3	4
3	<p>Уловленная пыль не выгружается из бункера</p> <p>Забиты пылевыводящие отверстия циклона или бункера батарейного циклона</p> <p>Не срабатывают затворы типа «мигалка»</p> <p>Заклинивание барабана пылевого затвора</p> <p>Образование подсосов в пылевывозных устройствах или швах бункера</p> <p>Отсутствие пылевого столба высотой 0,3 – 0,5 мм над затворами, в результате чего имеет место подсос воздуха</p>	<p>При открытии пылевывозных устройств пыль не выгружается</p> <p>Визуальным наблюдением</p> <p>Визуальным наблюдением</p> <p>Проверкой швов</p> <p>Изменением давления (разрядки) в бункере аппарата</p>	<p>Прочистить отверстия, разрушить свод и выгрузить пыль из бункера</p> <p>Отрегулировать затворы</p> <p>Прочистить барабан и отрегулировать затвор</p> <p>Установить место подсосов и провести герметизацию</p> <p>Отрегулировать работу затворов</p>
4	<p>Снижение эффективности очистки</p> <p>Нарушение режима работы основного технологического оборудования</p> <p>Увеличение уровня пыли в бункере больше допустимого</p> <p>Вывос пыли из циклона</p> <p>Снижение степени очистки отдельных циклонов или групповых установок</p> <p>Забивание пылью циклонных элементов батарейных циклонов</p> <p>Разгерметизация перегородки между раздающей камерой и камерой очищенного воздуха</p>	<p>Визуальным наблюдением:</p> <p>по окраске газов, выбрасываемых из ПУ;</p> <p>по изменению массы пыли, выгружаемой из аппарата за определенный промежуток времени;</p> <p>по записям журналом сдачи и приема смены по обслуживанию основного технологического оборудования</p> <p>По показаниям уровня пылемера в бункере</p> <p>Подсос воздуха в корпусе бункера</p> <p>Устройство для разгрузки пыли не герметично</p> <p>Переполнение бункера пылью</p> <p>Переток воздуха между циклонами</p> <p>Нарушена размерность распределения воздуха между циклонными элементами</p> <p>Часть запыленного воздуха проходит без очистки</p>	<p>Привести режим работы основного технологического оборудования в соответствие с проектным</p> <p>Наладить режим выгрузки пыли из бункера и отрегулировать работу пылевывозных устройств</p> <p>Заделка неплотностей.</p> <p>Ремонт устройства для разгрузки пыли</p> <p>Опорожнение бункера от пыли</p> <p>Очистка от пыли входных участков циклонов, опорожнение бункера</p> <p>Очистка от пыли входных участков циклонных элементов или лопастей закручивающих устройств</p> <p>Ремонт перегородки</p>

1. По табл. 1 определяют оптимальную скорость газа в аппарате $v_{\text{опт}}$ и дисперсию распределения значений фракционной эффективности пылеуловителя $I g \sigma_{\eta}$;

2. Рассчитывают необходимую площадь сечения циклона, м

$$F = Q / (v_{\text{опт}} \cdot 3600),$$

где Q — объем очищаемого газа, м³/ч;

3600 — перевод $v_{\text{опт}}$ в м/час;

3. Определяют диаметр циклона, м

$$D = \sqrt{F / 0,785},$$

где F — площадь сечения циклона.

Диаметр циклона округляют до величины из стандартного ряда диаметров по табл. 2.

4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне, м/с

$$v = Q / (0,785 D^2 \cdot 3600),$$

где 3600 — перевод Q в м³/с;

Q — объем очищаемого газа, м³/ч;

D — диаметр циклона, м.

Скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15 %;

5. Рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона

$$\zeta_{\text{ци}} = k_1 \cdot k_2 \cdot \zeta_{\text{ци500}} + k_3,$$

$\zeta_{\text{ци500}}$
 k_1 и k_2 k_3 для одиночных источников равно 0.

$\zeta_{\text{ци500}}$ — выбираем согласно табл. 3.

k_1 и k_2 — согласно табл. 4 и 5;

6. Определяют потери давления в циклоне, Па

$$\Delta P = (\zeta_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{г}} \cdot v^2) / 2,$$

где $\rho_{\text{г}}$ — плотность воздуха 1,29.

$\zeta_{\text{ц}}$ и v — берем из расчета в пункте 4 и 5.

7. Определяют диаметр циклона, используя данные табл. 1 и условие задания, м

$$d_{50} = d_{50}^r \sqrt{(D \cdot \rho_{\text{чт}} \cdot \mu \cdot v_m) / (d_m \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot \mu_m \cdot v)},$$

где d_{50}^r — параметр пыли;

$\rho_{\text{чт}}$ — плотность частиц;

μ — динамическая вязкость воздушного потока;

μ_m — динамическая вязкость газа;

d_m — диаметр частиц пыли;

$v_m = v_{\text{опт}}$ — средняя скорость газа в циклоне;

v — действительная скорость газа в циклоне;

D — диаметр циклона;

$\rho_{\text{ч}}$ — плотность газозвудушного потока;

8. Определяют параметр X по формуле, м

$$X = \text{Ig}(d_r / d_{50}) / \sqrt{\text{Ig}^2 \sigma_{\eta} + \text{Ig}^2 \sigma_{\nu}},$$

где $\text{Ig} \sigma_{\eta}$ и $\text{Ig} \sigma_{\nu}$ — представлены в табл. 1.

9. По табл. 6 определяем полный коэффициент очистки газа, выраженный в процентах.

10. Начертят схему циклона.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАНИЮ № 3

3.1. Принцип работы мокрых золоуловителей

Мокрые пылеуловители просты в изготовлении и обслуживании и требуют небольших капитальных и эксплуатационных затрат. Важным преимуществом мокрого способа очистки перед сухим является высокая эффективность очистки и компактность аппаратов.

Мокрое золоулавливание может быть осуществлено различными методами:

- а) путем впрыскивания соплами и брызгалами воды в поток дымовых газов (капельное улавливание);
- б) каскадным орошением;
- в) посредством смачиваемых золоулавливающих поверхностей (пленочная сепарация).

Во многих золоуловителях используется для выделения частиц принцип силы инерции. В сухих золоуловителях пылинки, коснувшись стенки, могут быть снова унесены потоком газов. В мокрых золоуловителях благодаря наличию водяной пленки на стенках это невозможно.

При охлаждении газов ниже точки росы может произойти конденсация паров воды на уносе, утяжеление его, а следовательно, и улучшение сепарации. Однако практически дымовые газы не охлаждаются ниже температуры точки росы. Снижение температуры газов в мокрых золоуловителях приводит к снижению мощности, затрачиваемой дымососом ввиду уменьшения объемов газов.

Широкому применению мокрых золоуловителей отчасти препятствует коррозия аппаратуры, особенно усиливающаяся при высоком содержании серы в угле. На летучей золе канско-ачинских углей мокрые золоуловители также не работают: ввиду высокого содержания окиси кальция в присутствии воды образуются прочно цементирующиеся золовые отложения.

Частицы пыли осаждаются на каплях жидкости под действием многих факторов. Сущность инерционного осаждения частиц заключается в том, что, при обтекании запыленным газовым потоком шарообразной капли, траектории движения материальных частиц и газового потока разделяются при подходе к капле (рис. 10). Более крупные частицы под действием сил инерции сходят с линии тока и, достигая

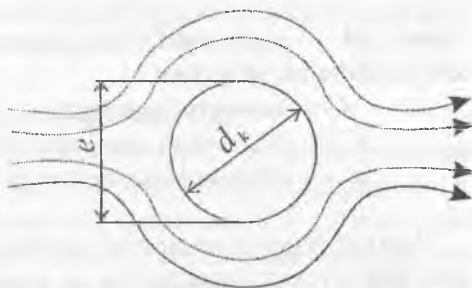


Рис. 10. Динамика движения частицы пыли

поверхности капли, осаждаются на ней. Мелкие частицы не обладают достаточной кинетической энергией для преодоления сопротивления газа и, следуя по линии тока, обтекают каплю и уносятся газовым потоком. Если на шарообразной капле будут осажжены все частицы, которые на достаточно большом расстоянии от нее находятся внутри цилиндрического объема газа с диаметром d , то эффективность осаждения e пропорциональна отношению

$$e = f(m \cdot u) / (k \cdot dk),$$

где m — масса частицы;
 u — скорость частицы по отношению к капле;
 k — параметр сопротивления среды движения частицы, зависящий от типа объема;
 d_k — диаметр капли.

Вероятность осаждения частицы на капле под действием сил инерции возрастает с увеличением массы частицы и ростом скорости ее движения по отношению к капле и уменьшается с увеличением диаметра капли сопротивления среды.

Для шарообразных частиц в пределах действия закона Стокса:

$$\frac{m \cdot u}{k \cdot d_k} = \frac{I \cdot d^2 \cdot u \cdot \rho_n}{18 \cdot \mu_r \cdot d_k} = Stk,$$

Здесь Stk — критерий Стокса, характеризующий влияние физических свойств пыли и газа;

d — диаметр частицы;

ρ_n — плотность вещества частицы;

μ_r — динамическая вязкость газа. Таким образом, $e = f(Stk)$.

Анализ формул позволяет сказать, что под действием сил инерции эффективно осаждаются на каплях только частицы пыли диаметром более одного микрона. Мелкие частицы (менее одного микрона) практически не осаждаются на каплях под действием сил инерции. Однако эти мельчайшие частицы могут осаждаться на капле под действием теплового (броуновского) движения газовых

молекул. Эффективность осаждения частиц на каплях при этом возрастает с увеличением продолжительности контакта газа с жидкостью, то есть с понижением скорости газа и с увеличением поверхности контакта.

В газовом потоке, движущемся с высокой скоростью (50 м/с и более) и с высокой степенью турбулентности, возникает турбулентная диффузия. Из-за интенсивного движения частиц может происходить их соударение с каплями воды. Этот принцип используется в скоростном пылеуловителе.

Высокодисперсные частицы промышленной пыли несут в себе некоторый электрический заряд, полученный ими в момент образования или в результате трения при движении через газовую среду. Это может привести к осаждению частиц на каплях. В этом случае электростатические силы действуют лишь при близких расстояниях между частицами и каплями и при малых скоростях газового потока. И, наконец, влияет поляризационная (направленная) диффузия.

При промывке горючих запыленных газов с высоким начальным содержанием водяных паров холодной жидкостью происходят следующие явления. Во-первых, охлаждение газового потока вызывает конденсацию водяных паров на частицах летучей золы, что облегчает их улавливание. Во-вторых, водяные пары могут конденсироваться и на поверхности холодных капель. Движение молекул пара к каплям способствует перемещению к ним частиц пыли. Это и есть поляризационная диффузия.

Наиболее эффективными процессами, является осаждение под действием сил инерции и теплового (броуновского) движения.

Далее рассмотрим некоторые конструкции, использующие мокрый способ золоулавливания.

3.2. Скруббер Вентури

На рис. 11 изображен «Скруббер-Вентури», впервые испытанный в 1947 году. Принцип его работы следующий. В горловину сопла Вентури впрыскивается вода под давлением 0,3–1,0 атм. Газы движутся с большой скоростью. Капли воды, попадая в быстро движущийся поток газов, разбиваются на мелкие брызги.

Получающийся таким путем вторичный аэрозоль по среднему диаметру частиц приближается к размеру мелких фракций.

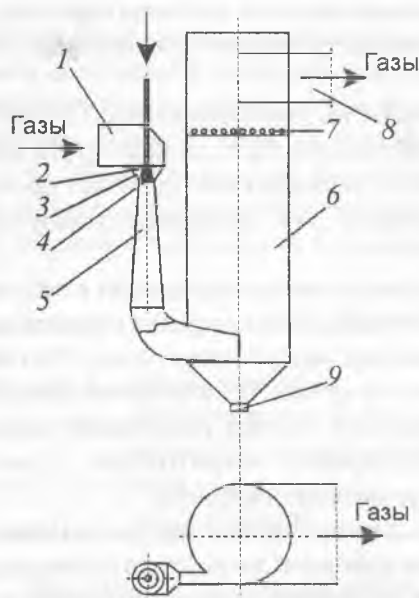


Рис. 11. Мокрый пылеуловитель с трубой Вентури:

1 – вход газов; 2 – орошающее сопло; 3 – конфузор; 4 – горловина трубы Вентури; 5 – диффузор; 6 – корпус скруббера; 7 – смывные сопла; 8 – выход очищенных газов; 9 – гидрозатвор золоудаления

такого пути легко получить частицы среднего диаметром 30–40 микрон. В расширяющейся части сопла Вентури происходит коагуляция частиц. Укрупненные частицы затем улавливаются в циклоне. Скорость газов в горловине 70–120 м/с. Создание вторичного водяного тумана в самой горловине обеспечивает высокую эффективность коагуляции частиц размером свыше 0,5 микрон. Для улавливания частиц менее 0,5 микрона турбулизация не имеет значения. Их улавливание происходит за счет броуновского движения.

Аппарат этой конструкции, работающий на очистке газов мартеновской печи от паров и окислов железа, имел коэффициент обеспыливания 98–99%. При очистке доменного газа от частиц размером от 1 до 20 микрон был достигнут коэффициент обеспыливания от 99,9 до 99,99%. При этом расход энергии на преодоление сопротивления аппарата составлял 1,3 кВт·ч на 100 м³ очищаемого газа.

Основной недостаток этой конструкции, препятствующий внедрению ее в энергетические установки, — высокое сопротивление, превышающее 3500 Па.

В России внедрение аппаратов «Вентури-Скруббера» началось сравнительно недавно главным образом в металлургической промышленности — для очистки доменного газа, улавливания свинцовой пыли и др. Проведены не только стендовые, но и промышлен-

ные испытания этих установок. Теоретической работой, а также внедрением этих аппаратов в промышленность в основном занимаются московские институты НИИОГАЗ, «Гипрогазоочистка», «Гинцветмет», УНИИХИМ, НИУИФ и др.

Поскольку доменные печи работают с избыточным давлением, это давление и используется в газоочистительном аппарате. Такие установки имеются, например, на Константиновском металлургическом заводе, Магнитогорском металлургическом комбинате и др.

Результаты испытания турбулентного газопромывателя на Магнитогорском металлургическом комбинате показали, что удельный расход воды составил 1,23–3,69 л/м³, скорость в горловине достигла 86,5–138 м/с, потеря давления 95–200 кПа. Такое высокое сопротивление аппаратов можно объяснить наличием избыточного давления.

В Чимкенте для улавливания свинцовой пыли установлен скоростной пылеуловитель, спроектированный Гинцветметом. Установка обеспечивает улавливание 96–97 % мелкой свинцовой пыли.

Недостатки этих установок те же, что и у аппаратов «Скруббер-Вентури» — высокое сопротивление.

Задание № 3

РАССЧИТАТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СКРУББЕРА ВЕНТУРИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ ПЫЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ВЫБРОСОВ

Расчет скруббера Вентури производится по следующей схеме:

1. Определяют гидравлическое сопротивление сухой трубы Вентури, Н/м²

$$\Delta p_c = (\zeta_c \cdot W_r^2 \cdot \rho_r) / 2 ,$$

где ζ_c — коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы Вентури;

W_r — скорость газа в горловине;

ρ_r — плотность газа;

2. Рассчитывают гидравлическое сопротивление, обусловленное введением орошаемой жидкости (Н/м²)

$$\Delta p_{\text{ж}} = (\zeta_{\text{ж}} \cdot W_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\Gamma} \cdot m) / 2,$$

где $\zeta_{\text{ж}}$ — коэффициент гидравлического сопротивления трубы, обусловленный вводом жидкости

$$\zeta_{\text{ж}} = 0,63 \cdot \zeta_{\text{с}} \cdot ((M_{\text{ж}}/M_{\Gamma}) \cdot (\rho_{\Gamma}/\rho_{\text{ж}}))^{-0,3}.$$

Здесь m — удельный расход жидкости;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости;

W_{Γ} — скорость газа в горловине;

3. Находят гидравлическое сопротивление трубы Вентури

$$\Delta p = \Delta p_{\text{с}} + \Delta p_{\text{ж}},$$

где $\Delta p_{\text{с}}$ — гидравлическое сопротивление сухой трубы Вентури;

$\Delta p_{\text{ж}}$ — гидравлическое сопротивление, обусловленное введением орошаемой жидкости.

4. Определяют суммарную энергию сопротивления K_{Γ} , Па

$$K_{\Gamma} = \Delta p + p_{\text{жс}} \cdot \left(\frac{V_{\text{ж}}}{V_{\Gamma}} \right)^2,$$

где $V_{\text{ж}}$ и V_{Γ} — объемные расходы жидкости и газа соответственно, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$V_{\text{ж}} = M_{\text{ж}}/\rho_{\text{ж}}, \quad V_{\Gamma} = M_{\Gamma}/\rho_{\Gamma},$$

где Δp — гидравлическое сопротивление трубы Вентури;

$\rho_{\text{ж}}$ — гидравлическое сопротивление, обусловленное введением орошаемой жидкости;

$M_{\text{ж}}$ — расход орошаемой жидкости;

M_{Γ} — массовый расход газа;

ρ_{Γ} — плотность газа;

$\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости;

5. Определяют эффективность скруббера Вентури

$$\eta' = 1 - e^{-B \cdot K_{\Gamma}^n}, \quad \eta' = 1 - e^{-B \cdot K_{\Gamma}^n}$$

где B и n — указаны в исходных данных;

K_T — суммарная энергия сопротивления.

6. Сравнить эффективность скруббера Вентури, полученную в результате расчетов (величина η), с проектной эффективностью, и сделать вывод, обеспечивает ли скруббер очистку газов от пыли с необходимой эффективностью.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЗАДАНИЮ № 4

4.1. Конструкции и принцип работы электрофильтров

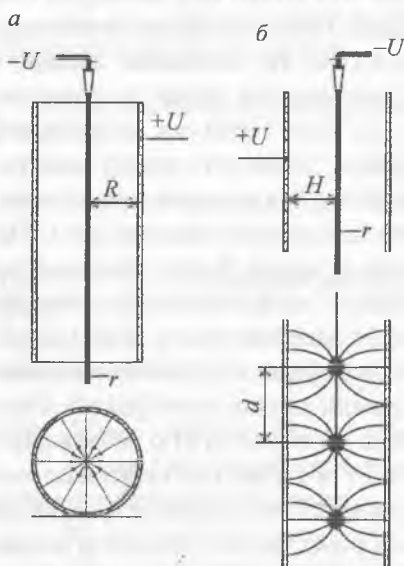
Способ электрической очистки газов от взвешенных частиц основан на явлении ионизации газовых молекул электрическим зарядом в электрическом поле. Газы как диэлектрики не проводят электрический ток. Однако при определенных условиях электропроводность газов наблюдается. Это связано с тем, что атомы или молекулы газа становятся электрически заряженными. Незначительное количество заряженных частиц всегда имеется в газе. Их появление связано с воздействием ультрафиолетовых и космических лучей, радиоактивных газов, высокой температуры и т.д. Если такой газ, содержащий некоторое количество носителей зарядов, поместить между электродами, соединенными с источником тока высокого напряжения, то ионы и электроны начнут двигаться в газе по силовым линиям поля. Направление движения каждого носителя заряда будет определяться величиной заряда, а скорость движения — напряженностью электрического поля. При достаточно большой напряженности поля (например около 16 кВ/см для воздуха при атмосферном давлении и комнатной температуре) движущийся носитель заряда приобретает столь высокую скорость, что, столкнувшись на своем пути с нейтральной газовой молекулой, способен выбить из нее один или несколько внешних электронов, превращая молекулу в положительный ион и свободный электрон. Вновь образовавшиеся ионы также приходят в движение под действием поля, производя дальнейшую ионизацию газа. Такая ионизация называется *ударной ионизацией*. Число образующихся при этом ионов и электронов возрастает лавинообразно, а при дальнейшем усилении поля ими заполняется все пространство между электродами, благодаря чему создаются условия для электрического разряда.

Наиболее распространенными и важными для электрической очистки газа являются искровой, дуговой и коронный разряды. Первые два вида разрядов могут возникать как в однородном, так и в неоднородном электрическом поле, являясь помехой в работе электрофильтра. Коронный разряд может возникать только в неоднородном электрическом поле и при определенных форме и расположении электродов. Коронный разряд используют для электрической очистки.

В электрофильтрах применяют два типа электродов:

а) электроды трубчатого электрофильтра (провод в цилиндрической трубе, рис. 12 а);

б) электроды пластинчатого электрофильтра (ряд проводов между пластинами, рис. 12 б).



Густота силовых линий поля, а следовательно, и напряженность поля намного больше у провода, чем у пластины или стенки трубы. Вследствие указанной неоднородности поля ударная ионизация, а затем и электрический разряд могут возникнуть у поверхности провода, когда напряженность поля в этой области достаточно высока, но не распространяется до другого электрода. По мере удаления от провода напряженность поля уменьшается и скорость движения электронов в газе становится уже недостаточной для поддержания лавинообразного процесса образования

Рис. 12. Основные системы электродов электрофильтров:

а – электрофильтр; б – пластинчатый электрофильтр; $+U$, $-U$ – приложенное к электродам напряжение; R – радиус трубчатого электрода; H – расстояние между проводом и пластинчатым электродом; d – расстояние между проводами; r – радиус провода

новых ионов. Электрический разряд такого незавершенного характера носит название *коронного разряда*. В результате образуются новые ионы, внешним проявлением чего являются голубовато-фиолетовое свечение вокруг провода, негромкое потрескивание и запах окислов азота и озона. Коронный разряд в зависимости от знака заряда на проводе может быть положительным или отрицательным. Внешне они различаются между собой характером свечения. Установлено, что при подаче на коронирующий электрод отрицательной полярности постоянного тока удается достичь улавливания пыли до 99 %, а при положительной — только до 70 %.

При отрицательной полярности представляется возможным держать напряжение до момента наступления искрового пробоя выше, чем при положительной полярности. Это позволяет иметь большой диаметр короны и более высокую напряженность поля, а следовательно, лучшую зарядку и осаждение частиц пыли.

Электрод, вокруг которого возникает коронный разряд, называется *коронирующим электродом*, второй электрод — *осадительным электродом*.

Напряженность поля, при которой возникает корона, называется критической напряженностью. Используется источник постоянного тока высокого напряжения. Через разделяющий электроды промежуток течет электрический ток, называемый *током короны*. Повышение напряжения возможно до величины, при которой электрическая прочность газового промежутка между электродами будет нарушена искровым или дуговым электрическим разрядом, т.е. пока не наступит «пробой» междуэлектродного промежутка.

Установка электрофильтров состоит из двух частей: из собственно электрофильтра или осадительной камеры, через которую пропускается подлежащий очистке газ, и высоковольтной аппаратуры, предназначенной для питания электрофильтра выпрямленным током высокого напряжения.

Питающий электроагрегат состоит из регулятора напряжения, высоковольтного трансформатора, преобразующего переменный ток напряжением 220–380 В в ток напряжения до 1000 кВ, и механического высоковольтного выпрямителя, преобразующего переменный ток в выпрямленный. Последний с помощью высоковольтного кабеля подается на электроды электрофильтра.

В осадительной части электрофилтра смонтированы осадительные и коронирующие электроды. Осадительные электроды могут быть пластинчатыми (из волнистой стали с выштампованными карманами, из угольных пластин и др.) или трубчатыми (из труб круглого или шестиугольного сечения). Коронирующие электроды изготавливают из круглой профилированной проволоки.

Осадительные электроды соединены с положительным контактом механического выпрямителя и заземлены; коронирующие электроды изолированы от земли и соединены с отрицательным контактом механического выпрямителя. При пропускании через межэлектродное пространство электрофилтра очищаемого газа, содержащего твердые либо жидкие взвешенные частицы, происходит зарядка частиц ионами, которые под действием электрического поля двигаются к электродам и оседают на них. Основная масса взвешенных частиц осаждается на осадительных электродах. При этом жидкие взвешенные частицы стекают с электродов, пылевидные частицы удаляют, встряхивая или обстукивая электроды. Уловленные частицы собираются в установленном под электрофилтром бункере, откуда удаляются. В зависимости от того, какие частицы улавливаются, различают сухие и мокрые электрофилтры.

Электрофилтры также различают по направлению движения газов: вертикальные и горизонтальные. Обычно электрофилтры устанавливают параллельно по несколько аппаратов. Электрофилтр может состоять из нескольких параллельных секций, чтобы при эксплуатации отключать часть секций (для осмотра, ремонта, встряхивания), не останавливая всю газоочистную установку. Иногда электрофилтры имеют несколько последовательно расположенных по ходу газа ячеек, или, как их иначе называют, электрических полей. По числу электрических полей такие электрофилтры называют двухпольными, трехпольными и т. д. (рис. 13).

Кроме описанных однозонных электрофилтров применяются еще и двухзонные. Если в первых ионизация газа с помощью коронного разряда и осаждение заряженных частиц происходит в одном электрическом поле (одной зоне), то во вторых эти процессы разделены. Двухзонные электрофилтры состоят из ионизатора, представляющего собой систему электродов, расположенных ближе к входу газа, и осадителя, выполненного из электродов пластинчатого типа, на которых осаждается заряженная пыль.

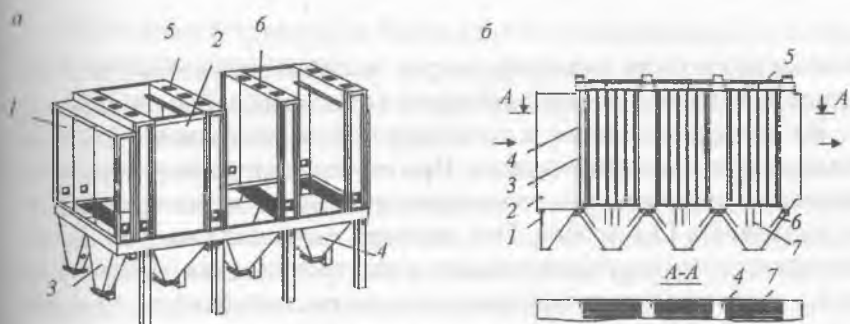


Рис. 13. Корпус (а) и газораспределяющее устройство (б) горизонтального пластинчатого электрофилтра:

а) 1 — форкамера; 2 — камера для размещения электродов; 3 и 4 — бункера форкамеры и электрофилтра; 5 — изоляторная коробка; 6 — горловина люка обслуживания; б) 1 — фартук форткамеры; 2 и 3 — передняя и задняя газораспределительные решетки; 4 — боковые газоотсекающие листы; 5 — защитные листы; 6 — фактура бункера; 7 — поперечные листы бункера

В ионизаторе должно быть исключено осаждение пыли, поэтому он состоит из одного ряда электродов и запыленный газ находится в этой зоне недолго, чтобы пыль успела зарядиться, но не успела осесть.

Скорость перемещения частиц летучей золы в электрическом поле зависит от их размера и величины заряда. Для частиц радиусом меньше 1 микрона величина заряда пропорциональна размерам частицы пыли и не зависит от напряженности электрического поля. Наоборот, величина заряда, который приобретают частицы радиусом больше 1 микрона, зависит главным образом от величины напряженности поля и радиуса частицы (в квадрате).

Время пребывания газов в электрофилтре сильно влияет на качество очистки. Многолетний опыт работы показал, что скорость газов в электрофилтрах невелика (в пределах от 0,5 до 2 м/с), а время пребывания в фильтре значительно (от 2 до 9 с), поэтому электрофилтры достаточно громоздки, но гидравлическое сопротивление их невелико (от 50 до 200 Па). Коэффициент очистки, особенно при мелкой пыли, высок (95–99 %). Они хорошо улавливают частицы мельче 10 микрон. Расход энергии на очистку незначителен и составляет 0,10–0,15 кВт·ч на 1000 м³ очищаемого газа. Ос-

новые недостатки электрофильтров: высокая стоимость и необходимость в высококвалифицированном обслуживающем персонале.

На качество очистки в электрофильтрах оказывают влияние температура и влажность газов. При повышении температуры газа снижается напряжение на коронирующих электродах, которое можно поддерживать без пробоя. Это снижает и степень очистки. Влияние влажности газа на напряжение в электрофильтрах обратно влиянию температуры: повышение влажности способствует повышению пробойного напряжения и, кроме того, благоприятно сказывается на поведении слоя пыли на осадительных электродах. Окислы серы (SO_2) адсорбируются в слое пыли на осадительных электродах и изменяют поведение слоя отложений. При высокой концентрации пыли в газах и с увеличением размера частиц увеличивается опасность «запирания короны». Концентрация пыли, при которой наблюдается явление запирания короны, колеблется в зависимости от дисперсного состава пыли от нескольких граммов на $1 \text{ Н}\cdot\text{м}^3$ до нескольких десятков граммов на $1 \text{ Н}\cdot\text{м}^3$.

На работу сухих электрофильтров значительное влияние оказывает величина удельного электрического сопротивления улавливаемой пыли. Пыль, содержащаяся в газах, по удельному объемному электрическому сопротивлению можно разделить на три группы:

- 1) пыль с сопротивлением до $10 \text{ Ом}/\text{см}$;
- 2) пыль с сопротивлением от 10 до $2\cdot 10 \text{ Ом}/\text{см}$;
- 3) пыль с сопротивлением более $2\cdot 10 \text{ Ом}/\text{см}$.

В данном случае имеется в виду сопротивление слоя пыли, образующейся на осадительных электродах. Вследствие адсорбции частицами пыли газов и паров, заполняющих пустоты, имеющиеся в пылевом слое, меняется удельное электрическое сопротивление материала, из которого образовалась пыль.

Пылинки первой группы при соприкосновении с осадительными электродами почти мгновенно теряют свой отрицательный заряд и приобретают заряд электродов. Получив одноименный заряд, пылинки отскакивают от электродов и попадают снова в газовый поток. Для надежного улавливания пыли первой группы в конструкции осадительных электродов необходимо предусматривать минимальную скорость газов у их поверхности. Это достигается, например, применением волнистых электродов в горизонтальных электрофильтрах.

Пыль второй группы (ее большинство) улавливается в электрофильтрах без затруднений.

При третьей группе пыли ее слой на осадительных электродах действует как изоляция. Поступающие с оседающей пылью электрические заряды не отводятся на осадительный электрод, а создают в слое пыли напряжение. При повышении напряжения до величины, когда напряженность электрического поля (градиент) становится чрезмерной, в порах слоя, заполненных газом, происходит электрический «пробой». Это явление, получившее название «обратной короны», сопровождается выделением положительных ионов, которые движутся по направлению к коронирующим электродам и частично нейтрализуют отрицательный заряд пылинок. Одновременно положительные ионы, выделяемые осадительными электродами, преобразуют электрическое поле между электродами электрофильтра в поле, аналогичное образуемому между двумя остриями, которое легко пробивается при невысоком напряжении.

В указанных условиях в электрофильтре невозможно поддерживать напряжение, при котором достигается эффективная очистка газа. Для снижения электрического сопротивления улавливаемой пыли и повышения эффективности электрофильтров рекомендуется:

- а) понижение температуры очищаемого газа;
- б) увлажнение очищаемого газа перед электрофильтрами (водяной пар сорбируется пылинками и слой пыли становится электропроводным даже при температуре, значительно превышающей точку росы);
- в) введение в очищаемый газ тумана серной кислоты, щелочных аминовых соединений и других веществ, понижающих электрическое сопротивление слоя пыли.

Процесс улавливания золы, поступающей с дымовыми газами в электрофильтр, можно условно разделить на четыре этапа:

- 1) зарядка частиц золы ионами, образующимися в зоне ионного заряда;
- 2) перемещение заряженных частиц золы в межэлектродном пространстве в сторону осадительного электрода под действием электрических и аэродинамических сил;
- 3) осаждение и удержание частиц золы на поверхности осадительных электродов;

4) периодическое удаление осевшей на электродах золы в бункер. Для увеличения эффективности очистки газов в электрофильтрах необходимо, чтобы первые два этапа протекали с возможно большей полнотой. Если зарядка частиц в электрофильтре с устойчивым коронным зарядом осуществляется достаточно быстро, то их перемещение к осадительному электроду происходит с относительно небольшой скоростью, зависящей от величины заряда частиц, их размеров, напряженности поля, аэродинамических характеристик потока и т. д. Очевидно, что выделение частиц золы из газов будет тем полнее, чем больше скорость осаждения (скорость дрейфа) частиц и время пребывания очищаемых газов в активной зоне электрофильтра. Так как возможности увеличения скорости дрейфа частиц регламентируются физическими характеристиками процесса, время их пребывания в электрофильтре определяется скоростью газов и длиной активной зоны электрофильтра, что приводит к увеличению объема и стоимости аппарата.

Исследования показали, что при времени пребывания очищаемых газов в электрофильтре менее 8 с нельзя ожидать получения высокой (99 %) степени очистки газов даже при наиболее благоприятных условиях его работы. На основании проведенных ВТИ и НИИОГАЗ промышленных испытаний многопольных электрофильтров установлено, что для обеспечения высокой степени очистки скорость дымовых газов не должна превышать 1,5 м/с. Этот вывод совпадает с данными зарубежных фирм, которые в настоящее время гарантируют высокую степень очистки лишь при времени пребывания не менее 8,5 с и скорости 1,5 м/с. На эти величины и следует ориентироваться при проектировании аппаратов (электрофильтров).

Для котельных агрегатов большой мощности выбор размеров и количества электрофильтров осложняется проблемами размещения этих аппаратов в ячейке блока и компоновки их с котлов и дымососами. На большинстве отечественных электростанций применяется компоновка электрофильтров в один ряд по ширине ячейки блока, когда продольные оси электрофильтров располагаются параллельно продольной оси блока. Такая компоновка позволяет более просто обеспечить равномерное распределение газов между отдельными аппаратами. Но при этом на блоках мощностью 300 МВт и более электрофильтры старых конструкций с высотой электродов 7,5 м не могут удовлетворить предъявляемым требованиям.

Для проектируемых блоков мощностью 300 и 500 МВт с электрофильтрами новой конструкции и электродами 12 м скорость и время пребывания газов соответствует указанным выше требованиям.

Нельзя проектировать электрофильтры на минимальные избытки воздуха и минимальную температуру уходящих газов. Обычно наблюдаемое отклонение этих параметров от проектных является причиной увеличения скорости газов в электрофильтрах на 20–25% и связанного с этим некоторого ухудшения очистки газов. Таким образом, для обеспечения требуемой очистки дымовых газов мощных электростанций необходимо считать электрофильтры на увеличенное в 1,2 раза количество очищаемых газов (кроме котлов, работающих под наддувом).

В последние годы на электростанции поставляются электрофильтры с игольчатыми коронирующими электродами. Характерными особенностями разряда с электродов по сравнению с разрядом, возникающим на электродах штыкового профиля, являются стабильность положения точек коронирования и более высокое значение токовых нагрузок, что особенно важно для аппаратов, устанавливаемых за котлами, оборудованными топками с жидким шлакоудалением, а также при высоком удельном сопротивлении слоя золы или большой запыленности дымовых газов.

При сопоставлении электродов двух указанных типов обращает на себя внимание значительное отличие интенсивности разряда в гочках коронирования. Увеличение напряженности поля и силы тока короткого разряда при применении игольчатых электродов объясняется увеличением кривизны поверхности за счет кривизны в двух сечениях. В связи с этим улучшаются условия зарядки частиц золы, что обеспечивает увеличение скорости дрейфа в направлении осадительных электродов. Интенсификация коронного разряда в электрофильтрах при использовании игольчатых коронирующих электродов сопровождается также некоторыми побочными явлениями. В зоне короны находятся электроны с энергией, превышающей энергию активации. Это вызывает процесс химического взаимодействия: сернистый ангидрид окисляется до серного (SO_2 – SO_3), появляются окислы азота. Так, опыты в высокочастотном коронном разряде повысили содержание серного ангидрида до 20–50 % и окисление азота на 0,2–0,3 %.

Горизонтальные многопольные электрофилтры являются аппаратами непрерывного действия. Удаление золы с электродов осуществляется путем их встряхивания без отключения электрофилтра от источника тока и потока дымовых газов. При этом неизбежно попадание части золы в поток газов. Этот процесс получил название вторичного уноса и является основной причиной пониженной эффективности сухих электрофилтров по сравнению с мокрыми, у которых осаждение частиц происходит на водяную или масляную пленку и вторичный унос отсутствует. Величина вторичного уноса находится в прямой зависимости от интервала между встряхиваниями осадительного электрода.

В электрофилтрах отечественного производства встряхивание каждого осадительного электрода производится через 3 мин независимо от запыленности газов, эффективности очистки, скорости газов и т. д. Когда удельное сопротивление золы велико, слой золы препятствует стеканию на заземленный электрод зарядов, непрерывно поступающих на его поверхность. Однако следует учитывать, что обычно на осадительных электродах имеется неотряхиваемый слой толщиной 1–2 мм. Толщина же слоя осевшей за 3 мин золы даже при сжигании высокозольных топлив составляет для первых полей электрофилтра 100–200 мкм. Таким образом, десятикратное увеличение интервала между встряхиваниями незначительно увеличит общую толщину слоя. Поэтому этот интервал можно существенно увеличить. При гидротранспорте золы на золоотвал под бункерами золоуловителей обычно устанавливаются гидрозатворы непрерывного действия с открытым переливом.

В этом случае нет дозаторов поступающей золы. Поэтому при одновременном сбросе в них большого количества золы может произойти выбрасывание пульпы или даже сухой золы через открытые лючки гидрозатвора в зольное помещение. Для подсчета максимально допустимого по условиям работы гидрозатвора промежутка времени между встряхиваниями предлагается следующее уравнение:

$$1 - \frac{V_n \cdot F \cdot \mu \cdot \eta \cdot \tau}{c \cdot V} = e^{-\frac{G}{v} \cdot \tau}$$

Здесь c — максимально допустимая концентрация золы в пульпе (500–800 г/л); V_n — объем пульпы в гидрозатворе, м³; G — расход воды на гидрозатвор, м³/с; F — расчетное сечение секции элек-

трофильтра над данным бункером, m^2 ; η — средняя степень золоулавливания; τ — промежуток времени между встряхиваниями, с; μ — динамическая вязкость газов.

При этом период встряхивания каждого электрода

$$T = \tau \cdot n,$$

где n — количество электродов над данным бункером.

Было предложено применение вариантов, позволяющих изменять интервал встряхивания. Испытания показали, что увеличение при помощи вариатора интервала встряхивания осадительных электродов первого поля до 30 мин., а последних полей до 2 ч уменьшило количество выносимой из электрофильтра золы (вторичный унос) примерно на 1/3.

Количество выбрасываемой в атмосферу золы зависит кроме КПД электрофильтра еще и от того, какую часть общего времени работы энергоблока отдельные поля электрофильтров находятся в нерабочем состоянии. Чаще всего отключение полей происходит из-за неполадок внутри корпуса электрофильтра, которые могут быть устранены только при полной остановке энергоблока: обрыв проводов коронирующих электродов (чаще всего в результате электроэрозии), обрыв изоляторов и штанг механизма встряхивания, обрыв и заклинивание полос встряхивания и др.

Обследование многих электрофильтров на отечественных электростанциях показывает, что конструкции подводящих газопроводов и перфорированной решетки на входе в электрофильтры не обеспечивают необходимой равномерности распределения газов по аппаратам и их сечению. Это приводит к общему снижению общей эффективности золоулавливания даже при нормальном электрическом режиме электрофильтра.

Задание № 4

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРОВ

1. Рассчитывается необходимая площадь активного сечения электрофильтров, m^2 ,

$$F_a = \frac{V}{W_э}$$

где W_3 — скорость газов в электрическом поле, м/с;
 V — объем газов на входе электрофильтра м³/с.

2. Зная тип электрофильтра по справочным табл. 9 и 10, определяется площадь сечения одного электрофильтра f_3 . Количество параллельно отключенных электрофильтров, шт,

$$n_3 = \frac{F_a}{f_3},$$

где F_a — необходимая площадь активного сечения электрофильтров, м²

f_3 — площадь сечения одного электрофильтра, м².

3. Для подсчета коэффициента полезного действия вводится понятие удельной поверхности осаждения:

$$f = \frac{S}{V},$$

где S — площадь осаждения осадительных электродов, м²;
 V — объемный расход очищаемых газов, м³/с.

4. Определяется средняя напряженность электрического поля, В/м

$$E = E_0 / d,$$

где E_0 — напряженность поля осаждения В;

d — расстояние между плоскостями осадительных и коронирующих электродов м.

5. Определяем скорость дрейфа заряженных частиц пыли диаметром больше 1 мкм в электрическом поле, м/с,

$$W = \frac{10^{-11} \cdot E^2 \cdot \rho}{\mu}$$

где E — напряженность поля осаждения, В/м;

ρ — радиус частицы, м;

μ — динамическая вязкость газов, Н·с/м².

6. Определяется скорость дрейфа заряженных частиц пыли диаметром меньше 1 мкм

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

7. Определяется КПД для каждого размера частиц пыли:

$$\eta = 1 - e^{-W \cdot f},$$

где W — скорость дрейфа частиц, м/с.

Методику нахождения скорости дрейфа проиллюстрируем цифровым примером. Напряженность поля осаждения $E_0 = 50000$ В, расстояние между плоскостями осадительных и коронирующих электродов $d = 0,125$ м. Тогда средняя напряженность поля, В/м,

$$E = E_0 / d = 50000 / 0,125 = 4 \cdot 10^5.$$

Температура очищаемых газов $t = 140$ °С.

По таблице динамическая вязкость воздуха, Н·с/м², $\mu = 23,5 \cdot 10^{-6}$.

Тогда для частиц размером меньше 1 мкм получим скорость дрейфа частиц

$$W = \frac{0,17 \cdot 10^{-11} \cdot E}{\mu} = \frac{0,17 \cdot 10^{-11} \cdot 4 \cdot 10^5}{23,5 \cdot 10^{-6}} = 0,029.$$

Из приведенных формул следует, что для частиц диаметром более 1 мкм скорость их движения к осадительным электродам прямо пропорциональна размеру частицы и квадрату значения напряженности поля. Частицы диаметром менее 1 мкм движутся со скоростью, не зависящей от их размера и определяемой напряженностью поля. Значения W составляют несколько десятков сантиметров в секунду. Хотя значения W , рассчитанные по приведенным формулам, достаточно хорошо совпадают с данными, полученными при испытаниях электрофильтров, при наличии практически определенных значений W следует пользоваться последними.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ЗАДАНИЮ № 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Температура газовоздушной смеси $t, ^\circ\text{C}$	600	450	800	900	400	650	750	850	950	550
Размер зазора между жалюзи $\Delta H, \text{мм}$	2	3	2	3	2	4	2	3	4	2
Расход газа, $Q_{\text{max}}, \text{м}^3/\text{с}$	2000	3000	4000	5000	2000	3000	4000	5000	2500	3500
Скорость газа, $V, \text{м/с}$	15	10	12	13	14	15	10	12	15	
Отношение длины лопостей к рабочей ширине входной и выходной камер, A/B	0,75	0,8	0,85	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,5	
Тип золоуловителя	ЛИОТ	ВТИ	ЛИОТ	ВТИ	ЛИОТ	ВТИ	ЛИОТ	ВТИ	ЛИОТ	ВТИ
Размер частиц, мкм	50	40	25	20	25	30	40	50	60	5

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ЗАДАНИЮ № 2

Вариант	Тип циклона	Диаметр частицы пыли, d_f , мкм	Объем газа Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	Запыленность газа, $\text{г}/\text{м}^3$	Плотность газовоздушного потока ρ_0 , $\text{кг}/\text{м}^3$
1	ЦН-11	10	2000	10	Кости $1,8 \cdot 10^3$
2	ЦН-15	15	3000	20	Глина $2,4 \cdot 10^3$
3	ЦН-15У	20	4000	40	Стекло $2,8 \cdot 10^3$
4	ЦН-24	15	5000	80	Алюминий $2,7 \cdot 10^3$
5	СК-ЦН-34	10	6000	120	Цемент $3 \cdot 10^3$
6	СДК-ЦН-33	15	7000	150	Кости $1,8 \cdot 10^3$
7	ЦН-24	20	8000	20	Глина $2,4 \cdot 10^3$
8	ЦН-15У	14	9000	40	Стекло $2,8 \cdot 10^3$
9	ЦН-24	15	3000	80	Алюминий $2,7 \cdot 10^3$
0	ЦН-11	9	5000	120	Цемент $3 \cdot 10^3$

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ЗАДАНИЮ № 4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Напряженность поля осадления E_0 , В/м	2	2,5	2,2	2	2,5	2,2	2	2,5	2,2	2
Скорость газов в электрическом поле $W_э$, м/с	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	0,7
Температура очищаемых газов t , °С	140	120	150	100	130	160	170	120	130	140
Объем газов на входе в электрофильтр V , м ³ /с	2000	1000	500	2000	1000	3000	1500	500	1000	800
Радиус частицы r , м	5	4	6	7	3	5	4	6	5	7
Расстояние между плоскостями осадительных и коронирующих электродов d , см	12	11	10	12,5	12	11	10	12,5	12	11
Тип электрофильтра	УГ 1-2-10	УГ 2-3-26	УГ 2-3-53	УГ 3-4-88	УГ 3-4-115	ЭГА 1-10-6-4	ЭГА 1-10-6-6-1	ЭГА 1-10-6-4-3	ЭГА 1-10-6-6-3	ЭГА 1-30-9-6-3

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ЗАДАНИЮ № 3

Приложение 3

Вариант	Параметр конвекторной пыли B	Параметр конвекторной пыли n	Плотность газа ρ_r , кг/м ³	Скорость газа в горловине W_r , м/с	Массовый расход газа M_r , кг/с	Расход орошаемой жидкости $M_{ж}$, кг/с	Удельный расход жидкости m , л/м ³	$r_{ж}$, кПа	Плотность жидкости $\rho_{ж}$, кг/м ³	Проектная эффективность скруббера Θ	Коеф. Гидравлического сопротивления сухой трубы ζ_c
1	$9,78 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,9	135	0,7	0,865	1,5	300	1000	0,9	0,15
2	$9,68 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,8	130	0,8	0,8	2,1	290	900	0,91	0,15
3	$9,58 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,7	125	0,9	0,9	2,2	310	1100	0,92	0,15
4	$9,78 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,9	120	0,7	0,768	1,6	320	1000	0,93	0,15
5	$9,88 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,8	135	0,8	0,877	1,7	300	900	0,94	0,15
6	$9,68 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,7	130	0,9	0,865	1,8	300	1100	0,95	0,15
7	$9,58 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,9	125	0,7	0,8	1,5	290	1000	0,9	0,15
8	$9,88 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,8	120	0,8	0,9	2,1	310	900	0,91	0,15
9	$9,78 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,7	135	0,9	0,768	2,2	320	1100	0,92	0,15
0	$9,88 \cdot 10^{-2}$	0,4663	0,9	130	0,7	0,877	1,6	300	1000	0,93	0,15

Таблица 1

Параметры, определяющие эффективность работы циклонов

Параметры	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34
d_{50}^T , мкм	8,5	6,0	4,5	3,65	2,31	1,95
g, σ_n	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308
$Ig \sigma_c$	0,2	0,26	0,18	0,33	0,15	0,2
$v_{опт}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2	1,7

Таблица 2

Стандартный ряд диаметра циклона

Тип циклона	Стандартный ряд диаметра циклона
ЦН, СК, СДК	0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2

Таблица 3

Значения коэффициентов сопротивления одиночного циклона

Тип циклона	ζ_n^c
ЦН-11	245
ЦН-15	155
ЦН-15У	165
ЦН-24	75
СДК-ЦН-33	520
СК-ЦН-34	1050

Таблица 4

Поправочный коэффициент k_1 на диаметр циклона

Диаметр циклона, м	ЦН-11	ЦН-15; ЦН-24	СДК-ЦН-23; СК-ЦН-34
0,2	0,95	0,9	1
0,3	0,96	0,93	1
0,4	0,99	1	1
0,5	1	1	1
Более	1	1	1

Таблица 5

Поправочный коэффициент k_2 на запыленность газа

Тип циклона	Поправочный коэффициент k_2 на запыленность газа, г/м ³					
	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	0,96	0,94	0,92	0,9	0,87	0,5
ЦН-15	0,93	0,92	0,91	0,9	0,87	0,86
ЦН-15У	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	0,95	0,93	0,92	0,9	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,9

Таблица 6

Классификация пылеуловителей

Класс пылеуловителя	Размер уловляемых частиц, мкм	Группа пыли по дисперсности	Эффективность пылеуловителя пыли, масс / %
I	> 0,3 – 0,5	V	< 80
		IV	80 – 99,9
II	> 2	IV	45 – 92
		III	92 – 99,9
III	> 4	III	80 – 99,0
		II	99,0 – 99,9
IV	> 8	II	95,0 – 99,9
		I	> 99,9
V	> 20	I	> 99,9

КПД жалюзийных золоуловителей

Тип золоуловителя	Размер частицы золы, мкм								
	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Конический (системы ЛИОТ)	35	65	83	90	92	94	96	97,5	99
Плоский (системы ВТИ)	25	63	63	76	86,5	91,3	94,8	96,5	97,5

Примечание: ЛИОТ — Ленинградский институт охраны труда
ВТИ — Всесоюзного теплотехнического института.

Таблица 8

КПД циклона

Тип золоуловителя	Размер частицы золы, мкм								
	5	10	15	20	25	30	40	50	60
Циклон	45	55	83	97	97,5	98	98,3	99	99,2

Таблица 9

Технические характеристики электрофильтров серии УГ

Марка электрофильтра	Активная высота электродов, м	Активная длина поля, м	Количество полей, шт.	Площадь активного сечения 1 фильтра, м ²	Общая площадь осаждения, м ²	Габаритные размеры, м		
						длина	ширина по осям опоры	высота
УГ 1-2-10	4,2	2,51	2	10	420	9,6	3,0	12,3
УГ 1-3-10	4,2	2,51	3	10	630	14,1	3,0	12,3
УГ 1-2-15	4,2	2,51	2	15	630	9,6	4,5	12,3
УГ 1-3-15	4,2	2,51	3	15	940	14,1	4,5	12,3
УГ 2-3-26	7,5	2,51	3	26	1690	14,1	4,5	15,4
УГ 2-4-26	7,5	2,51	4	26	2250	18,6	4,5	15,4
УГ 2-3-27	7,5	2,51	3	37	2360	14,1	6,0	15,4
УГ 2-4-37	7,5	2,51	4	37	3150	18,6	6,0	15,4
УГ 2-3-53	7,5	2,51	3	53	3370	14,1	9,0	15,4
УГ 2-4-53	7,5	2,51	4	53	4500	18,6	9,0	15,4
УГ 2-3-74	7,5	2,51	3	74	4700	18,6	12,0	15,4
УГ 2-4-74	7,5	2,51	4	74	6300	18,8	12,0	15,4
УГ 3-3-88	12,0	3,95	3	88	9200	24,8	9,0	21,8
УГ 3-4-88	12,0	3,95	4	88	12300	18,8	9,0	21,8
УГ3-3-115	12,0	3,95	3	115	12100	24,8	12,0	21,8
УГ3-4-115	12,0	3,95	4	115	16100	18,8	12,0	21,8
УГ3-3-177	12,0	3,95	3	177	18400	24,8	18,0	21,8
УГ3-4-177	12,0	3,95	4	177	24600	18,8	18,0	21,8
УГ3-3-230	12,0	3,95	3	230	24200	24,8	24,0	21,8
УГ3-4-230	12,0	3,95	4	230	32200	18,8	24,0	21,8
УГ3-3-265	12,0	3,95	3	265	27600	24,8	27,0	21,8
УГ3-4-265	12,0	3,95	4	265	36900	18,8	27,0	21,8

Техническая характеристика электрофильтров серии ЭГА

Марка электрофильтров	Количество газовых проходов, шт.	Активная высота электродов, м	Активная длина поля, м	Количество полей, шт.	Площадь активного сечения 1 фильтра, м ²	Общая площадь осаждения, м ²	Габаритные размеры, м		
							длина	ширина по осям	высота
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЭГА1-10-6-4	10	6,0	2,56	2	16,5	630	9,26	3,2	12,4
ЭГА1-10-6-4-3	10	6,0	2,56	3	16,5	950	13,44	3,2	12,4
ЭГА1-10-6-6-1	10	6,0	3,84	2	16,5	950	11,82	3,2	13,4
ЭГА1-10-6-6-3	10	6,0	3,84	3	16,5	1430	17,28	3,2	13,4
ЭГА1-14-7.5-4-3	14	7,5	2,56	3	28,7	1660	13,44	4,4	13,9
ЭГА1-14-7.5-4-4	14	7,5	2,56	4	28,7	2210	17,62	4,4	13,9
ЭГА1-14-7.5-6-2	14	7,5	3,84	2	28,7	1660	11,82	4,4	14,9
ЭГА1-14-7.5-6-3	14	7,5	3,84	3	28,7	2480	17,28	4,4	14,9
ЭГА1-20-7.5-4-3	20	7,5	2,56	3	41,0	2360	13,44	6,2	15,4
ЭГА1-20-7.5-4-3	20	7,5	2,56	4	41,0	3160	17,62	6,2	15,4
ЭГА1-20-7.5-6-2	20	7,5	3,84	2	41,0	2360	11,82	6,2	15,4
ЭГА1-20-7.5-6-3	20	7,5	3,84	3	41,0	3550	17,28	6,2	15,4
ЭГА1-20-9-6-2	20	9,0	3,84	2	49,0	2830	11,82	6,2	16,9
ЭГА1-20-9-6-3	20	9,0	3,84	3	49,0	4240	17,28	6,2	16,9
ЭГА1-10-9-6-4	20	9,0	3,84	4	49,0	5660	22,74	6,2	16,9
ЭГА1-30-7.5-4-3	30	7,5	2,56	3	61,4	3550	13,44	9,2	14,9
ЭГА1-30-7.5-4-4	30	7,5	2,56	4	61,4	4730	17,62	9,2	14,9
ЭГА1-30-7.5-6-2	30	7,5	3,84	2	61,4	3550	11,82	9,2	14,9
ЭГА1-30-7.5-6-3	30	7,5	3,84	3	61,4	5320	17,28	9,2	14,9

Окончание табл. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЭГА1-30-9-6-2	30	9,0	3,84	2	73,4	4240	11,82	9,2	16,4
ЭГА1-30-9-6-3	30	9,0	3,84	3	73,4	6360	17,28	9,2	16,4
ЭГА1-30-9-6-4	30	9,0	3,84	4	73,4	8480	22,74	9,2	16,4
ЭГА1-30-12-6-3	30	12,0	3,84	3	97,4	8440	17,28	9,2	19,4
ЭГА1-30-12-6-4	30	12,0	3,84	4	97,4	11250	22,74	9,2	19,4
ЭГА1-40-7.5-4-4-3	40	7,5	2,56	3	81,9	4730	13,44	9,2	15,4
ЭГА1-40-7.5-4-4	40	7,5	2,56	4	81,9	6310	17,62	12,2	15,4
ЭГА1-40-7.5-6-2	40	7,5	3,84	2	81,9	4730	11,82	12,2	15,4
ЭГА1-40-7.5-6-3	40	7,5	3,84	3	81,9	7100	17,28	12,2	15,4
ЭГА1-40-9-6-2	40	9,0	3,84	2	97,9	5650	11,82	12,2	16,9
ЭГА1-40-9-6-3	40	9,0	3,84	3	97,9	8480	17,28	12,2	16,9
ЭГА1-40-9-6-4	40	9,0	3,84	4	97,7	11310	22,74	12,2	16,9
ЭГА1-40-12-6-3	40	12,0	3,84	3	129,8	11250	17,28	12,2	19,9
ЭГА1-40-12-6-4	40	12,0	3,84	4	129,8	15000	22,74	12,2	19,9
ЭГА2-48-12-6-3	48	12,0	3,84	3	155,8	13500	17,28	15,2	19,9
ЭГА2-48-12-6-4	48	12,0	3,84	4	155,8	18000	22,74	15,2	19,9

Таблица 11

**Технические характеристики
унифицированных вертикальных электрофильтров
серии УП и УВВ**

Марка электро- филтра	Площадь активного сечения, м ²	Количество секций, шт.	Количество полей, шт.	Шаг между одноименными элементами, мм	Активная длина поля, м	Общая площадь осаждения осадительных электродов, м ²	Габаритные размеры, ширина × длина (по осям опор), м	Высота, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
УВ-2×10	21	2	1	275	7,4	1200	6,0×4,5	19,9
УВ-3×10	32	3	1	275	7,4	1800	9,0×4,5	19,9
УВ-1×16	16	1	1	275	7,4	900	4,5×4,5	19,9
УВ-2×16	32	2	1	275	7,4	1800	9,0×4,5	19,9
УВ-2×24	48	2	1	275	7,4	2600	9,0×6,0	21,4

Таблица 12

Динамическая вязкость воздуха

Темпе- ратура, °С	Вязкость, Н·с/м ²	Темпе- ратура, °С	Вязкость, Н·с/м ²	Темпе- ратура, °С	Вязкость, Н·с/м ²
-50	14,6×10	80	20,9×10	350	31,4×10
-20	16,3×10	90	21,6×10	400	21,8×10
0	17,1×10	100	21,7×10	500	36,1×10
10	17,7×10	120	22,7×10	600	39,2×10
20	18,2×10	140	23,5×10	800	44,4×10
30	18,7×10	160	24,1×10	1000	49,5×10
40	19,2×10	180	24,9×10	1200	53,9×10
50	19,6×10	200	25,8×10	1400	57,5×10
60	20,1×10	250	27,8×10	1600	61,5×10
70	20,3×10	300	29,7×10	1800	65,5×10

СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

Рабочая программа
и задание на контрольную работу
с методическими указаниями

Редактор *Г.В. Тимченко*
Компьютерная верстка *Г.Д. Волкова*

Тип. зак. **749.**

Подписано в печать 01.08.07

Усл. печ. л. 4,25

Изд. зак. 231

Гарнитура Times.

Тираж 500 экз.

Офсет

Формат 60×90^{1/16}

Издательский центр РГОТУПС,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати РГОТУПС,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2