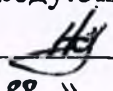


Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»
Факультет инженерных систем и экологии
Кафедра теплогазоснабжения и вентиляции

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

 В.Г.Новосельцев

« 28 » 12 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

 О. И. Мешник

« 29 » 12 2022 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«ОЧИСТКА ВЕНТВЫБРОСОВ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

для специальности:

1-70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна

Составитель:

Н.Н. Шпендик – доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Учреждения образования «Брестский государственный технический университет»

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БрГТУ
протокол №3 от 29.12.2022 г.

рег. N УМК 22/23 - 86

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Актуальность изучения дисциплины

Дисциплина «Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение» является одной из профильных дисциплин специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». Изучение дисциплины способствует всесторонней подготовке специалистов согласно квалификационной характеристике в области очистки вентвыбросов и ресурсосбережения.

Целью преподавания дисциплины «Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение» Изучение основных мероприятий при обслуживании, эксплуатации, текущем и капитальном ремонте систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Задачи изучения дисциплины:

Изучение методов расчета качественного и количественного состава выбросов от промышленных объектов в атмосферу; определение уровня загрязнения атмосферного воздуха газовыми выбросами; анализ риска технологий на взрывоопасность; методов создания экологически чистых производств

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 26 июля 2011 г., № 167, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение» для специальности специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». ЭУМК разработан в полном соответствии с утвержденной учебной программой по учебной дисциплине компонента учреждения высшего образования «Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение».

Цели ЭУМК:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- обеспечение открытости и доступности образовательных ресурсов путем размещения ЭУМК в локальной сети университета;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Энергосбережение и энергетический менеджмент»:

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

Практический раздел ЭУМК содержит примерный перечень тем для проведения практических учебных занятий.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит примерный перечень вопросов, выносимых на экзамен, позволяющих определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Вспомогательный раздел включает учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

– лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК теоретических материалов, часть материала представляется с использованием персонального компьютера и мультимедийного проектора;

– при подготовке к экзамену студенты могут использовать конспект лекций, техническую, основную и вспомогательную литературу;

– экзамены проводятся в письменной форме, вопросы для экзаменов приведены в разделе контроля знаний.

ЭУМК способствует успешному усвоению студентами учебного материала, дает возможность планировать и осуществлять самостоятельную работу студентов, обеспечивает рациональное распределение учебного времени по темам учебной дисциплины и совершенствование методики проведения занятий.

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ

I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ТЕМА 1 ВВЕДЕНИЕ

ТЕМА 2 ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ПАРОВ И ГАЗОВ.

ТЕМА 3 ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ПЫЛИ.

ТЕМА 4 ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ МИКРООГАНИЗМОВ И НЕПРИЯТНЫХ ЗАПАХОВ.

ТЕМА 5 РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ.

ТЕМА 6 ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ, ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРИ ОЧИСТКЕ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ И УТИЛИЗАЦИИ УЛОВЛЕННЫХ ВЕЩЕСТВ.

ТЕМА 7 ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ И УТИЛИЗАЦИИ УЛОВЛЕННЫХ ПРОДУКТОВ.

II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

III РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

IV ВСПОМАГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

I ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ТЕМА 1 ВВЕДЕНИЕ

ТЕМА 2 ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ПАРОВ И ГАЗОВ.

ТЕМА 3 ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ПЫЛИ.

ТЕМА 4 ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ МИКРООГАНИЗМОВ И НЕПРИЯТНЫХ ЗАПАХОВ.

ТЕМА 5 РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ.

ТЕМА 6 ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ, ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРИ ОЧИСТКЕ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ И УТИЛИЗАЦИИ УЛОВЛЕННЫХ ВЕЩЕСТВ.

ТЕМА 7 ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ И УТИЛИЗАЦИИ УЛОВЛЕННЫХ ПРОДУКТОВ.

II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ТЕМА 1 ВВЕДЕНИЕ

Производственная деятельность неизбежно приводит к образованию различных видов отходов, оказывающих то или иное воздействие на окружающую среду. В настоящее время в целом по промышленности улавливается около 90% пыли, образующейся на различных стадиях производства, и только 10% различных аэрозолей выбрасывается в атмосферный воздух. Такого нельзя сказать о газо- и парообразных загрязняющих веществах, содержащихся в газовоздушных выбросах промышленного производства. Несмотря на то, что эти примеси представляют собой большую опасность для окружающей среды, их улавливается или обезвреживается только около 10%, а более 90% вредных газов и паров поступает в воздушный бассейн.

Основными принципами охраны атмосферного воздуха являются:

- государственное регулирование и управление в области охраны атмосферного воздуха;
 - обязательность оценки воздействия на атмосферный воздух хозяйственной и иной деятельности при принятии решений об ее осуществлении;
 - допустимость воздействия хозяйственной и иной деятельности на атмосферный воздух с учетом требований в области охраны атмосферного воздуха;
 - платность за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух при осуществлении хозяйственной и иной деятельности;
 - нормирование в области охраны атмосферного воздуха;
 - предотвращение загрязнения атмосферного воздуха и причинения вреда окружающей среде;
 - возмещение вреда, причиненного окружающей среде выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух, жизни, здоровью и имуществу граждан, в том числе индивидуальных предпринимателей, имуществу юридических лиц и имуществу, находящемуся в собственности государства, посредством загрязнения атмосферного воздуха в результате хозяйственной и иной деятельности;
- доступность экологической информации о состоянии атмосферного воздуха, воздействиях на него и мерах по его охране.

Объекты воздействия на атмосферный воздух разделяются по категориям (5 категорий) на основании:

- количества источников выбросов, находящихся на объекте воздействия на атмосферный воздух;
- количественного и качественного состава выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от источников выбросов, находящихся на объекте воздействия на атмосферный воздух;
- размера зоны воздействия;
- вероятности наступления на объекте воздействия на атмосферный воздух событий, имеющих неблагоприятные последствия для качества атмосферного воздуха, определяемой на основании данных об объемах используемых или хранящихся на этом объекте воздействия на атмосферный воздух легко летучих, взрывоопасных, пожароопасных или токсичных веществ.

Основные определения источников выбросов (Закон РБ "Об охране атмосферного воздуха", Статья 1)

Источники выбросов - технологическое и иное оборудование, технологические процессы, машины, механизмы, от которых осуществляется выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

Классификация источников выбросов загрязняющих веществ

Согласно п. 2 Статьи 13 Закона РБ "Об охране атмосферного воздуха" источники выбросов классифицируются на стационарные, мобильные и нестационарные.

Мобильные источники выбросов - транспортные средства и самоходные машины, оснащенные двигателями, эксплуатация которых влечет за собой выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Стационарные источники выбросов - источники выбросов, перемещение которых без несоразмерного ущерба их назначению невозможно.

К нестационарным источникам выбросов относятся источники выбросов, не являющиеся стационарными или мобильными источниками выбросов и включенные в утверждаемый Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь перечень нестационарных источников выбросов.

Мобильные источники выбросов подразделяются на:

- механические транспортные средства (за исключением приводимых в движение электродвигателями);
- железнодорожные транспортные средства (за исключением приводимых в движение электродвигателями);
- воздушные суда;
- морские суда, суда внутреннего плавания, суда смешанного (река - море) плавания, маломерные суда;
- самоходные машины.

Механические транспортные средства классифицируются по экологическим классам.

Экологические классы механических транспортных средств и порядок отнесения механических транспортных средств к экологическим классам механических транспортных средств устанавливаются Советом Министров Республики Беларусь.

Существует ряд нормативных документов регламентирующих качество атмосферного воздуха и осуществления контроля. Нормирование качества атмосферного воздуха в части влияния на здоровье человека осуществляется Министерством здравоохранения, а в части воздействия на компоненты природной среды Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды.

К **нормативам качества** атмосферного воздуха относятся:

нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения;

нормативы экологически безопасных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе особо охраняемых природных территорий, отдельных природных комплексов и объектов особо охраняемых природных тер-

риторий, а также природных территорий, подлежащих специальной охране, и биосферных резерватов.

Нормативные документы, которыми необходимо руководствоваться:

Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30 декабря 2016 г. № 141 «Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к атмосферному воздуху населенных пунктов и мест массового отдыха населения»;

Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 30 декабря 2016 г. № 141 «Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к атмосферному воздуху населенных пунктов и мест массового отдыха населения»;

ЭкоНиП 17.08.06-002-2018 (10 Требования в области охраны атмосферного воздуха);

Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 23 июня 2009 г. № 42 «Об утверждении Инструкции о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух» (ред.2021 г.)

ТЕМА 2 ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ПАРОВ И ГАЗОВ.

Очистка технологических и вентиляционных выбросов промышленных предприятий от газо- и парообразных примесей характеризуется следующими особенностями:

1 - газы, выбрасываемые в атмосферу разнообразны по химическому составу;

2 - газы, выбрасываемые в атмосферу, довольно часто имеют высокую температуру и содержат большое количество пыли;

3 - концентрация газообразных и парообразных примесей зачастую переменна и низка.

Создаваемые в промышленности газоочистные установки позволяют обезвреживать вентиляционные и технологические выбросы без или с последующей утилизацией уловленных примесей. Первый тип аппаратов характеризуется санитарными ограничениями, связанными с процессами удаления, транспортировки и захоронения уловленного продукта. Аппараты с выделением продукта в концентрированном виде и дальнейшем использовании его для нужд народного хозяйства наиболее перспективны. Производство таких установок – важный этап в разработке малоотходной и безотходной технологии.

Методы очистки промышленных выбросов от газообразных примесей по характеру протекания физико-химических процессов делят на следующие основные группы:

1 абсорбция – промывка выбросов растворителями примесей;

2 хемосорбция – промывка выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически;

3 адсорбция – поглощение газообразных примесей твердыми активными веществами;

4 термическая нейтрализация отходящих газов;

5 биохимические методы.

Выбор метода очистки определяется технико-экономическим расчетом и зависит от:

- концентрации загрязнителя в очищаемом газе и требуемой степени очистки, зависящей от фоновое загрязнение атмосферы в данном регионе;
- объемов очищаемых газов и их температуры;
- наличия сопутствующих газообразных примесей и пыли;
- потребности в тех или иных продуктах утилизации и наличии требуемого сорбента;
- размеров площадей, имеющих для сооружения газоочистной установки; наличия необходимого катализатора, природного газа и т. д.

Главный принцип, который должен быть положен в основу проектирования очистных сооружений — это максимально возможное удержание вредных веществ, теплоты и возврат их в технологический процесс.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГАЗОВ



Процесс абсорбции часто называют скрубберным процессом. Метод абсорбции заключается в разделении газовой смеси на составные части путем поглощения одного или нескольких газовых компонентов (абсорбатов) этой смеси жидким поглотителем (абсорбентом) с образованием раствора.

Движущей силой здесь является градиент концентрации на границе фаз газ – жидкость. Растворенный в жидкости компонент газовой смеси (абсорбат) благодаря диффузии проникает во внутренние слои абсорбента. Процесс протекает тем быстрее, чем больше поверхность раздела фаз. При проектировании абсорберов особое внимание следует уделять организации контакта газового потока с жидким растворителем и выбору поглощающей жидкости (абсорбента).

Решающим условием при выборе абсорбента является растворимость в нем извлекаемого компонента и ее зависимость от температуры и давления. Если растворимость газов при 0°C и парциальном давлении 101,3 кПа составляет сотни граммов на 1 кг растворителя, то такие газы называют хорошо растворимыми.

Для удаления из технологических выбросов таких газов, как аммиак, хлористый или фтористый водород, целесообразно применять в качестве поглотительной жидкости воду, так как растворимость их в воде составляет сотни граммов на 1 кг воды. При поглощении же из газов сернистого ангидрида или хлора расход воды будет значительным, так как растворимость их составляет сотые доли грамма на 1 кг воды. В некоторых случаях вместо воды применяют водные растворы таких химических веществ, как сернистая кислота (для улавливания водяных паров), вязкие масла (для улавливания ароматических углеводородов из коксового газа) и др.

Контакт газового потока с жидким растворителем осуществляется либо пропусканием газа через насадочную колонну, либо распылением жидкости, либо барботажем газа через слой абсорбирующей жидкости.

Регенерация абсорбента – восстановление сорбционных свойств – осуществляется с целью повторного использования его в циркуляционных процессах. При регенерации абсорбента из него выделяется целевой компонент, т. е. происходит обратный процесс – процесс десорбции.

Десорбцию можно проводить путем пропускания десорбирующего агента (инертного газа или водяного пара) через слой отработанного абсорбента. Десорбируемый целевой компонент переходит из жидкой фазы в газовую или паровую фазу вследствие того, что равновесное давление его над жидкостью выше, чем в десорбирующем агенте.

Для осуществления более полной десорбции при наименьшем расходе десорбирующего агента процесс обычно проводят при противоточном взаимодействии отработанного абсорбента и десорбирующего агента в аппаратах (десорберах или регенераторах) колонного типа с непрерывным (насадочные колонны) или ступенчатым (тарельчатые барботажные аппараты) контактом.

В качестве инертного газа обычно используют воздух. Метод адсорбции основан на физических свойствах некоторых твердых тел с ультрамикроскопической структурой селективно извлекать и концентрировать на своей поверхности отдельные компоненты из газовой смеси. В пористых телах с капиллярной структурой поверхностное поглощение дополняется капиллярной конденсацией.

Адсорбция подразделяется на физическую адсорбцию и хемосорбцию. При физической адсорбции молекулы газа прилипают к поверхности твердого тела под действием межмолекулярных сил притяжения. Преимущество физической адсорбции – обратимость процесса. При уменьшении давления адсорбата в потоке газа либо при увеличении температуры поглощенный газ легко десорбируется без изменения химического состава. Обратимость данного процесса исключительно важна, если экономически выгодно рекуперировать адсорбируемый газ или адсорбент.

В основе хемосорбции лежит химическое взаимодействие между адсорбатом и адсорбируемым веществом. Действующие при этом силы сцепления значительно больше, чем при физической адсорбции соответственно и высвобождающаяся при хемосорбции теплота существенно больше. Процесс хемосорбции, как правило, необратим: при десорбции меняется химический состав адсорбата. Поэтому, если необходима регенерация адсорбента или рекуперация адсорбата, то адсорбирующую среду следует выбирать таким образом, чтобы преобладали процессы физической адсорбции.

Одним из основных параметров при выборе адсорбента является адсорбционная способность по извлекаемому компоненту. Адсорбционная способность или масса вещества, поглощенная единицей массы адсорбента в произвольный момент времени, зависит от концентрации адсорбируемого вещества (парциального давления p , Па) у поверхности адсорбента, общей площади этой поверхности, физических, химических и электрических свойств адсорбируемого вещества и адсорбента, температурных условий и присутствия других примесей.

ТЕМА 3 ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ПЫЛИ.

Для очистки от пыли существует четыре типа пылеулавливающих установок: сухие пылеуловители, мокрые пылеуловители, фильтры и электрофильтры.

При выборе метода очистки прежде всего необходимо учитывать концентрацию загрязняющих веществ и параметры газового потока, немаловажным критерием являются также расходы, необходимые для организации системы газоочистки. Как правило, для очистки минимально возможного объема газа с более высокой концентрацией примесей требуются затраты ниже, чем для очистки большого объема газов с меньшей концентрацией загрязняющих веществ. При этом для газовых потоков с высокой концентрацией загрязнителя целесообразно проведение предварительной обработки, позволяющей уменьшить размеры основной системы газоочистки и повысить ее экономическую эффективность. При отсутствии необходимости извлечения ценных продуктов или предварительного охлаждения газового потока экономически целесообразнее проведение обработки в одной системе.

Наличие пыли в очищаемом газовом потоке, особенно при больших нагрузках, может привести к сбоям в работе очистного оборудования (забиваются насадки, происходит загрязнение теплопередающих поверхностей конденсатора и т.д.). Решить эту проблему можно с помощью предварительной обработки в пылеулавливающих устройствах или путем разработки специального оборудования для одновременной очистки от газовых примесей и пыли. При высокой нагрузке по твердым загрязнениям следует использовать оборудование, обеспечивающее одновременное улавливание пыли и поглощение газа.

В зависимости от размеров содержащихся частиц пыль разделяют на крупнодисперсную (размер частиц более 100 мкм), среднедисперсную (размер частиц от 10 до 100 мкм) и тонкодисперсную (размер частиц до 10 мкм).

Оценка эффективности систем пыле-газоочистки проводится по следующим показателям:

Степень (эффективность) очистки газов – отношение количества уловленного загрязняющего вещества (ЗВ) к количеству, поступающему в аппарат на очистку:

$$\eta = \frac{M_{ул}}{M_{вх}} = \frac{M_{вх} - M_{вых}}{M_{вх}} = \frac{C_{вх}Q_{вх} - C_{вых}Q_{вых}}{C_{вх}Q_{вх}} = 1 - \frac{C_{вых}Q_{вых}}{C_{вх}Q_{вх}}$$

где $M_{вх}$, $M_{вых}$, $M_{ул}$ – соответственно количество уловленного в аппарате, входящего и выходящего из аппарата ЗВ, кг/с;
 $C_{вх}$, $C_{вых}$ – концентрация ЗВ в единице объема сухого газа соответственно на входе и выходе из аппарата, г/м³;
 $Q_{вх}$, $Q_{вых}$ – расход газа соответственно на входе и выходе из аппарата, м³.

При работе газоочистного аппарата без утечек и подсоса воздуха, определив концентрацию загрязняющего вещества относительно единицы объема сухого газа, приведенного к нормальным условиям, степень очистки можно выразить так:

$$\eta = 1 - \frac{C_{вых}}{C_{вх}} .$$

Коэффициент проскока – отношение количества загрязняющего вещества, выходящего с выбросами из аппарата пылегазоочистки, к количеству, поступившему в него:

$$K_{пр} = \frac{M_{вых}}{M_{вх}} = 1 - \eta .$$

$K_{пр}$ и η могут быть выражены в долях единицы или в %.

Величиной $K_{пр}$ пользуются в случаях, когда необходимо оценить конечную запыленность или сравнить относительную запыленность газов на выходе из различных аппаратов. Для определения степени очистки абсолютные значения $Q_{вх}$ и $Q_{вых}$ находить необязательно, достаточно знать их соотношение $Q_{вх}/Q_{вых}$.

Степень очистки для частиц пыли различных размеров неодинаковая. Лучше улавливается крупная пыль, чем мелкая. Степень совершенства пылеулавливающего аппарата характеризуется достигаемой с его помощью фракционной (или парциальной) степенью очистки.

Фракционная степень (коэффициент) очистки – отношение количества пыли данной фракции, уловленной в аппарате к количеству входящей пыли той же фракции.

Парциальная степень (коэффициент) очистки – отношение количества частиц данного размера, уловленных в аппарате, к количеству частиц этого же размера на входе в аппарат.

Фракционный коэффициент очистки можно найти как среднее значение парциальных коэффициентов очистки частиц пыли, входящих в данную фракцию.

Сухие механические пылеуловители – это аппараты, в которых используются различные механизмы осаждения: гравитационный (пылеосадительные камеры); инерционный (инерционные пылеуловители); центробежный (одиночные, групповые и батарейные циклоны, вихревые и динамические пылеуловители).

Пылеосадительные камеры

Пылеосадительные камеры представляют собой пустотелый (рис.) или с горизонтальными полками во внутренней полости прямоугольный короб, в нижней части которого расположен бункер для сбора пыли. Камеры изготавливают из кирпича, железобетона или стали.

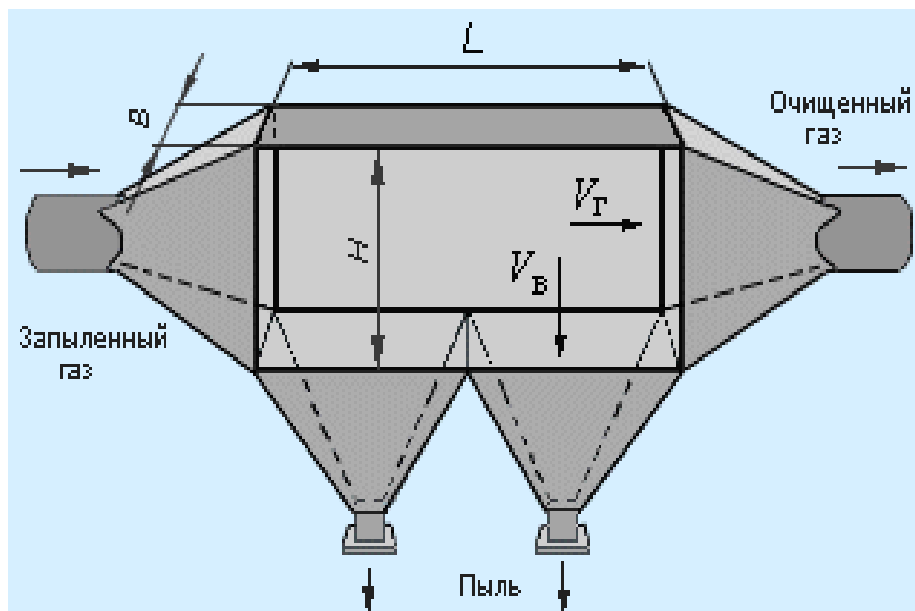


Рисунок - Схема пылесадительной камеры

Инерционные пылеуловители

Действие *инерционных пылеуловителей* основано на резком изменении направления движения газопылевого потока (на 90 или 180°). Для изменения движения газов устанавливают перегородки, в результате чего наряду с силой тяжести действуют и силы инерции. Пылевые частицы, стремясь сохранить направление своего движения после изменения направления движения потока газов, осаждаются в бункере.

Инерционный пылеуловитель ИП (рис.) представляет собой конус, образованный коническими кольцами с постепенно уменьшающимся диаметром.

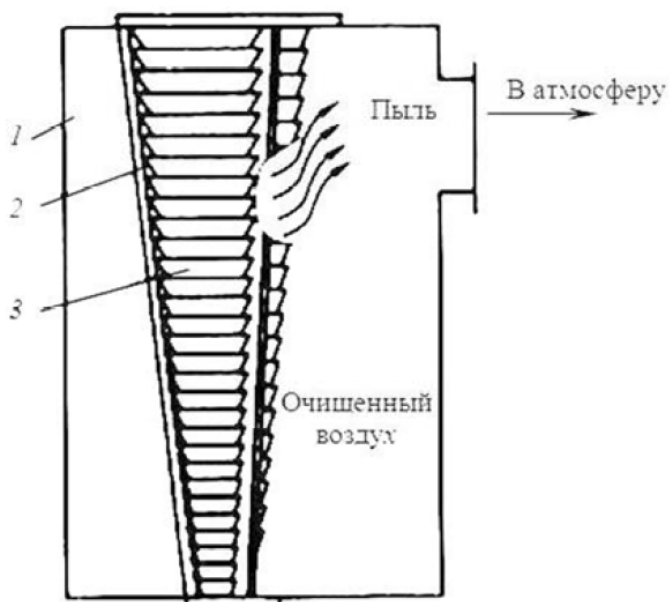


Рисунок - Инерционный пылеуловитель ИП:

1 – короб, 2 – ребра, 3 - кольца

Центробежные пылеуловители

Центробежными пылеуловителями являются Циклоны. Основным механизмом осаждения пыли является центробежный механизм. Принцип действия циклона представлен на рис.

В зависимости от типа, циклоны ЦН имеют различные углы наклона завихрителей, различные соотношения внутреннего диаметра к их длине, ширине и высоте входного патрубка, высоте цилиндрической и конической частям циклона, диаметру выхлопной трубы и другим определяющим размерам. Все эти соотношения влияют на технические характеристики циклонов, такие как: производительность, удельные энергозатраты, эффективность улавливания пыли, фракционный состав улавливаемой пыли, потери давления в аппарате.

Циклоны ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 относятся к цилиндрическим циклонам, их особенностью является наличие удлиненной цилиндрической части, наклон крышки и входного патрубка соответственно под углом 11° , 15° и 24° и одинаковое отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона равное 0,59. Циклон ЦН-15У (укороченный) отличается от циклона ЦН-15 меньшей высотой. Циклоны СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-40 относятся к коническим циклонам. Они отличаются удлиненной конической частью, спиральным входным патрубком в виде улитки и малым отношением диаметра выхлопной трубы к диаметру корпуса цилиндра равным 0,33, 0,34 и 0,40 соответственно.

Батарейные циклоны представляют собой пылеулавливающие аппараты, составленные из большого количества параллельно установленных циклонных элементов (мультициклонов), объединенных в одном корпусе и имеющих общий подвод и отвод газов, а также сборный бункер.

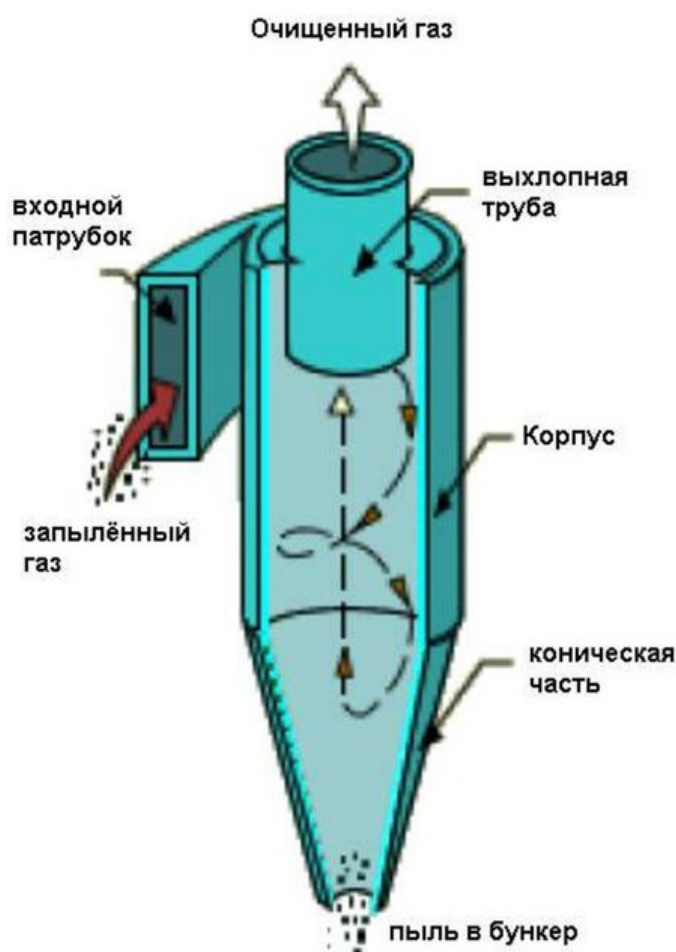


Рисунок - Схема центробежного пылеуловителя

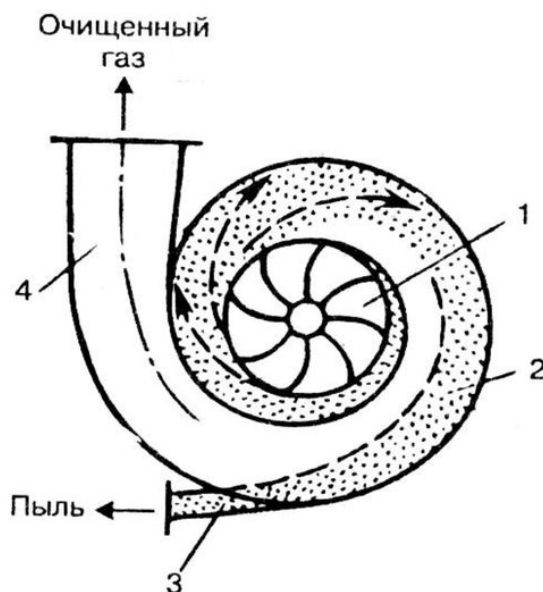
Вихревые пылеуловители

В вихревом пылеуловителе, как и в циклоне, выделение пыли из очищаемого пылегазового потока происходит под действием центробежных сил, возникающих при вращении потока в корпусе. Основная особенность вихревых аппаратов – дополнительное закручивание очищаемого газа с помощью вторичного газового потока.

Пылеуловители ротационного действия

Принципиальная конструкция *простейшего ротационного пылеуловителя* представлена на рис. Пылеуловители ротационного действия представляют собой механизм, состоящий из рабочего колеса 1 и спирального кожуха 2. Пылегазовый поток приводится во вращательное движение рабочим колесом, при этом под действием развивающихся сил (центробежной силы Кориолиса) из очищаемого газа выделяется пыль. Причем частицы пыли, обладающие большей массой, под действием центробежных сил отбрасываются к стенке спиралеобразного кожуха и движутся вдоль нее в направлении пылеприемного отверстия 3, через которое они отводятся в пылевой бункер, а очищенный газ поступает в отводящий патрубок 4.

РОТАЦИОННЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ



При вращении вентилятора колеса 1 частицы пыли за счет центробежных сил отбрасываются к стенке спиралеобразного кожуха 2 и движутся по ней в направлении выхлопного отверстия 3.

Газ, обогащенный пылью, через специальное пылеприемное отверстие 3 отводится в пылевой бункер, а очищенный газ поступает в выхлопную трубу 4.

Достаточно высокая эффективность очистки воздуха такими аппаратами достигается при улавливании сравнительно крупных частиц пыли (свыше 20... 40 мкм).

Общие понятия и классификация аппаратов мокрой очистки газов

Мокрые пылегазоуловители, как понятно из названия, осуществляют жидкостный захват механических и газообразных загрязнителей, поэтому неотъемлемым узлом каждого агрегата является контур подачи жидкости в рабочую камеру, а также – разумеется – система отвода отработанной жидкости (т.н. шлама). Поскольку очистка идет в мокрой среде, для исключения уноса брызг вовне, аппараты комплектуются т.н. брызгоуловителями или туманоуловителями.

Значение слова и сходство с термином «скраббер»

Название мокрого фильтра скрубберного типа часто путают со словом «скраббер», особенно, представительницы прекрасного пола. И это неудивительно, ведь оба слова восходят к английскому «scrub», что значит «отчищать», «отмывать», «скрести».

Собственно, с косметическим гелем-скрабом все ясно, а скраббер – ультразвуковой очиститель для лица, который, воздействуя микротоками высокой частоты, эффективно удаляет кожные загрязнения.

Процесс мокрого пылеулавливания основан на контакте запыленного газового потока с жидкостью (чаще всего с водой).

Мокрые аппараты классифицируются на следующие группы:

в зависимости от поверхности контакта:

- полые скрубберы;
- насадочные скрубберы;
- тарельчатые скрубберы;
- газопромыватели с подвижным слоем насадки;
- скрубберы ударно-инерционного действия;
- центробежные скрубберы;
- динамические скрубберы;
- скоростные скрубберы;

по механизму улавливания частиц пыли:

- аппараты с осаждением частиц на каплях жидкости;
- аппараты с осаждением частиц на пленку жидкости;

в соответствии со способом захвата:

- с промывкой газа жидкостью;
- осаждением пыли на пленку жидкости.

В силу своей универсальности и высокой эффективности, скрубберы используются чуть практически во всех отраслях современной промышленности.

Скрубберы наиболее эффективны для следующих загрязнителей:

1. Механические частицы с дисперсностью от 0.5 мкм (включая растительную / органическую, металлическую, полимерную / пластиковую, минеральную / каменную, стеклянную, угольную и иную пыль, в том числе, маслянистые, липкие и клейкие вещества);

2. Нейтрализация таких газов как аммиак (аммоний), хлороводород, бромистый водород, метиламин и другие газообразные соединения, хорошо растворяющиеся в воде;

3. Заправка в скрубберы щелочных сорбентов делает возможной экстрактивную фильтрацию кислых газов и аэрозолей – окислы серы, оксиды азота, сероводород, (а также других кислых соединений и комплексных дымовых выбросов после сжигания жидких и твердых, органических и неорганических соединений / топлив);

4. Использование специализированных растворов позволяет сорбировать особо опасные, токсичные, едкие и удушающие компоненты – кетоны, альдегиды, меркаптаны, спирты, эфиры, щелочи и кислоты, галогениды, активные металлы.

Вдобавок, мокрые скрубберы «по умолчанию» способны к обработке высокотемпературных, взрывоопасных и пожароопасных пылевых взвесей, чем не может похвастаться ни один другой тип пылеуловителя.

Полые форсуночные скрубберы

В полых скрубберах газопылевой поток пропускают через завесу распыляемой жидкости. По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости.

В зависимости от количества воды, подаваемой на орошение, полые скрубберы подразделяются на охлаждающие и испарительные.

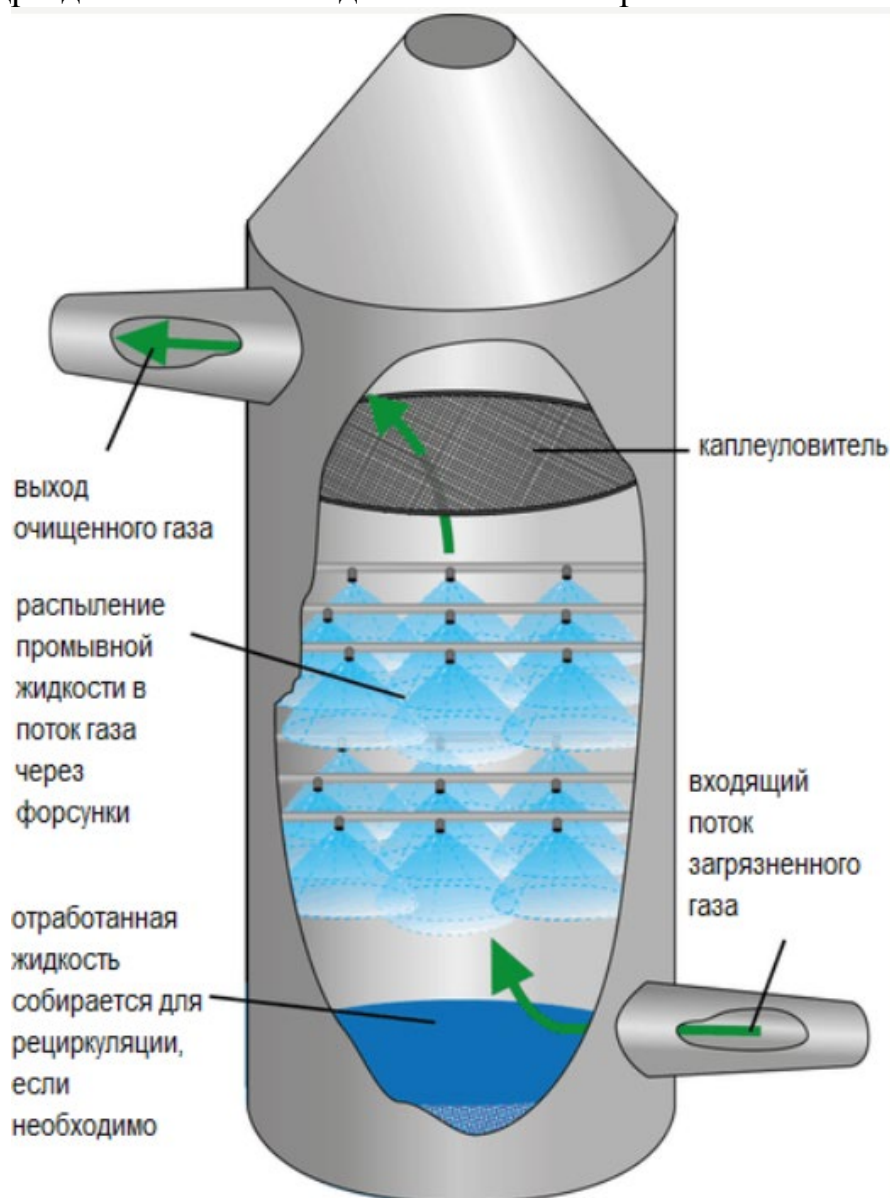


Рисунок - Полые форсуночные скрубберы

Скрубберы с подвижной насадкой

В качестве скрубберов с подвижной насадкой применяют аппараты, улавливание пыли в которых происходит в слое подвижной насадки. В качестве насадки используют полые или сплошные шары из полимерных материалов, стекло или пористую резину. Также используют кольцевые насадки с гладкой поверхностью и перфорированными поверхностями. Получили распространение

сложные конструкции элементов насадки, выполненные в виде взаимопересекающихся дисков, полос, шипов, колец и двойной спирали. Предпочтение отдается более практичной шаровой насадке из-за ее большой подвижности и лучшей обтекаемости. Для обеспечения свободного перемещения насадки в газожидкостной смеси плотность шаров насадки не должна превышать плотности жидкости.

Принцип работы газопромывателей с подвижным слоем в общих чертах описывается следующей последовательностью процессов:

1. Поток вводится в колонну (как правило, через нижний входной патрубок);

2. Рабочая камера аппарата, заполненная массивом полых полипропиленовых шариков, орошается водой или активным жидким сорбентом;

3. Восходящий поток «поднимает» содержимое камеры, в то время как обратная напорная система создает противодействие, точно уравнивающее силу входящего потока, что обеспечивает эффект псевдооживления содержимого рабочей камеры скруббера;

4. Псевдооживленный слой создает зону экстремально полного контакта очищаемой и очищающей сред, превышающего по активности взаимодействия любые другие типы газо-жидкостных интеракций;

5. Вдобавок, полипропиленовые шары – посредством непрерывного соударения друг с другом и со стенками камеры – выступают в роли структуры для самоочистки фильтра от возможных центров кристаллизации / цементации механических включений внутри камеры аппарата;

6. Так же, как и в других скрубберах, шлам отводится в шламоприемник, а очищенная среда доходит до каплеуловителя, где происходит отсечение от потока остаточных количеств жидкого сорбента, и чистый воздух выбрасывается в воздушный бассейн.

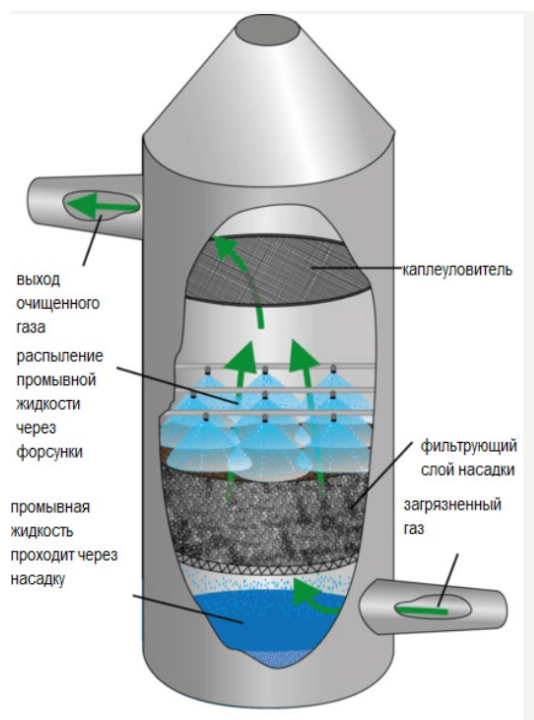


Рисунок - Насадочный скруббер

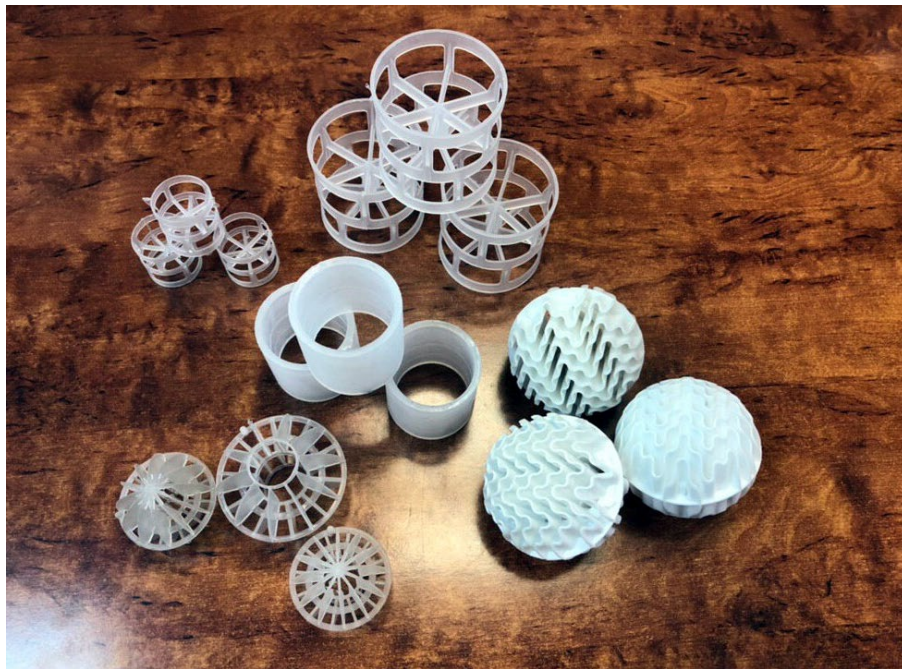


Рисунок – Виды насадок

Тарельчатые (пенные) скрубберы барботажные

Необычным названием эти аппараты обязаны французскому слову «барботаж» (фр. barbotage – бурление).

В очистной технике под барботажом понимается вспенивание жидкости при пропускании через нее газового потока – именно этот принцип и лежит в основе работы пенного скруббера:

1. Газопоток нагнетается в колонну снизу (и движется внутри башни снизу вверх);

2. В рабочей камере агрегата ярусно, друг над другом, установлены перфорированные тарелки (поддоны). Количество тарелок может варьировать в зависимости от высоты, сечения, производительности и других параметров скруббера;

3. Оросительный блок подает воду или абсорбент на перфорированные поддоны, и вместе с этим воздушный поток «продувает» отверстия в тарелках, что вызывает самоподдерживающееся пенообразование, бурление, барботаж.

4. Загрязненная среда, таким образом, проходит сквозь слой высокоактивной пены, в которой и происходит задержание нежелательных компонентов потока.

Молекулы и микрочастицы низких энергий оседают на поверхности пузырьков, не нарушая их целостность, более крупные и быстрые механические частицы вызывают схлопывание пузырьков в сплошной абсорбент, который, через систему переливов непрерывно отводится с поддонов-барботеров. Разумеется, таких микро-процессов в секунду происходят тысячи и десятки тысяч.

В основе работы тарельчатых газопромывателей лежит взаимодействие газов с жидкостью на тарелках различной конструкции. Пенные аппараты относятся к низконапорным скрубберам; эффективны и надежны при очистке газов

от пыли, фтора, серы, аммиака и др., в производстве минеральных удобрений, желтого фосфора, в алюминиевой и металлообрабатывающей промышленности.

Пенные скрубберы представляют собой аппараты, корпус которых разделен горизонтальной тарелкой с равномерно расположенными мелкими отверстиями.

По способу отвода жидкости с тарелок пенные аппараты подразделяют на аппараты с провальными и с переливными тарелками. В аппарате с провальными тарелками применяют два вида тарелок: дырчатые и щелевые.

Барботажные скрубберы в большей части относятся не к пылеуловителям, а к пылегазоуловителям и широко используются в очистке дымовых выбросов от газовых (кислых) и мягких зольных компонентов. Не менее востребованы пенные промыватели и в гальванике, типографском деле, ЦБК, нефтехимии и многих других отраслях.

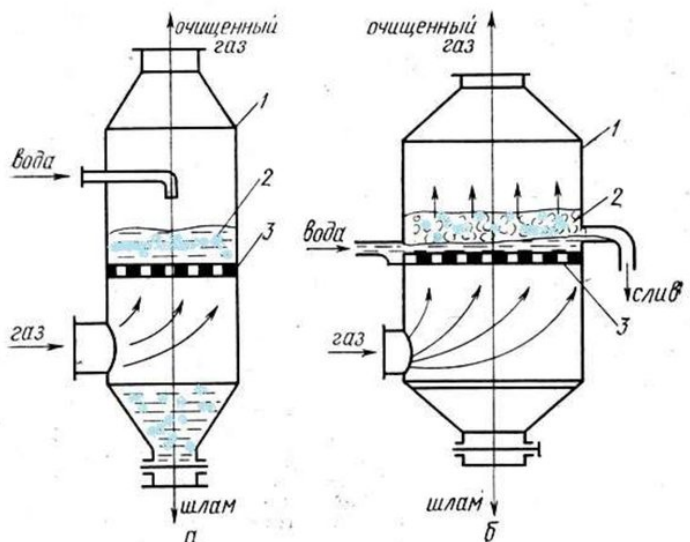
ТАРЕЛЬЧАТЫЕ АППАРАТЫ

Барботажный пылеуловитель - цилиндрический или прямоугольный корпус с перфорированной тарелкой.

Проходя через отверстие тарелки, газ барботирует через жидкость, превращая ее в слой подвижной пены, что обеспечивает большую поверхность контакта фаз.

В слое пены пыль поглощается жидкостью, часть которой удаляется из аппарата через переточный порог, а другая часть сливается через отверстия в тарелке, промывая их и улавливая крупные частицы пыли.

Образующаяся суспензия выводится из нижней части аппарата.



а) — с провальными тарелками б) — с переливом

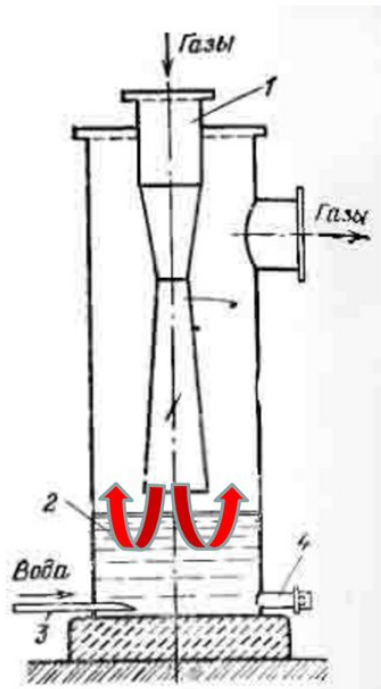
Зисунок - Тарельчатые (пенные) скрубберы

Газопромыватели ударно-инерционного действия

Особенность газопромывателей заключается в отсутствии средств перемещения жидкости. Наиболее простой – импакторный скруббер – вертикальная колонна, в нижней части которой находится слой жидкости.

Скруббер Дойля способен улавливать частицы пыли субмикронных размеров, но требует значительной энергии для создания достаточного перепада давлений в потоке очищаемых газов.

СКРУББЕРЫ УДАРНО-ИНЕРЦИОННОГО ДЕЙСТВИЯ



В газопромывателях ударно-инерционного действия контакт газов с жидкостью осуществляется за счет удара газового потока о поверхность жидкости.

1 - входной патрубок;
2 - резервуар с жидкостью;
3 - смывное сопло;
4 - труба для удаления шлама

Рисунок - Динамические скрубберы

Характерной особенностью динамических скрубберов является наличие вращающего устройства, которое обеспечивает разбрызгивание и перемешивание жидкости или вращение газового потока.

В центробежных механических газопромывателях дополнительно подводимая механическая энергия служит для вращения газового потока.

Динамические газопромыватели отличаются от сухих ротационных пылеуловителей только подводом орошающей жидкости, которая способствует росту их эффективности. Один из представителей газопромывателей этого типа – циклонно-ротационный пылеуловитель.

Центробежные скрубберы

Центробежный полый мокрый скруббер повторяет конструкцию сухого циклонного пылеуловителя, но с некоторыми отличиями.

Воздухоток, также, как и в циклоне, подводится тангенциально в верхнюю или нижнюю часть конусообразной колонны, где закручивается, и пылевые частицы, за счет центробежной силы, непрерывно соударяются с внутренней поверхностью рабочей камеры.

В центробежном скруббере осаждение частиц пыли происходит за счет суммарного действия двух механизмов: *центробежного*, перемещающего частицы к стенкам аппарата, и *инерционного*, способствующего осаждению частиц на каплях орошающей жидкости.

В аппаратах центробежного типа частицы пыли отбрасываются на стенку центробежными силами, возникающими при вращении газового потока в аппарате за счет тангенциального подвода газа. Непрерывно стекающая вниз пленка

на стенке аппарата создается за счет подачи воды специальными соплами, расположенными в верхней части аппарата.

Центробежные скрубберы, применяющиеся на практике, конструктивно можно разделить на два вида: аппараты, в которых вращение газового потока осуществляется с помощью специальных направляющих лопаток, и аппараты с тангенциальным или улиточным подводом газа.

Вдобавок к этому, скруббер оснащен форсуночным блоком, который орошает камеру, образуя на внутренней поверхности непрерывно стекающую (падающую) жидкостную пленку. Поллютанты связываются как с микро туманом в центре колонны, так и оседают на стекающей пленке, опадая с водой вниз и отводясь в шламоприемную секцию.



Рисунок – Центробежные скрубберы

Динамические скрубберы

Характерной особенностью динамических скрубберов является наличие вращающего устройства, которое обеспечивает разбрызгивание и перемешивание жидкости или вращение газового потока.

В центробежных механических газопромывателях дополнительная подводимая механическая энергия служит для вращения газового потока.

Динамические газопромыватели отличаются от сухих ротационных пылеуловителей только подводом орошающей жидкости, которая способствует росту их эффективности. Один из представителей газопромывателей этого типа – циклонно-ротационный пылеуловитель.

Скоростные газопромыватели (скруббер Вентури)

Скрубберы Вентури – представители скоростных газопромывателей и наиболее эффективные из аппаратов мокрой очистки газов. Эти аппараты применяют для очистки технологических и вентиляционных газов от мелкодисперсной пыли.

Скруббер Вентури также называют скоростным, турбулентным или инжекторным пылегазоуловителем.

Общей конструктивной особенностью скрубберов Вентури является наличие трубы распылителя, в которой непосредственно происходит контакт воздушного (газового) потока, содержащего во взвешенном состоянии пылевые частицы, с тонкораспыленной водой и установленного за ней каплеуловителя.

Инжекторным аппарат называется потому, что ключевым узлом, которому скруббер обязан своей эффективностью, является сопло, (как инжектор в струйном насосе), – т.н. труба Вентури.

Особенность трубки Вентури, имеющей в определенной своей части сужение (т.н. конфузур), заключается в обеспечении увеличения скорости воздухопотока в районе конфузур.

Так, газоздушная среда может разгоняться в рабочей камере (именно в районе сужения) до десятков, (а иногда – сотен), метров в секунду.

Какую выгоду можно извлечь из высокой скорости и турбулентности потока с точки зрения газоочистки и какие роли играют эти особенности аппарата?

Принцип работы скруббера Вентури в общих чертах описывается следующей последовательностью процессов:

1. Запылённая среда подводится в трубу Вентури (перед этим воздухопоток может быть дополнительно очищен грубым фильтром, охлажден или подвергнут иным воздействиям);

2. По теореме Бернулли, благодаря сужению трубы, поток разгоняется и обретает свойства высокой турбулентности;

3. В месте, где диаметр трубки минимален, установлен орошающий блок, который распыляет воду или активный жидкий сорбент;

4. Высокоскоростная среда разбивает капли жидкости в плотный ультрамикродисперсный туман, в микроскопических каплях которого и происходит связывание загрязнителя;

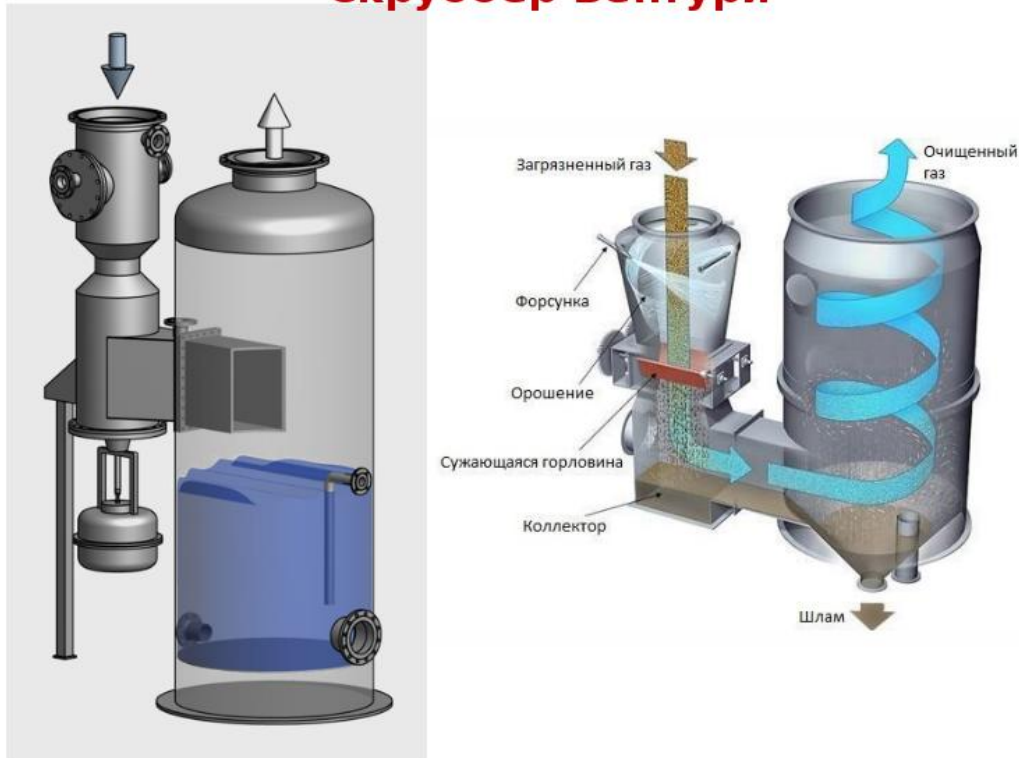
5. Двигаясь далее по трубе, газопоток попадает в расширяющуюся зону (т.н. диффузор), где происходит обратный процесс замедления среды и конденсации микротумана в более объемные капли;

6. Капли достигают туманоуловителя, исключаящего брызгоунос из скруббера, шлам отводится из рабочей зоны в секцию приема шлама (по открытому или полужакрытому контуру).

Скрубберы Вентури используются во многих отраслях промышленности – энергетике, пищевом производстве, на участках добычи и переработки, механообработки.

Особенности конструкции и высокая скорость потока, кинетическая энергия которого превосходит энергию цементации частиц, позволяет использовать пылеуловитель Вентури для результативной фильтрации липких, клейких и вязких веществ, эмульсий, сиропов, для очистки воздуха от жира, масляных туманов, аэрозолей.

Скруббер Вентури



СКРУББЕРЫ ВЕНТУРИ



Горловина может быть круглого или прямоугольного сечения.



Рисунок - Труба Вентури

Общие сведения о процессе фильтрования и видах фильтров

Фильтрованием называется процесс разделения запыленных газов при их движении через пористые перегородки, при котором взвешенные частицы пыли задерживаются пористыми перегородками, а очищенные газы полностью проходят через них.

В пористом фильтре между входным и выходным воздуховодами создается перепад давления, под действием которого через пористый фильтр проходит некоторое количество газа. Содержащиеся в газе частицы пыли или жидкости, столкнувшись с твердыми элементами фильтровального материала, остаются на них.

По мере накопления частиц - размер пор и общая пористость перегородки уменьшаются, а сопротивление движению газов возрастает, поэтому возникает необходимость разрушения и удаления пылевого слоя.

Фильтрами называются устройства, в которых запыленный воздух пропускается через пористые материалы, способные задерживать или осаждать пыль. Фильтр состоит из корпуса, разделенного пористой перегородкой на две полости – запыленного и очищенного газа.

Волокнистые фильтры

Волокнистые фильтры представляют собой пористые перегородки, составленные из беспорядочно расположенных, но при этом равномерно распределенных по объему волокон. В связи с высокой пористостью аэрозольные частицы проникают в глубину пористой перегородки, вследствие чего волокнистые фильтры применяют для фильтрации слабозапыленных потоков с концентрацией пыли не более 5 мг/м³.

Воздушные фильтры

Воздушные фильтры служат для обеспыливания воздуха, забираемого из атмосферы в различных системах: приточной вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления производственных, служебных и общественных зданий; подачи воздуха на технологические нужды.

Существует 3 класса воздушных фильтров.

Воздушные фильтры III класса предназначены для очистки воздуха от грубой пыли. Улавливание частиц в таких фильтрах происходит в результате инерционного эффекта осаждения. Эффективность очистки 60 %.

Воздушные фильтры II класса это электрические воздушные фильтры, предназначены для улавливания частиц размером 1 мкм и обладают более высокой степенью улавливания (85 %) атмосферной пыли.

Воздушные фильтры I класса применяются в помещениях, где требуется поддерживать стерильные условия.

Тканевые фильтры

Фильтрация запыленных промышленных газов и аспирационного воздуха в тканевых фильтрах является радикальным техническим решением для достижения эффективного пылеулавливания при относительно умеренных капитальных и эксплуатационных затратах.

Классификация тканевых фильтров

Тканевые фильтры различаются по следующим признакам:

- по форме фильтровальных элементов (рукавные, плоские, клиновые и др.) и наличию в них опорных устройств (каркасные, рамные);
- типу фильтровальной ткани: из натуральных и синтетических тканей;
- способу регенерации ткани: встряхиванием, обратной продувкой, продувкой сжатым воздухом, импульсной продувкой, звуковой регенерацией;
- наличию и форме корпуса для размещения ткани – прямоугольные, цилиндрические, открытые (бескамерные);
- числу секций в установке (однокамерные и многосекционные);
- месту расположения вентилятора относительно фильтра (всасывающие, работающие под разрежением, и нагнетательные, работающие под давлением).

Основные типы фильтров

В зависимости от способа регенерации различают следующие типы фильтров:

- с посекционной регенерацией;
- обратной продувкой;
- обратной продувкой и отряхиванием (комбинированная регенерация)
- поэлементной регенерацией;
- импульсной регенерацией;
- обратной струйной продувкой;
- обратной продувкой через подвижное сопло.

В промышленных фильтрах (из тканевых и нетканых материалов) применяют два основных типа фильтрующих элементов: бескаркасные (рукава), в основном цилиндрические, и жестко-каркасные, состоящие из каркаса, обтянутого тканью или нетканым материалом.

Зернистые фильтры

В зернистых фильтрах в качестве фильтрующего слоя используют насыпные материалы, в которых отдельные элементы не связаны между собой. К ним относятся крупнозернистый песок, галька, шлак, дробленые горные породы, древесные опилки, кокс, крошка резины, пластмассы, графит и другие материалы. Зернистые фильтры можно использовать при работе в условиях высоких

температур, агрессивной среды и при больших механических нагрузках и перепадах давления.

Электрическая очистка газа

Электрическая очистка газа от взвешенных в нем частиц пыли и жидкости основана на использовании явления ионизации газовых молекул в электрическом поле высокого напряжения. Электрофильтры, как сложное и дорогостоящее оборудование, обычно компонуют с другими пылеулавливающими устройствами, устанавливаемыми на начальных ступенях очистки. В результате повышается экономичность использования электрофильтров и обеспечивается более полная очистка.

Установка электрической очистки газов включает электрофильтр, агрегаты питания и системы транспортировки уловленной пыли.

Электрофильтр представляет собой аппарат, в котором основными элементами являются коронирующий и осадительный электроды, находящиеся под напряжением. Коронирующий электрод представляет собой проволоку, натянутую в трубке или между пластинами, осадительный электрод представляет собой поверхность трубки или пластины, окружающих коронирующий электрод.

Сущность процесса электрической фильтрации газа заключается в следующем. Газ, содержащий взвешенные частицы, после распределительных устройств попадает в проходы, образованные коронирующими и осадительными электродами, называемые межэлектродными промежутками.

Процесс электрической фильтрации газов можно разделить на следующие стадии:

- зарядка взвешенных частиц в поле коронного разряда; движение заряженных частиц к электродам;
- осаждение частиц на электродах;
- удаление осажденных частиц с поверхности электродов.

ТЕМА 4 ОЧИСТКА ВОЗДУХА ОТ МИКРООГАНИЗМОВ И НЕПРИЯТНЫХ ЗАПАХОВ.

Для дезодорации и обеззараживания неприятнопахнущих выбросов (НПВ) в промышленности используют методы термического и термокаталитического дожигания, абсорбции, адсорбции, химического и биохимического окисления, а также различные их сочетания. Содержание в ГВВ химических производств одорантов различной химической природы создает определенные трудности при выборе методов дезодорации.

Термические и термокаталитические методы применяются в основном при дезодорации газов, содержащих низкокипящие органические вещества, так как содержание высокомолекулярных и высококипящих органических соединений может привести к закоксуыванию поверхности катализатора продуктами их окисления. Кроме того, при неполном окислении высокомолекулярных веществ могут образовываться новые одоранты, обладающие еще более неприятным запахом, чем исходные вещества.

При термокаталитических методах дезодорации следует учитывать возможность отравления катализатора различными ядами (например, хлорорганическими соединениями). Присутствие в отходящих газах азот- и серосодержащих соединений может привести к образованию токсичных веществ. Анализ имеющихся данных об использовании термокаталитического метода дезодорации с учетом указанных достоинств и недостатков позволяет рекомендовать его для обработки небольших по расходу ГВВ (до 10 тыс. м³/ч) выбросов.

Перспективным комбинированным методом устранения запахов ГВВ является биосорбционная дезодорация – сочетание адсорбции одорантов различными сорбентами с последующим их биохимическим окислением микроорганизмами, образующими биопленку на поверхности сорбента. В качестве сорбентов используют торф, древесные опилки, шлам от очистных установок, компост, песок, камни, кокс, пластмассы, антрацит, активированный уголь и т. д.

Выбор вида микроорганизмов зависит от состава очищаемого газа. Так, при наличии в ГВВ значительных количеств аммиака используются бактерии-денитрификаторы, а серосодержащих соединений – бактериидесульфаторы. Для нормальной жизнедеятельности микроорганизмов в среде должны присутствовать соединения, содержащие углерод, фосфор, азот в соотношении 100 : 1 : 5, а также кальций, магний, железо и другие элементы. Показатель кислотности среды рН поддерживается на уровне 6 – 8, концентрация кислорода – 0,5 – 1,0 мг/л. При этом в качестве источника углерода используются соединения, содержащиеся в ГВВ. Температура ведения процесса должна быть оптимальной для жизнедеятельности выбранного вида микроорганизмов. Для обработки ГВВ могут быть применены аппараты как с фиксированным, так и с кипящим слоем носителя.

Особенно широкое распространение получили биофильтры, снабженные носителем с фиксированными клетками микроорганизмов, в которых периодически производится увлажнение носителя и подпитка микроорганизмов. Преимущества биосорбционного метода – универсальность, незначительные затраты, высокая эффективность.

Дезодорацию путем обычного биохимического окисления можно проводить в различных абсорберах. При биохимической дезодорации примесей в абсорбционной колонне суспензию аэробных бактерий помещают на тарелки либо на элементы насадки, над которыми расположены распылители, подающие питательный раствор и абсорбент.

Абсорбционно-окислительные методы дезодорации и обеззараживания основаны на поглощении газов водой или другими поглотителями. Они нашли самое широкое применение на предприятиях химической и микробиологической промышленности. Для этого может использоваться абсорбционное оборудование различных видов, рассмотренное ранее.

Для повышения эффективности абсорбционного метода в качестве абсорбента используют растворы многих окислителей (перманганата калия, оксида водорода, гипохлоритов натрия и кальция, галогенсодержащих соединений, кислот), а также кислород, озон и некоторые другие. Процесс обеззараживания и дезодорации перманганатом калия или гипохлоритом натрия проводится при $pH < 6$. Недостатками метода являются высокая стоимость окислителя, а также необходимость дополнительной обработки сточных вод для удаления диоксида марганца. В некоторых случаях для дезодорации и обеззараживания газовой воздушной смеси используют комбинированные методы.

В некоторых случаях целесообразно использовать адсорбционно-окислительную дезодорацию ГВВ, которая проводится на твердых поглотителях с помощью озона. В качестве адсорбентов применяются активированный уголь, цеолиты, силикагели. Для повышения эффективности их пропитывают различными окислителями – перманганатами, гипохлоритами, пероксидами.

Одним из наиболее эффективных средств дезодорации и обеззараживания является озон. Метод озонирования имеет целый ряд преимуществ: · высокая окислительная активность по отношению к спиртам, нефтепродуктам, фенолам и другим сложным соединениям; · доступность сырья (кислород воздуха) для получения озона, технологическая гибкость и незначительный расход кислорода. Процесс дезодорации в этом случае можно рассматривать как суммарный эффект окисления органических веществ и маскировки запаха НПВ.

Процесс дезодорации и обеззараживания ГВВ озоном осуществляют в газовой или жидкой фазах. Окисление НПВ (неприятнопахнущих веществ) в газовой фазе обычно проводят при низкой их концентрации в выбросах. В этом случае озон вводится во всасывающую линию газового тракта. При интенсивном перемешивании озона с ГВВ в вентиляторе (дымососе) эффективность дезодорации значительно повышается.

Абсорбционно-окислительный метод дезодорации и обеззараживания позволяет сократить время контакта ГВВ и окислителя от 30 до 3 с и снизить

удельный расход озона. При этом для эффективной дезодорации и обеззараживания ГВВ необходима концентрация озона в жидкости 0,45 – 1,0 г/м³.

ТЕМА 5 РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ.

Основная масса загрязнителей в составе промышленных выбросов приходится на долю оксидов углерода, серы, азота, углеводородов и промышленной пыли. Состав последних определяется видом промышленного производства.

Особенностью процессов газоочистки с рекуперацией отходов является то, что при очень больших расходах газообразных выбросов (до 10^6 м³/ч) они включают очень невысокое содержание улавливаемых (целевых) компонентов (десятые и сотые процента объема).

Ресурсосбережение – деятельность, направленная на снижение расхода ресурсов при производстве продукции (без ущерба качеству), использование наукоемких технологий, современного оборудования, оптимальных технологических режимов.

Ресурсосберегающая технология предполагает, что производство и реализация конечных продуктов выполняется с минимальным расходом вещества и энергии на всех стадиях ресурсного цикла.

Важным направлением в ресурсосбережении является всемерное использование *принципа заменяемости ресурсов*, под которым понимается замещение одного природного компонента другим, более экономичным и экологически безопасным. Взаимозаменяемость различается по экономическому и техническому критериям. Не все природные компоненты, взаимозаменяемые технически, позволяют производить замену с экономической и экологической точек зрения, и наоборот.

Настоящее ресурсосбережение начинается с проектирования, когда оно уже на стадии проектов закладывается во все технологические операции. Таким образом, проектировщики на высоком уровне должны решать большой круг непростых, порой противоречивых по своим особенностям и последствиям задач экологического, экономического и социального характеров.

Одно из основных мероприятий по охране атмосферного воздуха от загрязнения – развивать создание замкнутых, безотходных и малоотходных технологических процессов и производств.

Малоотходное производство является промежуточным этапом безотходного производства, т.е. это производство, результаты которого при воздействии на окружающую среду не превышают уровня ПДК. При этом по техническим, экономическим, организационным или другим причинам часть сырья и материалов может переходить в отходы и направляться на длительное хранение или захоронение.

Безотходное производство – форма организации технологических процессов, при которой отходы производства сведены к минимуму или полностью перерабатываются во вторичные материальные ресурсы. При безотходном производстве необходимо использование сбалансированных по

основным компонентам технологических схем с замкнутыми материальными и энергетическими потоками.

Для разработки и внедрения безотходных производств можно выделить следующие **принципы**:

- комплексное использование сырья. Рациональное комплексное использование сырья позволяет уменьшить количество недоиспользованного сырья, выпускать новую продукцию из той части сырья, которая раньше являлась отходом производства. Радикальным средством уменьшения отходов производства является изменение технологии производства;

- цикличность материальных потоков представляет собой замкнутые водо- и газооборотные циклы. Примером является замкнутый газооборотный цикл, разработанный для производства суперфосфатных и фосфорных соединений, что позволяет избежать загрязнения окружающей среды фторидами;

- создание принципиально новых и совершенствование действующих технологий. Примером может служить разработанная в черной металлургии технологическая схема прямого восстановления железа, позволяющая уменьшить загрязнение окружающей среды;

- соблюдение требования ограничения воздействия производства на окружающую природную среду. Этот принцип связан с сохранением таких ресурсов, как атмосферный воздух, вода, поверхность земли, здоровье населения;

- кооперирование предприятий, создание территориально-производственных комплексов. В большинстве случаев отходы одного производства являются сырьем для другого производства. Следовательно, необходимо искать возможности применения продуктов незавершенного производства в других производствах или отраслях, которые могли бы их использовать в качестве вторичных материальных ресурсов.

Выбор путей совершенствования процессов охраны окружающей среды, в каждой производственной системе, зависит от экономической обоснованности технических решений, а также от природных особенностей конкретного региона. Например, ряд старых химических предприятий, расположенных часто в черте городской застройки, остро нуждается в сокращении выбросов летучих компонентов, в частности, паров растворителей. При внедрении адсорбционной рекуперации растворителей не только предотвращается выброс в атмосферу токсичных компонентов, но и возвращается значительная их часть в основное производство. Таким образом, пути и методы постепенного создания малоотходных, а затем и безотходных производств на действующих предприятиях, прежде всего, основываются на специфике этих производств.

Для вновь строящихся предприятий организация безотходных технологических процессов должна быть заложена на предпроектной стадии, затем конкретизирована при проектировании и реализована в ходе строительно-монтажных работ.

Сохранение чистоты воздуха – большая социальная проблема, связанная с оздоровлением условий жизни людей. В то же время она сочетается с важной экономической задачей – утилизацией и возвращением в производство

значительных количеств ценных продуктов, сырья и материалов. Следовательно, необходимо разрабатывать такие процессы и технологические схемы, которые исключили бы загрязнение атмосферного воздуха.

Замкнутые системы аспирации и пневмотранспорта. Технология деревообрабатывающих процессов предполагает наличие большого количества источников выделения пыли, что влечет за собой повышенную запыленность воздуха помещений. Для улучшения санитарно-гигиенических условий и исключения вероятности взрыва необходимо максимально снижать запыленность воздушной среды в помещениях.

По общепринятой технологии древесные отходы удаляются из рабочих помещений с помощью систем аспирации, включающих приемники отходов и воздуха, материалопроводы, циклоны и вентиляторы. Поскольку после прохождения циклонов в воздухе присутствует тонкодисперсная пыль, то его возврат в производственные помещения для повторного использования не допускается, что влечет за собой потери тепловой энергии в холодный период года. Взамен удаляемого приходится подавать большие объемы наружного воздуха, на нагрев которого и транспортирование по воздухопроводам дополнительно затрачивается значительное количество тепловой и электрической энергии. Для устранения вышеуказанных недостатков систем аспирации возможны следующие решения: совершенствования конструкций; снижение расхода воздуха путем отключения от сети временно не работающих станков и других пылеобразующих объектов; применение дополнительной очистки воздуха от мелкодисперсной пыли после циклонов; рециркуляция воздуха, выбрасываемого в атмосферу системами аспирации.

Очистка воздушных выбросов систем аспирации от любой пыли позволяет возвращать очищенный воздух в рабочие помещения. При этом до 95% уменьшается потребность последних в приточном воздухе, компенсирующем вытяжку системами пневмотранспорта, что дает значительную экономию тепловой и электрической энергии. Кроме того, не загрязняется пылью окружающая среда, что оказывает благоприятное воздействие на экологическое ее состояние.

ТЕМА 6 ОСНОВЫ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ, ПОЖАРО- И ВЗРЫВООПАСНОСТИ ПРИ ОЧИСТКЕ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ И УТИЛИЗАЦИИ УЛОВЛЕННЫХ ВЕЩЕСТВ.

Пыль способна гореть, самовоспламеняться, образовывать с воздухом взрывоопасные смеси даже в тех случаях, когда исходный материал является негорючим. Причиной является увеличение суммарной поверхности и свободной поверхности энергии системы, что повышает химическую активность, в частности, способность к окислению с выделением теплоты.

Самовозгорающиеся вещества подразделяются на три группы.

Первая группа – вещества, самовозгорающиеся при воздействии на них воздуха. К ним относятся бурые и каменные угли, торф, сажа, опилки, алюминиевая пыль, порошок эбонита, и др. Причиной самовозгорания является способность к окислению при низких температурах. Активизировать этот процесс можно при наличии примесей, обладающих каталитически активными свойствами, способствующими процессам окисления.

Вторая группа – вещества, самовозгорающиеся под действием воды. К ним относятся калий, натрий, карбид кальция, негашеная известь и др. Причиной загорания многих из них является выделение в процессе реакции водорода и повышение температуры.

Третья группа – вещества, самовозгорающиеся при смешении друг с другом. В эту группу входят различные окислители. Например, азотная кислота, разлагаясь, выделяет кислород, что может вызвать самовозгорание органических веществ.

Пыль, находящаяся в воздухе, может воспламениться, взрываться только при определенных пределах концентраций. Взрыв является одной из разновидностей реакции горения, когда наблюдается практически мгновенное протекание реакции в объеме.

Пыль, находящаяся во взвешенном состоянии в воздухе, взрывоопасна, а осевшая – пожароопасна. Однако, при подъеме осевшей пыли в результате горения, локального микровзрыва, удара и т.п. она может переходить во взвешенное состояние и стать средой для последующего взрыва или ряда взрывов.

Возможная динамика последовательного развития взрывов с возможностью нарастания их мощности должна быть проанализирована при проектировании систем пылеочистки.

Взрыво и пожароопасные вещества четыре класса:

I класс – пыли с нижним пределом взрываемости до 15 г/м³; к ним относятся аэрозоли сахара, торфа, эбонита, шрота подсолнечника, хлопка;

II класс – взрывоопасные пыли с нижним пределом взрываемости от 16...65 г/м³; к ним относятся аэрозоли крахмала, мучная и чайная пыль;

III класс – наиболее пожароопасные пыли с температурой самовоспламенения до 250 оС, например, табачная пыль;

IV класс – пыли с температурой самовоспламенения выше 250 °С, например, древесные опилки.

На взрывоопасность пыли, а также силу взрыва и температуру самовоспламенения существенное влияние оказывает дисперсность частиц. Так, с уменьшением дисперсности давление в месте взрыва возрастает, а температура самовоспламенения смеси уменьшается.

Взрывоопасность пыли зависит также от наличия в ней инертных примесей, влажности и выделения горючих газов. Присутствие в пыли инертных частиц или газов снижает взрывоопасность, вплоть до превращения ее при соответствующих соотношениях в пожаро- и взрывобезопасную. Например, при содержании кислорода в воздухе менее 10 % воспламенение пыли не происходит. Аналогично, как балласт, влияет на указанные свойства влажность.

Возможность выделения летучих горючих газов из пыли резко повышает пожаро- и взрывоопасность.

Для обеспечения пожарной безопасности необходимо использовать негорючие материалы для изготовления элементов вентиляционных систем, ограничивать количество горючих отложений пыли, волокон, отходов и аэрозолей в воздуховодах и вентиляционном оборудовании, применять мокрый способ очистки воздуха от горючих пылей и аэрозолей.

Выбор материала для воздуховодов вентиляционных систем должен осуществляться с учетом характеристик транспортируемой среды и требований пожарной безопасности.

Допускается применять трудногорючие материалы для теплоизоляции воздуховодов и оборудования систем вентиляции и кондиционирования, расположенных в помещениях категории В.

Для периодической чистки и промывки воздуховодов в местах их поворотов и на прямых участках необходимо устраивать герметические люки. Воздуховоды надо прокладывать с уклоном не менее 0,02 для стока воды при промывке.

Эффективным способом предупреждения отложений горючих материалов на внутренней поверхности воздуховодов и вентиляторов является применение фильтров и пылеуловителей для очистки воздуха. Так, для очистки воздуха от взрывоопасных и пожароопасных пылевоздушных смесей, удаляемых системами местной вентиляции, предусматривают мокрые пылеуловители и фильтры, если это не противоречит технологическим требованиям, и применение воды не увеличивает опасность возникновения пожара или взрыва.

Сухие пылеуловители и фильтры, предназначенные для очистки взрывоопасных пылевоздушных смесей, надо предусматривать с бункерами и устройствами, допускающими механизацию работ по удалению пыли из бункеров.

Для предотвращения отложения лакокрасочных материалов в воздуховодах и вентиляторах вытяжных систем окрасочных камер применяют гидрофильтры.

Для улавливания аэрозолей минеральных масел, пластификаторов и других маслянистых жидкостей, перемещаемых системами местной вентиляции, используют электрические и другие фильтры.

Для очистки воздуха от аэрозолей масла, удаляемых вытяжными вентиляционными системами от станков, работающих со смазочноохлаждающими жидкостями, используют специальное устройство для очистки воздуха от масляного аэрозоля. В воздуховодах и обеспыливающем оборудовании может произойти самовозгорание веществ. Вентиляторы и запорно-регулирующая арматура являются одним из самых опасных видов оборудования как возможные источники возникновения фрикционных искр, способных воспламенить горючую смесь. Обеспечение искрозащиты является важной проблемой при разработке, производстве и эксплуатации вентиляторов. Причиной образования фрикционных искр в вентиляторах могут быть деформация корпуса, трение рабочего колеса о входной патрубков, ослабление крепления лопаток колеса или попадание в проточную часть вентиляторов инородных тел.

При перемещении взрывоопасных пылевоздушных смесей с концентрацией пыли, превышающей допускаемые значения, установленные техническими условиями на вентиляторы, среда должна подвергаться очистке до поступления в вентиляторы. Вентиляторы следует немедленно останавливать при появлении стука, ударов и вибрации, повышении температуры узлов вентилятора и электродвигателя, появления огня или дыма, превышении допустимой концентрации паров, газов или пыли в перемещаемой среде в утечке среды из вентилятора или воздуховода.

В случаях, когда в удаляемых выбросах содержится очень агрессивная среда, например пыль, способная взрываться не только от удара, но и от трения, а также присутствуют взрывоопасные газы или пары, необходимо использовать эжекторную вентиляцию, при которой транспортируемая среда не соприкасается с рабочим колесом вентилятора.

Источником зажигания горючей смеси могут быть также искры, образующиеся при эксплуатации обратных и перекидных клапанов, заслонок и другой вентиляционной арматуры. Для предотвращения искрообразования необходимо использовать искробезопасные клапаны и заслонки.

Для снижения электростатической опасности необходимо соединять электродвигатели с вентиляторами на одной оси. Запрещается применение ременных передач для вентиляторов и электродвигателей, размещаемых во взрывоопасных помещениях.

ТЕМА 7 ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ И УТИЛИЗАЦИИ УЛОВЛЕННЫХ ПРОДУКТОВ.

При выборе пылеочистного оборудования, как правило, отдают предпочтение сухим методам пылеочистки. Мокрую пылеочистку применяют, когда используют оборотную воду для пылеулавливания в виде пульпы, шлама при одновременной абсорбции газовых примесей, охлаждении и увлажнении газов и в производствах при обеспыливании взрывоопасных и токсичных газов, так как аппараты мокрой пылеочистки герметичны.

В случае грубой очистки выбрать пылеуловитель не представляет трудностей. При улавливании тонкодисперсной пыли часто используют многоступенчатую очистку. В начале применяют один или несколько аппаратов предварительной очистки, а затем - аппарат тонкой, окончательной пылеочистки. К последнему предъявляют наиболее высокие требования. Им обычно является рукавный фильтр или электрофильтр, также вихревые аппараты, которые занимают наименьшую производственную площадь. Электрофильтр по сравнению с ними имеет значительно большие габариты, а рукавный фильтр той же производительности занимает еще большую площадь. Те же соотношения сохраняются и при оценке их стоимости. Однако эффективность и устойчивость в работе выше у рукавных фильтров, чем у электрофильтров. Самым стабильным является вихревой аппарат, он может работать при значительных колебаниях запыленности и расхода газа, сохраняя высокую степень пылеочистки, однако степень очистки таких аппаратов уменьшается с увеличением их диаметра, как и у циклонов. Обслуживание электрофильтров и рукавных фильтров обходится дороже, чем вихревых аппаратов.

Если при выборе пылеуловителя можно считать, что вихревой аппарат предпочтительнее циклона аналогичных параметров, то для сравнения его с рукавными фильтрами и электрофильтрами необходимо рассмотреть каждый конкретный случай, а затем уже выбрать наиболее эффективный аппарат тонкой очистки.

Большое влияние на этот выбор оказывают свойства улавливаемой пыли. Так, при высокой температуре отходящих газов энергоустановок применять рукавные фильтры становится невозможным, поэтому, например, для тонкой очистки в тепловых электростанциях используют электрофильтр. Максимальную температуру газов выдерживают рукавные фильтры из стеклоткани (до 230 °С). Сухие электрофильтры применяют для очистки невзрывоопасных газов с температурой до 400 °С.

Важным параметром газопылевого потока является влагосодержание. При сухой пылеочистке газов с влагосодержанием, близким к точке росы, на стенках аппарата конденсируются пары и налипают пыль. Для мокрого пылеулавливания этот параметр не является лимитирующим. При пылеулавливании в электрофильтрах влагосодержание газов оказывает на нее сильное влияние. Так,

очистка от пыли аспирационного воздуха при температуре выше 70 °С с влажностью менее 15 - 20 г/м³ существенно затруднена. Очистка горючих газов с влажностью ниже 60 г/м³ в электрофильтрах также не может быть реализована.

Содержание серных соединений в пыли, хотя и вызывает коррозию оборудования, но повышает температуру точки росы и заметно улучшает работу электрофильтров.

Многоступенчатая очистка, как правило, эффективнее, чем одноступенчатая. Однако вследствие изменения свойств пыли эффективность пылеулавливания может быть выше при меньшем числе ступеней. Так, при двухступенчатой очистке агломерационных газов от пыли степень улавливания системы батарейный циклон – электрофильтр составила 92 – 95 % (степень улавливания циклона 87 %), в то время как при одноступенчатой очистке – 99,5 %. Это происходит вследствие улавливания в циклоне более крупных частиц, имеющих низкое удельное электрическое сопротивление.

Толщина тонкодисперсной (трудноотраиваемой) пыли на отдельных электродах достигает 20 мм, что ухудшает работу электрофильтра. При одноступенчатой очистке обеспечивается более эффективная регенерация как осадительных, так и коронирующих электродов. Оптимальная схема установки пылеулавливания может быть разработана только с учетом всех влияющих факторов. Существуют схемы одноступенчатой пылеочистки и схемы многоступенчатой пылеочистки.

II ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

- Изучение конструкций аппаратов для очистки от газообразных и парообразных загрязнений.
- Изучение конструкций аппаратов для очистки выбросов от оксидов углерода, азота, серы
- Подбор и расчет сухих пылеуловителей.
- Подбор и расчет мокрых пылеуловителей.
- Подбор и расчет воздушных фильтров.
- Изучение конструкций аппаратов обеспыливания газов.
- Расчеты выбросов в атмосферу при вентиляции промышленных зданий
- Расчёт рассеивания выбросов промышленных предприятий в атмосферном воздухе
- Приборы для физического анализа дымовых газов.
- Примеры практических решений обезвреживания вентиляционных выбросов.

Практическая работа

Подбор и расчет сухих пылеуловителей

Цель работы – ознакомиться с принципом работы циклона – аппарата сухой очистки от пыли, выбрать и рассчитать циклон для заданного источника образования пыли.

Теоретические положения

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются автомобили, промышленные предприятия и тепловые электростанции. Ежегодно в воздух предприятиями черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов выбрасывается более 250 млн т мелкодисперсной пыли. Загрязнение атмосферы оказывает неблагоприятное воздействие на человека, флору и фауну, различные сооружения и транспортные средства и др. Очистка промышленных выбросов осуществляется в аппаратах сухой и мокрой очистки. Одним из аппаратов сухой очистки является циклон.

Принцип работы циклона

Широкое применение для сухой очистки газов от пыли получили циклоны различных типов. В настоящее время применяется около двадцати типов циклонов. Сравнительные испытания циклонов различного типа показали, что для промышленного применения они могут быть ограничены в большинстве случаев цилиндрическими и коническими циклонами НИИОГАЗ (научно-исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов). Наиболее часто применяются цилиндрические циклоны марок ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, конические СК ЦН-34, СК ЦН-34М, СДК ЦН-33, конструктивные схемы которых представлены на рис.1(1). Геометрические размеры цилиндрических и конических циклонов указываются в долях от внутреннего диаметра.

Газовый поток вводится в циклон через патрубок по касательной к внутренней поверхности корпуса и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру. На частицу пыли действуют - сила тяжести, сила сопротивления среды, центробежная сила. Центробежная сила направлена по радиусу к стенкам циклона и определяется по формуле:

$$F_{цб} = \frac{\pi d_4^3}{6} \frac{W_{тг}^2}{R} (\rho_4 - \rho_г)$$

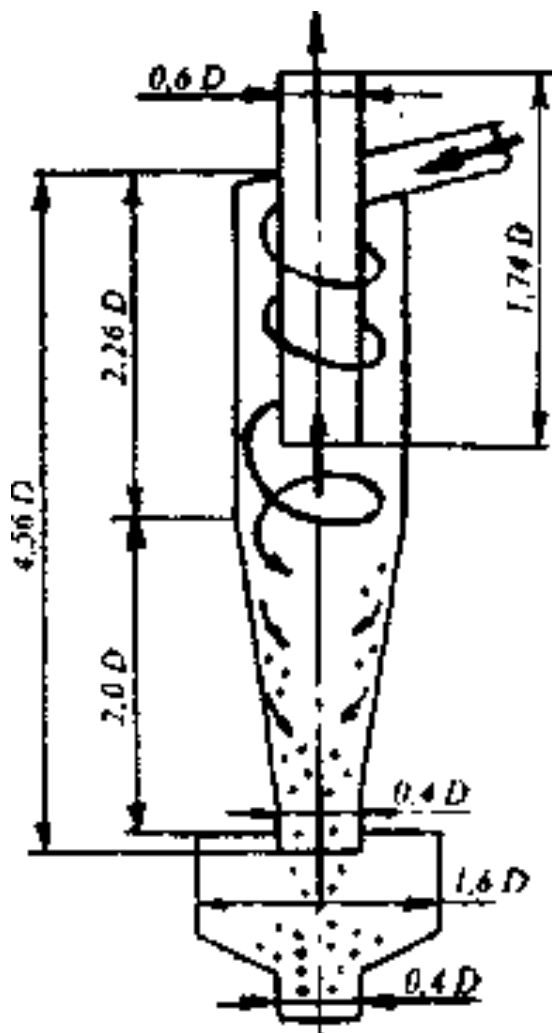
где d_4 - диаметр частиц,

$W_{тг}$ - тангенциальная составляющая скорости газа.

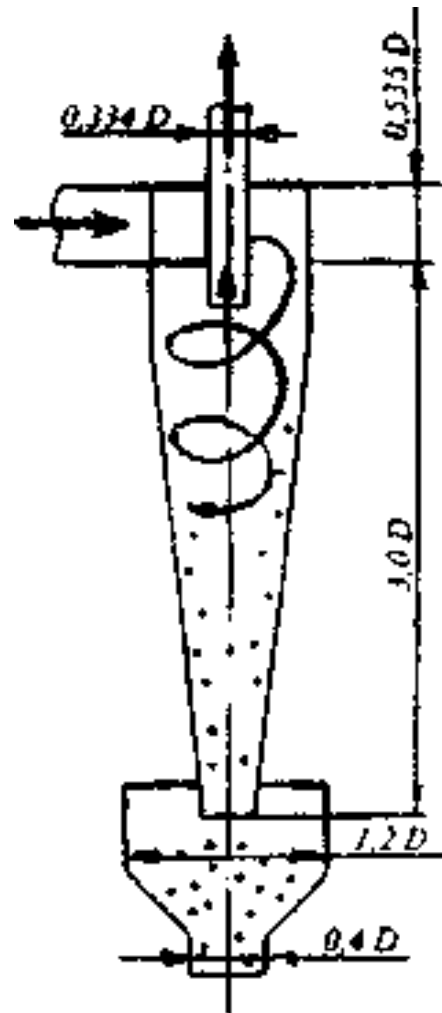
R - радиус циклона,

ρ_4 - плотность частиц пыли,

$\rho_г$ - плотность газа.



Циклон цилиндрический



Циклон конический

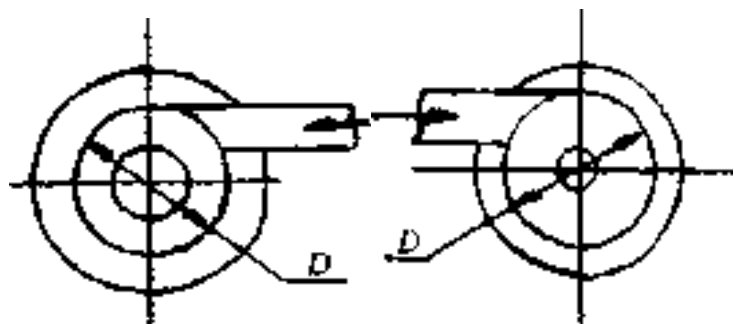


Рис. 1. Циклоны

Эффективность циклона выше, чем больше диаметр частиц пыли, её удельный вес, скорость вращения газового потока и чем меньше диаметр циклона. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенках циклона пылевой слой, который постепенно опускается в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит при повороте газового потока в бункере на 90 град. Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и выходит через выходную трубу. Циклоны не применяются для очистки влажных газов и взрывоопасных сред.

Циклоны НИИОГАЗ подразделяются на высокоэффективные и высокопроизводительные. Циклоны СДК ЦН-33, СК ЦН 34, ЦН-11 относятся к высокоэффективным циклонам. При диаметрах менее 1 м они обеспечивают степень очистки $\eta = 0.85 - 0.95$ при улавливании частиц диаметром более 5 мкм. Циклоны типа ЦН-24 относятся к высокопроизводительным, они могут надежно и без забивания работать при высокой входной запыленности. Циклоны типа ЦН-15 занимают среднее положение и обеспечивают несколько меньшую степень очистки, чем циклоны ЦН-11, но обладают большей надежностью при работе в условиях повышенной запыленности.

При выборе и расчете циклонов необходимо учитывать свойства пыли - абразивность и слипаемость. Для уменьшения абразивного износа следует выбирать циклоны, исходя из наименьших значений скорости газа. При улавливании сильно слипающейся пыли не рекомендуется применять циклоны малого диаметра (менее 0,8 м), которые склонны к залипанию. Так для очистки газов от сажи применяются конические циклоны серии СК, которые обладают высокой эффективностью за счет более высоко гидравлического сопротивления

Расчет циклонов

Расчет циклонов ведут методом последовательных приближений.

Таблица 1

Параметры, определяющие эффективность циклонов

Параметры*	Тип циклона						
	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК ЦН-33	СК ЦН-34	СК ЦН 34М
$\omega_{оп}, \text{м/с}$	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0
$d_{оп}^T, \text{мкм}$	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13
$\lg \delta_{\eta}^T$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340

* Обозначения: $\omega_{оп}$ - скорость движения газа в циклоне, м/с,
 $d_{оп}^T$ - диаметр частиц освящаемых с эффективностью 50%, мкм,

$\lg \delta_{\eta}^T$ - стандартное отклонение функции распределения парциальных коэффициентов очистки.

Расчет начинают с цикло на, для которого диаметр частиц пыли должен быть ориентировочно $d_m > 2d_{50}^T$. d_m - медианный размер частиц, который представляет такой размер, при котором количество частиц крупнее d_m , равно количеству частиц мельче d_m .

Диаметр циклона вычисляется по формуле :

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * \omega_{оп}}} \quad (1)$$

где Q - количество очищаемого газа, м³/с.

Полученное значение диаметра D округляется до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона D_ц (табл.2).

Таблица 2

Типовые значения внутреннего диаметра циклона

D _ц , м	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

По выбранному диаметру циклона находится действительная скорость движения газа в циклоне :

$$\omega_p = \frac{4 * Q}{\pi * D_{ц}^2}, \text{ м/с} \quad (2)$$

Действительная скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более, чем на 15%

$$100 * \left| \frac{\omega_p - \omega_{оп}}{\omega_{оп}} \right| \leq 15\%$$

При отклонении более чем 15% выбирают другой тип циклона.

Параметр d_{50} определяют следующим образом. d_{50} - диаметр частиц реально осаждаемых с эффективностью 50% при рабочих условиях. Величина d_{50} определяется по формуле :

$$d_{50} = d_{50}^T * \sqrt{\frac{D_{ц} * \rho_{ч} * \mu}{D_T * \rho_{г} * \mu_T * \omega_p}} \quad (3)$$

Значение d_{50}^T соответствует следующим параметрам работы циклона:

$$\omega_T = 3,5 \text{ м/с}$$

$$D_T = 0,6 \text{ м}$$

$$\rho_{г} = 1930 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

С учетом этих значений формула (3) принимает вид :

$$d_{50} = d_{50}^T * \sqrt{\frac{D_{ц} * 1930 * \mu}{0,6 * \rho_{г} * 22,2 \cdot 10^{-6} * \omega_p} * 3,5} \quad (4)$$

Полученное значение d_{50} должно быть меньше d_M (заданного). Если это не выполняется, то необходимо выбрать другой циклон с меньшим значением d_{50}^T

Расчет параметра X ведут по формуле :

$$X = \frac{\lg(d_M / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta_{\eta}^T + \lg^2 \delta_{г}}} \quad (5)$$

По величине параметра X определяют значение нормальной функции распределения $\Phi(X)$. Функция $\Phi(X)$ - это полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях.

$$\Phi(X) = \begin{cases} 0,3762 \cdot X + 0,5 & 0 \leq X \leq 0,6 \\ 1 - \frac{1}{5,8 \cdot X + 0,5} & X > 0,6 \end{cases}$$

Эффективность очистки газа в циклоне (η) определяется :

$$\eta = \frac{1 + \Phi(X)}{2} \quad (6)$$

Полученное значение сопоставляют с требуемым. Если η окажется меньше требуемого, то необходимо выбрать другой тип циклона с меньшим значением ω_{on} и d_{50}^T .

Определение коэффициента гидравлического сопротивления циклона :

$$\xi = K_1 * K_2 * \xi_{500} \quad (7)$$

где K_1 - поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 3),

K_2 - поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 4),

ξ_{500} - коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм (табл. 5).

Таблица 3

Поправочный коэффициент K_1 (3)

$D_{ц}, м$	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24	СДК ЦН-3, СДК ЦН-34, СДК ЦН-34М
0,2	0,95	0,90	1,00
0,3	0,96	0,93	1,00
0,4	0,99	1,00	1,00
$\geq 0,5$	1,00	1,00	1,00

Задание к работе

По своему варианту рассчитать циклон для заданного источника выделения пыли. Начертить циклон с указанием размеров.

Пример расчета

Исходные данные:

оборудование - вращающаяся цементная печь,

$$Q = 12 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$\rho = 1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$$

$$d_M = 18 \text{ мкм}$$

$$\lg \delta_4 = 0,652 \quad C_{\text{вх}} = 20 \text{ г}/\text{м}^3$$

$$\rho_c = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3 \quad \eta = 0,8$$

Исходя из заданного размера частиц пыли ($d_M = 18 \text{ мкм}$), выбираем циклон, который очищает от частиц пыли размером $d_{50}^T = 8,5 \text{ мкм}$.

Циклон: ЦН - 24

$$\omega_{\text{оп}} = 4,5 \text{ м}/\text{с} \quad d_{50}^T = 8,5 \text{ мкм} \quad \lg \delta_\eta^T = 0,308$$

Определяем диаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12}{\pi \cdot 4,5}} = 1,84 \text{ м}$$

По таблице 2 выбираем ближайшее значение типового диаметра $D_{\text{ц}} = 1,8 \text{ м}$

$$\omega_p = \frac{4 \cdot 12}{\pi \cdot 1,8^2} = 4,72 \text{ м}/\text{с}$$

$$100 \left| \frac{4,72 - 4,5}{4,5} \right| = 4,8\% < 15\%$$

$$d_{50} = 8,5 * \sqrt{\frac{1,8}{0,6} * \frac{1930}{2000} * \frac{17,3 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} * \frac{3,5}{4,72}} = 9,7 \text{ мкм}$$

$$d_{50} = 9,7 < d_M = 18 \text{ мкм}$$

$$X = \frac{\lg\left(\frac{18}{9,7}\right)}{\sqrt{0,308^2 + 0,652^2}} = 0,372$$

$$\Phi(X) = 0,3762 * 0,372 + 0,5 = 0,64$$

$$\eta = \frac{1 + 0,64}{2} = 0,82 \quad \eta > 0,8$$

$$\xi = 1 \cdot 0,93 * 75 = 69,75$$

$$\Delta 3 = 69,75 * \frac{1,29 * 4,72^2}{2} = 1002 \text{ Па}$$

$$N = \frac{1,2 * 1002 * 12}{0,8 * 0,8} = 22551 \text{ Вт}$$

$$C_{\text{вых}} = 20 * (1 - 0,812) = 3,76 \text{ г}/\text{м}^3$$

Таблица 4

Поправочный коэффициент K_2 (3)

Тип циклона	Запыленность на входе, г/м ³ ($C_{вх}$)						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1,00	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1,00	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1,00	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-15У	1,00	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1,00	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК ЦН-33	1,00	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК ЦН-34	1,00	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК ЦН-34М	1,00	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Таблица 5

Коэффициент гидравлического сопротивления ξ_{500} (2)

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15, ЦН-15У	ЦН-11	СДК ЦН-33	СК ЦН-34 СК ЦН-34М
ξ_{500}	75	155	245	520	1050

Вычисление гидравлического сопротивления циклона производят по формуле

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \omega_p^2}{2}, \text{ Па}$$

где ρ - плотность газа, г/м³;

ω_p - скорость газа в циклоне, м/с.

Расчет мощности привода подачи газа. Величина гидравлического сопротивления и объемный расход (Q) очищаемого газа определяют мощность (N) привода устройства для подачи газа к циклону:

$$N = \frac{K_3 \Delta P Q}{\eta_M \eta_B} \quad (9)$$

K_3 - коэффициент запаса мощности, ($K_3 = 1,2$);

η_M - КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору ($\eta_M = 0,8$);

η_B - КПД вентилятора ($\eta_B = 0,8$).

Определение концентрации пыли на выходе из циклона :

$$C_{\text{вых}} = C_{\text{вх}} (1 - \eta), \text{ г/м}^3 \quad (10)$$

Выводы: циклон ЦН - 24 ; $D_{ц} = 1,8\text{м}$; $\eta = 0,82$; $N = 22551\text{ Вт}$;
 $C_{\text{ВЫХ}} = 3,76 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$

Варианты заданий

Согласно заданию преподавателя (табл. 6) выбрать и рассчитать циклон, обеспечивающий требуемую эффективность очистки газа.

Обозначения принятые в табл. 6:

$Q, \text{ м}^3/\text{с}$ - объем очищаемого газа,

$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$ - плотность газа при рабочих условиях,

$\mu, \text{ Па}\cdot\text{с}$ - вязкость газа при рабочей температуре,

$d_M, \text{ мкм}$ - медианный размер частиц пыли,

$\lg \delta_4$ - стандартное отклонение размеров частиц пыли,

$C_{\text{ВХ}}, \text{ г}/\text{м}^3$ - входная концентрация пыли,

$\rho_4, \text{ кг}/\text{м}^3$ - плотность частиц пыли,

η - требуемая эффективность очистки газа.

Таблица 6

Исходные данные для расчета циклона

№	Наименование оборудования	Q	ρ	μ	d_M	$\lg \delta_4$		ρ_4	η
1	Клинкерно-обжиговая печь	20	1,29	17,3	23	0,501	30	2000	0,85
2		26	1,29	17,3	20	0,602	10	2000	0,80
3		10	1,29	17,3	14	0,535	25	2000	0,80
4		16	1,29	17,3	9	0,497	20	2000	0,80
5	Шахтная мельница	0.1	1,29	17,3	56	0,97	100	2240	0,80
6	Крекинг установка	2	1,29	17,3	16	0,250	10	2600	0,85
7		10	1,29	17,3	14	0,250	20	2600	0,85
8	Крекинг установка	10	1,29	17,3	7	0,301	15	2600	0,85
9	Углесушильный барабан	5	1,29	17,3	15	0,334	50	1350	0,80
0	Шаровая мельница	1	1,29	17,3	6	0,468	20	2900	0,80
11	Вращающаяся цементная печь	10	1,29	17,3	7	0,345	40	2000	0,80
12	Вращающаяся цементная печь	10	1,29	17,3	18	0,652	20	2000	0,85
13	Электролизер алюминия	5	1,29	17,3	10	0,352		2700	0,85
14	Вращающаяся	2	1,29	17,3	3	0,215	100	2900	0,85

	печь обжига								
15	Вращающаяся печь обжига	3	1,29	17,3	8	0,506	40	2650	0.80
16	Распылительная сушилка	10	1,29	17,3	8	0,210	4	1800	0.80
17	Барабанная сушилка	10	1,29	17,3	15	0,360	10	1800	0,80
18		12	1,29	17,3	11	0,360	20	1800	0,80
19	Барабанная сушилка	8	1,29	17,3	20	0,352	10	2700	0,85
20	Цементная мельница	5	1,29	17,3	12	0,468	60	2900	0,85
21	Наждачный станок	0,5	1,29	17,3	38	0,214	10	2500	0.85
22	Шаровая мельница	3	1,29	17,3	9	0,385	10	2900	0,80
23	Электролизер алюминия	8	1,29	17,3	10	0,468	2	2700	0.85
24	Наждачный станок	0,6	1,29	17,3	30	0,312	15	2500	0,85
25	Шаровая мельница	2	1,29	17,3	6	0,268	10	2900	0.80
26	Наждачный станок	0,8	1,29	17,3	30	0,314	8	2500	0,85
27	Наждачный станок	10	1,29	17,3	6	0,468	10	2000	0.80
28	Шаровая мельница	12	1,29	17,3	7	0,214	1	2000	0,80
29	Наждачный станок	8	1,29	17,3	18	0,385	15	2240	0.80
30	Барабанная сушилка	5	1,29	17,3	10	0,468	10	2600	0,85

Практическая работа

Расчет рассеивания выбросов промышленных предприятий в атмосферном воздухе

Цель работы: Научиться производить расчет загрязненного атмосферного воздуха у поверхности земли при рассеивании нагретых газозвудушных выбросов через одноствольную трубу.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите алгоритм решения задачи.
2. Выполните расчеты в соответствии с заданиями и оформите отчет.

Решение

1. В зависимости от места расположения источника выбросов установить значение коэффициента A .
2. Определить среднюю скорость выхода газозвушной смеси из устья трубы

$$W_r = \frac{4Q}{\pi D^2}, \quad (1)$$

где Q — объем воздуха, выбрасываемого через трубу, м³/с; D — диаметр устья трубы, м.

3. Рассчитать параметр f , м/с² град

$$f = 10^2 \frac{W_r^2 D}{H^2 \Delta T}, \quad (2)$$

где H — высота трубы, м; ΔT — разность между температурой выбрасываемой смеси и температурой окружающего воздуха, град.

4. Найти величину безразмерного коэффициента m

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}. \quad (1.3)$$

5. Вычислить параметр V_m

$$V_m = 0,65\sqrt[3]{\frac{Q\Delta T}{H}}. \quad (1.4)$$

6. Определить безразмерный коэффициент n в зависимости от значения параметра V_m

$$\text{при } V_m \leq 0,3 \quad n=3;$$

$$\text{при } 0,3 < V_m < 2 \quad n=3 - \sqrt{(V_m - 0,3)(4,36 - V_m)}; \quad (1.5)$$

$$\text{при } V_m > 2 \quad n=1.$$

7. Рассчитать величину максимальной приземной концентрации вредного вещества при выбросе из трубы газовой смеси

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2 \sqrt[3]{Q\Delta T}}, \quad (1.6)$$

где A - коэффициент, зависящий от температурного градиента атмосферы; M — масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, мг/с; F -коэффициент.

8. Определить концентрацию вредного вещества в приземном слое с учетом фонового загрязнения воздуха

$$C = C_m + C_{\phi}. \quad (1.7)$$

9. Установить предельно допустимую концентрацию (ПДК) загрязненного вещества в атмосферном воздухе. Выбрасываемая из трубы газовой смеси содержит оксид углерода.

10. Дать заключение о соответствии требованиям норм концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе у поверхности земли.

Пример

Исходные данные:

1. Климатическая зона	
Сибирь	
2. Фоновое загрязнение приземного слоя атмосферы, C_{ϕ} мг/м ³	1,2
3. Объем воздуха, выбрасываемого через трубу, Q , м ³ /с	4,9
4. Масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу M , мг/с	2,5
5. Разность между температурой выбрасываемой смеси и температурой окружающего воздуха ΔT , град	
14	
6. Высота трубы H , м	24
7. Диаметр устья трубы D , м	0,9
8. Коэффициент F	1
9. Загрязняющее вещество	СО

Решение:

1. Определяем значение коэффициента A в зависимости от места расположения источника выбросов [1, с. 143].:

$$A = 200$$

2. Определяем среднюю скорость выхода газовой смеси из устья трубы:

$$W_r = \frac{4 \cdot 4,9}{3,14 \cdot 0,9^2} = 7,71 \text{ м/с.}$$

3. Рассчитываем параметр f :

$$f = 10^2 \frac{7,71^2 \cdot 0,9}{24^2 \cdot 14} = 0,663 \text{ мс}^2 \text{ град}.$$

4. Находим величину безразмерного коэффициента m :

$$m = \frac{1}{0,67 + 01\sqrt{0,663} + 0,34\sqrt[3]{0,663}} = 0,954.$$

5. Определим опасную скорость движения воздуха в трубе:

$$V_m = 0,65\sqrt[3]{\frac{4,9 \cdot 14}{24}} = 0,92 \text{ м / с}.$$

6. Определяем безразмерный коэффициент n в зависимости от значения параметра V_m :

$$n = \sqrt{(0,92 - 0,3)(4,36 - 0,92)} = 1,54.$$

7. Рассчитываем величину максимальной приземной концентрации вредного вещества при выбросе из трубы газовой смеси:

$$C_m = \frac{200 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 0,954 \cdot 1,54}{24^2 \sqrt[3]{4,9 \cdot 14}} = 0,312 \text{ мг / м}^3.$$

8. Определяем концентрацию вредного вещества в приземном слое с учетом фонового загрязнения воздуха:

$$C = 0,312 + 1,2 = 1,512 \text{ мг / м}^3.$$

9. Устанавливаем ПДК загрязняющего вещества в атмосферном воздухе:

По условию задачи, выбрасываемая из трубы газовой смеси содержит оксид углерода CO.

Класс опасности — 4 [1, табл.22].

ПДК среднесуточная = 3 мг/м³; ПДК максимально разовая = 5 мг/м³ [1, табл.22].

Вывод: Концентрация оксида углерода (CO) в атмосферном воздухе у поверхности земли ниже предельно допустимой концентрации: $C = 1,51 < \text{ПДК} = 3,25$. Загрязнение атмосферного воздуха у поверхности земли ниже нормируемого, значит, дополнительной очистки газовой смеси не требуется.

Варианты заданий

Определить загрязнение атмосферного воздуха у поверхности земли при рассеивании нагретых газо-воздушных выбросов через одноствольную трубу.

Исходные данные для расчета принять по варианту, номер которого совпадает с порядковым номером студента, по табл. 1

Таблица 1

Данные для расчета

Исходные данные	Вариант									
	1/11	2/12	3/13	4/14	5/15	6/16	7/17	8/18	9/19	10/20
1. Климатическая зона	Сибирь	Дальний Восток	Нижнее Поволжье	Урал	Среднее Поволжье	Сибирь	Дальний Восток	Нижнее Поволжье	Урал	Среднее Поволжье
2. Фоновое загрязнение приземного слоя атмосферы $C_{ф}$, мг/м ³	$\frac{0,8}{0,6}$	$\frac{0,6}{1,1}$	$\frac{0,7}{1,0}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{1,1}{0,6}$	$\frac{1,2}{0,8}$	$\frac{1,4}{1,2}$	$\frac{1,1}{0,6}$	$\frac{1,2}{0,6}$	$\frac{1,4}{0,8}$
3. Объем воздуха, выбрасываемого через трубу, Q , м ³ /с	$\frac{5,6}{5,2}$	$\frac{5,4}{5,1}$	$\frac{5,2}{5,6}$	$\frac{5,8}{5,1}$	$\frac{5,1}{5,2}$	$\frac{4,9}{5,4}$	$\frac{5,5}{1,1}$	$\frac{5,2}{5,8}$	$\frac{5,6}{5,2}$	$\frac{5,1}{5,6}$
4. Масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, M , мг/с	$\frac{2,2}{2,1}$	$\frac{2,4}{2,1}$	$\frac{2,6}{2,3}$	$\frac{2,1}{2,3}$	$\frac{2,3}{2,1}$	$\frac{2,5}{2,2}$	$\frac{2,6}{2,2}$	$\frac{2,4}{2,3}$	$\frac{2,1}{2,2}$	$\frac{2,5}{2,1}$
5. Разность между температурой выбрасываемой смеси и температурой окружающего воздуха ΔT , град	$\frac{4}{16}$	$\frac{12}{18}$	$\frac{16}{14}$	$\frac{18}{12}$	$\frac{12}{14}$	$\frac{14}{16}$	$\frac{16}{12}$	$\frac{18}{14}$	$\frac{12}{16}$	$\frac{14}{18}$
6. Высота трубы H , м	$\frac{22}{25}$	$\frac{24}{22}$	$\frac{23}{25}$	$\frac{25}{22}$	$\frac{21}{23}$	$\frac{24}{23}$	$\frac{23}{24}$	$\frac{22}{25}$	$\frac{21}{24}$	$\frac{25}{22}$
7. Диаметр устья трубы D , м	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{0,9}{1,0}$	$\frac{1,0}{0,9}$	$\frac{1,1}{1,0}$	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{0,9}{1,0}$	$\frac{1,0}{0,9}$	$\frac{1,1}{1,0}$	$\frac{0,8}{0,9}$	$\frac{0,9}{0,8}$
8. Коэффициент F	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Практическая работа

Расчет эффективности очистки воздуха, выбрасываемого в атмосферу, пылеулавливающим оборудованием

Цель работы: Определить эффективность очистки воздуха, выбрасываемого в атмосферу.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучите алгоритм решения задачи.
2. Выполните расчеты в соответствии с заданиями и оформите отчет.

Для произведения расчетов необходимо изучить указания к решению задачи:

1. Запыленный воздух отсасывается от фрезеровального агрегата для механической обработки стеновых панелей. Очистка воздуха предусмотрена двухступенчатая. В качестве первой ступени используются два параллельно установленных циклона, в качестве второй ступени очистки используется рукавный фильтр.

2. Определить допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу:

$$C_K = (160 - 4L)K, \quad (1)$$

где L - объем выбрасываемого в атмосферу воздуха, тыс. м³/ч; K — коэффициент, зависящий от ПДК пыли в воздухе рабочей зоны.

3. Найти требуемую степень очистки воздуха от пыли

$$\eta = \frac{C_H - C_K}{C_H} \cdot 100, \quad \% \quad (2)$$

4. Рассчитать общую эффективность пылеулавливания последовательно установленных двух циклонов и рукавного фильтра

$$\eta_{\text{общ}} = [1 - (1 - \eta_w)(1 - \eta_f)] 100, \quad \% \quad (3)$$

5. Определить условную скорость воздуха в поперечном сечении циклона

$$W_{\text{ц}} = \frac{L_{\text{ц}}}{\frac{3600 \cdot \pi \cdot d^2}{4}}, \quad (4)$$

где $L_{\text{ц}}$, - объем воздуха, проходящий через один циклон, принять равным половине L , м³/ч.

6. Рассчитать гидравлические потери в циклоне

$$P_{\text{ц}} = \zeta \frac{\rho W_{\text{ц}}^2}{2}, \quad (5)$$

где ζ - коэффициент гидравлического сопротивления, равный 160; P - плотность воздуха при температуре t , °С.

7. Определить общее сопротивление двухступенчатой установки для очистки запыленного воздуха

$$P_{\text{общ}} = P_{\text{ц}} + P_{\text{ф}}. \quad (6)$$

Пример

Исходные данные:

1. Климатическая зона	Сибирь
2. Объем выбрасываемого в атмосферу воздуха L , тыс. м ³ /ч	12,1
3. Коэффициент K	0,3
4. Концентрация пыли в отсасываемом от фрезеровального агрегата воздухе, C_n , мг/м ³	1060
5. Эффективность очистки воздуха на первой ступени η , %	84
6. Эффективность очистки воздуха на второй ступени η , %	93
7. Диаметр циклона d , м	0,6
8. Гидравлическое сопротивление рукавного фильтра $P_{\text{ф}}$, Па	1800
9. Температура воздуха t , °С	16

Решение:

1. Запыленный воздух отсасывается от фрезеровального агрегата при механической обработке стеновых панелей. Очистка воздуха предусмотрена двухступенчатая. В качестве первой ступени используются два параллельно установленных циклона, в качестве второй ступени очистки используется рукавный фильтр.

2. Определяем допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу:

$$C_K = (160 - 4 \cdot 12,1) \cdot 0,3 = 33,48 \text{ мг/м}^3$$

3. Находим требуемую степень очистки воздуха от пыли

$$\eta_{\text{ТР}} = \frac{1060 - 33,48}{1060} \cdot 100\% = 96,48\%$$

4. Рассчитываем общую эффективность пылеулавливания последовательно установленных двух циклонов и рукавного фильтра:

$$\eta_{\text{общ}} = [1 - (1 - 0,84) \cdot (1 - 0,93)] \cdot 100\% = 98,3\%$$

5. Определяем условную скорость воздуха в поперечном сечении циклона:

$$W_{\text{ц}} = \frac{6050}{\frac{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,6^2}{4}} = 5,95 \text{ м/с}$$

6. Рассчитываем гидравлические потери в циклоне: где ρ - плотность воздуха при температуре $t = 16^\circ\text{C}$.

$$\rho = \frac{353}{273 + 16} = 1,22 \text{ кг/м}^3,$$

$$P_{\text{ц}} = 160 \cdot \frac{1,22 \cdot 5,95^2}{2} = 3455,28 \text{ Па}.$$

7. Определяем общее сопротивление двухступенчатой установки для очистки запыленного воздуха:

$$P_{\text{общ}} = 1880 + 3455,28 = 5255,28 \text{ Па}.$$

Вывод: Сравнивая $\eta_{\text{общ}} = 98,88 \% > \eta_{\text{пр}} = 96,84\%$, делаем вывод что, принятая двухступенчатая очистка воздуха, где в качестве первой ступени используются два параллельно установленных циклона, а в качестве второй — рукавный фильтр, является эффективной.

Варианты заданий

Рассчитать эффективность очистки воздуха, выбрасываемого в атмосферу, пылеулавливающим оборудованием. Исходные данные для расчета принять по варианту, номер которого совпадает с порядковым номером студента, по табл. 1.

Таблица 1

Данные для расчета

Исходные данные	Вариант									
	1/11	2/12	3/13	4/14	5/15	6/16	7/17	8/18	9/19	10/20
1. Объем выбрасываемого в атмосферу воздуха L , м ³ /ч	<u>13400</u> 14200	<u>11900</u> 12500	<u>1170</u> 0 1170 0	<u>12100</u> 13400	<u>12100</u> 11900	<u>1290</u> 0 1210 0	<u>11300</u> 14600	<u>11700</u> 13200	<u>1340</u> 0 1130 0	<u>1250</u> 0
2. Коэффициент K	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
3. Концентрация пыли в отсасываемом от агрегата воздухе $C_{\text{п}}$, мг/м ³	<u>1060</u> 1040	<u>1140</u> 1130	<u>1090</u> 1070	<u>1060</u> 1120	<u>1110</u> 1090	<u>1130</u> 1060	<u>1130</u> 1110	<u>1020</u> 1140	<u>1140</u> 1130	<u>1040</u> 1020
4. Эффективность очистки воздуха на первой ступени $\eta_{\text{п}}$, %	<u>84</u> 82	<u>83</u> 81	<u>84</u> 83	<u>85</u> 84	<u>82</u> 85	<u>82</u> 84	<u>81</u> 83	<u>85</u> 82	<u>83</u> 81	<u>82</u> 85
5. Эффективность очистки воздуха на первой ступени $\eta_{\text{ф}}$, %	<u>96</u> 95	<u>93</u> 94	<u>93</u> 93	<u>94</u> 92	<u>96</u> 96	<u>93</u> 93	<u>93</u> 94	<u>94</u> 95	<u>93</u> 93	<u>95</u> 92
6. Диаметр циклона d , м	<u>0,7</u> 0,9	<u>0,7</u> 0,75	<u>0,9</u> 0,6	<u>0,9</u> 0,9	<u>0,75</u> 0,75	<u>0,6</u> 0,6	<u>0,7</u> 0,7	<u>0,75</u> 0,9	<u>0,7</u> 0,75	<u>0,7</u> 0,6
7. Гидравлическое сопротивление рукавного фильтра $P_{\text{ф}}$, Па	<u>1900</u> 1900	<u>1170</u> 1800	<u>1800</u> 1700	<u>1700</u> 1600	<u>1800</u> 1700	<u>1700</u> 1800	<u>1800</u> 1900	<u>1700</u> 1800	<u>1900</u> 1700	<u>1700</u> 1600
8. Температура, °C	<u>18</u> 16	<u>19</u> 17	<u>19</u> 18	<u>19</u> 19	<u>20</u> 20	<u>17</u> 16	<u>16</u> 17	<u>17</u> 18	<u>20</u> 19	<u>20</u> 20

Практическая работа

Подбор и расчет воздушных фильтров

Цель работы: Освоить методику расчета фильтров для очистки сварочных аэрозолей

Теоретические положения

Электродуговая сварка, электрорезка и наплавка металлов сопровождаются выделением газов и сварочной пыли. Их основные источники - электроды, флюсы, наплавочные смеси. Пробы на состав аэрозолей показали, что пыль состоит из окислов железа, марганца, кремния и некоторых других. В табл. 1 приведен химический состав пыли, образующийся при сварке электродами.

Таблица 1

Химический состав пыли, образующийся при сварке электродами

Марка электродов	Mn O ₂	SiO 2	Fe ₂ O ₃	CrO 3	Ni	Ti
УОНИ-13/45	4,4	7,0 6	47, 2	0,00 13*	-	-
ОММ-5	5,5	4,5 8	35, 8*	-	-	-
Аустенитные	3,4	-	43, 2	3,4	2,0	0,16*
ЦМ-7	8,6	4,2 *	-	-	-	-
Меловые	-	0,3 3	9,3 0*	-	-	-

* Остальное количество выделений (до 100% по массе) составляют окислы азота, углерода и другие газы.

При расчете фильтров для очистки сварочных аэрозолей необходимо учитывать, что частицы окислов, в основном, имеют размер от 10^{-3} мкм до 1 мкм. Анализ дисперсного состава счетным методом показал, что сварочная пыль состоит до 99% из частиц размером до 1 мкм. Около 1% составляют частицы до 5 мкм, а частицы размером более, чем 5 мкм – десятые доли процента.

Для очистки таких аэрозолей применяются фильтры, состоящие из фильтроэлементов грубой и тонкой очистки при их последовательном соединении. Улавливание частиц размером 1 мкм и более (грубая очистка) возможно фильтроэлементами из пористых металлов, а частицы с размером менее чем 1 мкм эффективно задерживают фильтрующие материалы типа ФП (фильтры Петрянова). Однако фильтроматериалы типа ФП хорошо работают при концентрациях твердых частиц в аэрозоли не более 1 мг/м³.

Для расчета фильтроэлементов в качестве исходных данных принимают:

1) расход фильтруемого газа Q , м³/ч, с учетом того, что от постоянных мест газопламенной обработки мелких деталей местными отсосами обычно отводится 1700...2500 м³/ч, а от постов кислородно-флюсовой резки и резки высокомарганцовистой стали на 1 мм толщины реза – 250...500 м³/ч газа;

2) общую концентрацию пылевых примесей в фильтруемом газе q_0 мг/м³. Причем $q_0 = q_1 + q_2$, где q_1 - концентрация примесей с размером частиц от 1 мкм и выше, q_2 – концентрация примесей с размером частиц меньше, чем 1 мкм. После прохождения фильтра грубой очистки к фильтроэлементу тонкой очистки газ подходит с концентрацией пыли

$$q'_2 = q_2 + q'_1. \quad (1)$$

где q'_1 – доля пыли с размером частиц 1 мкм и более, проходящая через фильтр грубой очистки. Значение q'_1 определяют по формуле:

$$q'_1 = q_1(1 - \eta_1),$$

где η_1 - эффективность улавливания частиц фильтром грубой очистки.

В формуле (1) условно принято, что фильтр грубой очистки обладает нулевой эффективностью улавливания частиц размером менее 1 мкм.

После прохождения фильтроэлемента тонкой очистки в газе содержится пыль с концентрацией частиц q_3 . Для фильтроматериалов типа ФП величина отношения q_3/q'_3 обычно составляет 0,0001...0,1 в зависимости от дисперсии твердой фазы аэрозоля и условий эксплуатации фильтра.

Расчет фильтра выполняют для определения а) типа фильтроматериалов по заданной эффективности очистки и площади фильтрования, по величине расхода газа и допустимого начального перепада давления на фильтре; б) времени непрерывной работы до регенерации фильтра по величине конечного перепада давления на фильтре. Определив указанные параметры, конструируют фильтр.

а) Фильтр грубой очистки. Фильтроэлементами такого фильтра могут служить пористые материалы из порошковых металлов или пористые сетчатые металлы. Расчет фильтроэлемента грубой очистки из порошкового пористого металла проводят при следующих исходных данных: расход фильтруемого газа Q , м³/ч, и его физические характеристики; концентрация пыли до фильтроэлемента q , мг/м³; средний размер частиц $d_{ср}$, мкм; тонкость очистки $d_{то\ абс}$, мкм; начальное гидравлическое сопротивление

фильтроэлемента $\Delta P_{нач}$, Па; конечное допустимое гидравлическое сопротивление фильтра из условий работы общей пневмосистемы $(\Delta P_{кон})_{доп}$, Па; время непрерывной работы фильтроэлемента τ_k ; плотность вещества высокодисперсных аэрозолей ρ_1 , г/см³. Для сварочных аэрозолей $\rho_1 = 1...4$ г/см³.

Порядок расчета.

1. По заданной точности очистки $d_{то абс}$ определяем максимальный размер пор фильтроэлемента по формуле $d_{п max} / d_{то абс}$.

2. Задавая значение пористости Π в пределах величины $\Pi = 0,3...0,5$ и вид пористого материала (например, бронза, сталь), определяем средний размер пор фильтроэлемента по выражению

$$d_{п ср} = d_{п max} / 0,8 \cdot \Pi^{0,3} \text{ мкм.}$$

3. По соответствующим зависимостям табл. 1.2 для выбранного материала (например, СТ 50Х; форма частиц – лепестковая) определяем размер фракции порошка в пределах $1...1000$ мкм по формуле

$$d_{о ср} = d_{п ср} / \Pi^2 \text{ мкм.}$$

4. Выбираем толщину фильтроматериала из условий прочности и технологичности в пределах $h = 0,25...2$ мм.

5. По заданному начальному перепаду давления на фильтроэлементе $\Delta P_{нач}$ и критериальной зависимости $\xi = \frac{C}{R_e} (1 + A \cdot R_e^m \cdot \Pi^n)$ (см. табл.2), где

$$\Delta P = \xi \frac{\rho \cdot W_n^2 \cdot h}{2 d_{п ср}} ; R_e = \frac{W_n \cdot d_{п ср} \cdot \rho}{\mu} ,$$

определяем скорость движения газа в порах W_n м/с. В расчетах физические характеристики газа (ρ – плотность, μ – вязкость) берем при

средних параметрах: давлении $P_{ср} = P_{вх} - \frac{\Delta P_{нач}}{2}$; температуре $T_{ср} = T_{вх}$, где $P_{вх}$, $T_{вх}$ – давление и температура газа перед фильтроэлементом.

Другие обозначения: R_e – число Рейнольдса; C , A – коэффициенты; m , n – показатели степени. Их значения приведены в табл. 2

Таблица .2

Данные для расчетов

Пористый металл	Форма частиц	Пористость, Π	Зависимость для определения среднего размера пор	Коэффициенты		Показатели степени m n
				A	C	
Бронза	сферы	0,25...0,42	$(3\Pi / 31-\Pi) \cdot d_{п ср}$	0,56	152	0,9...1,72
Ст. 50Х	сферы	0,25...0,42	$1,9\Pi^{1,9} \cdot d_{п ср}$		$5,56 \cdot 132 \cdot 10^{-3}$	0,9...1,72

80%сферы+	0,18...0,32			$4,8 \cdot 172 \cdot 10^{-3}$	0,9...1,72
20%несфер. лепестковая	0,18...0,32		$\Pi^2 \cdot d_{чсп}$	$1,42 \cdot 500 \cdot 10^{-3}$	0,9...1,72

Решая приведенное уравнение относительно W_n , получим уравнение типа $\bar{\alpha} = A \cdot \Pi^n \cdot (d_{нсс} \cdot \rho / \mu)^m$; $\beta = 1 \cdot \Delta P_{нач} \cdot d_{нсс}^2 / h \mu \cdot C$. Решение этого уравнения дает значение W_n .

6 Определяем площадь фильтроэлемента по формуле

$$F_{\phi} = \frac{Q}{W_n \cdot \Pi} \text{ м}^2.$$

7 Конечное сопротивление фильтроэлемента рассчитываем по формуле

$$\Delta P_{кон} = \Delta P_{нач} \cdot \left[(1 - e^{-A_1 \cdot B \cdot h}) \cdot \left(\frac{e^{A_1 \cdot q_1 \tau_k} - 1}{A_1 \cdot B} \right) + h \right] / h,$$

где $B = \Pi(1 - \Pi_{\phi}) / W_{\phi}$; $W_{\phi} = W_{\Pi} \cdot \Pi$ – скорость газа перед фильтроэлементом (скорость фильтрации); $\Pi_{\phi} = 0,5$ – пористость осевшего в порах осадка; $A_1 = 5,25 \cdot 10^3$, 1/с – опытный коэффициент; $q_1 = g/\rho_1$ – объемное содержание твердых частиц; τ_k – время работы фильтра, с. При значении $\Delta P_{кон} > (\Delta P_{нач})_{доп}$ расчет необходимо повторить, задавая другие значения $\Delta P_{нач}$, h , Π , или, если отличие незначительно, можно уточнить время τ_k . При $\Delta P_{кон} < (\Delta P_{нач})_{доп}$ можно уточнить время τ_k , приняв $\Delta P_{кон} = (\Delta P_{нач})_{доп}$.

8. Среднее за время работы фильтра объемное содержание твердых примесей в потоке газа за фильтром грубой очистки определяем по формуле

$$q'_{1cp} = \ln \frac{e^{A_1 \cdot q_1 \tau_k} - 1 + e^{A_1 \cdot B \cdot h}}{e^{A_1 \cdot B \cdot h}} / A_1 \cdot \tau_k.$$

9. Среднее массовое содержание твердых примесей в потоке газа, прошедших фильтроэлемент без учета g_2 , равняется $g'_1 = q'_{1cp} \cdot \rho$ г/см³.

10 Эффективность очистки равна $\eta_1 = (q_1 - q'_{1cp}) = (g_1 - g'_1) / g_1$

б) Фильтр тонкой очистки.

В качестве фильтроматериала тонкой очистки рассмотрим материал ФПП-25-3,0. Исходные данные для расчета: расход фильтруемого газа Q , м³/ч (см. предыдущий расчет); концентрация пыли, прошедшей фильтр грубой очистки, g'_1 , мг/м³ (см. предыдущий расчет); концентрация высокодисперсной пыли g_2 , мг/м³; допустимый коэффициент проскока по наиболее проникающим частицам $K_{доп}$.

Порядок расчета.

1. Определяем концентрацию частиц пыли перед фильтром тонкой очистки по формуле $g'_2 = g_2 + g'_1$, при этом $g'_2 < 1$ мг/м³.

2. Задаем скорость фильтрации W_{Φ} для фильтроэлемента тонкой очистки. Рекомендуемое значение скорости фильтрации составляет 1...5 см/с. В отдельных случаях допустимо увеличение скорости фильтрации до 10...20 см/с. При этом потери давления ΔP_v на фильтроэлементе из материала ФП можно рассчитывать по формуле $\Delta P_v = W_{\Phi} \cdot \Delta P_1$, где ΔP_1 – потери давления на фильтроэлементе при скорости $W_{\Phi} = 1$ см/с. Это значение указано на марке фильтрующего материала ФП, например, фильтр Петрянова из перхлорвиниловых волокон W_{Φ} и величине Q находим площадь фильтрации фильтроэлемента по формуле $F_{\Phi} = Q/W_{\Phi}$. В табл. 3 приведены основные характеристики некоторых фильтров тонкой очистки. Все характеристики рассчитаны на режиме работы при скорости фильтрации $W_{\Phi} \approx 4,2$ см/с (150 м/ч). Фильтроматериалом служит ФП (ФПП-25, ФПП-15 или др. марки). Допустимая температура эксплуатации 60 °С. Назначение - для приточной и вытяжной вентиляции. В марке фильтра, например Д-9, цифрой обозначена площадь фильтрации F_{Φ} , м², а буква Д означает деревянный корпус. Содержащиеся цифры в обозначении фильтра марки ЛАИК означают: числитель – начальное сопротивление при скорости фильтрации $W_{\Phi} = 1$ см/с; знаменатель – площадь фильтрации F_{Φ} , м². Габаритные размеры относятся к каркасу фильтра шириной 2,5 мкм и перепадом давления $\Delta P_1 \approx 30$ Па при 3 мм вод. ст. (ФПП-25-3,0).

Таблица 3

Данные для расчетов

№ пп	Марка фильтра	Площадь фильтрации F_{Φ} , м ²	Расход Q , м ³ /ч	Сопротивление фильтра ΔP_0 , Па	Габариты каркаса, мм	
					Входное сечение	Длина
1	Д-2,8	2,76	420	137...186	296·318	370
2	Д-6	6,1	900	137...186	320·636	370
3	Д-9	9,0	1350	196...245	320·636	520
4	Д-15	15,1	2260	402...471	355·636	750
5	Д-16	15,6	2340	196...245	320·636	470
6	ЛАИК СП-3/15	15,1	2250	177	565·735	780
7	ЛАИК СП-3/17	17,5	2250	147	615·995	355
8	ЛАИК СП6-15	15,1	2250	235	565·735	780
9	ЛАИК СП-6-17	17,5	2350	206	615·995	355

3. По величине скорости фильтрации определяем размер наиболее проникающих через материал ФП частиц по графику (рис. 1.1) в [5, дополнит. литер]. Минимум на графике соответствует размеру наиболее проникающих частиц.

4. По размеру наиболее проникающих частиц и скорости фильтрации находим коэффициент фильтрующего действия α по кривым рис. 1.2 [5, дополнит. литер]. Совокупность кривых на указанных рис., а также формула $\Delta P_V = W_\Phi \cdot \Delta P_1$ дают оптимальное соотношение между скоростью фильтрации, потерями давления и коэффициентом проскока через коэффициент α .

5. По найденному значению α вычисляем коэффициент проскока по наиболее проникающим частицам, используя формулу $K_1 = 10^{-\alpha \Delta P_1}$ для слоя фильтроматериала ФП при стандартном сопротивлении ΔP_1 . При этом считают, что фильтроматериал электрически не заряжен.

6. Вычисляем величину стандартного сопротивления фильтроматериала при $W_\Phi = 1$ см/с по допустимому коэффициенту проскока $K_{доп}$ и найденному значению α по формуле $(\Delta P_1)_0 = -\lg K_{доп}$.

7. Отношение величины стандартного сопротивления $(\Delta P_1)_0$ к стандартному сопротивлению одного слоя ФП ΔP_1 определяет число слоев фильтроматериала ФП по формуле $Z = (\Delta P_1)_0 / \Delta P_1$. Округляем значение Z в большую сторону до целого числа Z_0 .

8. Рассчитываем окончательное значение величины проскока с учетом округления числа слоев до целой величины по формуле $K = 10^{-\alpha (\Delta P_1) Z_0}$, где $(\Delta P_1)_{Z_0} = \Delta P_1 \cdot Z_0$ – стандартное сопротивление Z_0 слоев ФП.

9. Рассчитываем срок службы фильтроматериала τ_T . Для этого предварительно рассчитываем массу осадка на фильтре в единицу времени по формуле $\bar{G} = \frac{G}{F_\Phi} \cdot g'_2 (1 - K)$, исходя из условия полного осаждения частиц с размером, отличным от размера наиболее проникающих частиц. Тогда τ_T можно определить по отношению $\tau_T = \bar{G}_{общ} / \bar{G}$ ч, где $\bar{G}_{общ}$ – удельная максимально допустимая масса осадка на ФП ($\bar{G}_{общ} = 500 \dots 100$ г/м²).

10. Повышение перепада давления ΔP_0 на фильтре при образовании осадка определяют из условия, что при $W_\Phi = 1$ см/с за весь срок службы увеличение перепада давления не превышает 50...100 Па. При скорости фильтрации $W_\Phi > 1$ см/с рост перепада давления можно определить по формуле $\Delta P_0 = W_\Phi \cdot \Delta P_{01}$, полагая $\Delta P_{01} = 100$ Па при $W_\Phi = 1$ см/с. Тогда общее сопротивление фильтра тонкой очистки ΔP_T с учетом образования осадка вычисляем по формуле $\Delta P_T = \Delta P_\Phi + \Delta P_0$, где $\Delta P_\Phi = \Delta P_1 \cdot Z_0 \cdot W_\Phi$ – потери давления в рассчитанном фильтре тонкой очистки с числом слоев фильтроматериала Z_0 при скорости фильтрации W_Φ .

11. Расчетную эффективность очистки можно определить по формуле $\eta = 1 - K$ и сравнить с приводимой в работе [5, пп. 9.2] эффективностью очистки вентиляционных выбросов для материала ФП при скорости фильтрации $W_{\Phi} = 4,2$ см/с (табл. 4).

Суммарная эффективность очистки фильтрами грубой и тонкой очистки.

1. Суммарные потери давления вычисляются по формуле $\Delta P = \Delta P_{Г} + \Delta P_{Т}$ Па.

2. Общую эффективность очистки газа от примесей определяют по формуле $\eta = (g_0 - g'_2 \cdot K) / g_0$.

Таблица 4

Назначение фильтра	Рекомендуемая марка материала	Эффективность очистки по размеру частиц 0,2...0,4 мкм, не менее
1. Очистка нетоксичных вентиляционных выбросов	ФПП-70-02	0,9
	ФПП-70-05	0,99
	ФПП-15-1,5	0,99...0,999
2. Очистка вентиляционных выбросов, содержащих токсичные аэрозоли	ФПП-15-3	
	ФПП-25-3	0,999...0,9999
	ФПА-15-4	

Пример.

Рассчитать фильтр для очистки вентиляционных выбросов, отводимых от постоянных постов газопламенной обработки мелких деталей местными отсосами с расходом газа $Q = 2000$ м³/ч. Общая концентрация пылевых примесей в газе $g_0 = 5$ мг/м³, причем частиц со средним размером больше 3 мкм, $g_1 = 4,5$ мг/м³, а высокодисперсных частиц менее 1 мкм, $g_2 = 0,5$ мг/м³. Допустимые суммарные потери давления на фильтре грубой и тонкой очистки в конце цикла работы $\tau = 100$ ч не более $(\Delta P_{\text{кон}})_{\text{доп}} = 0,8 \cdot 10^5$ Па. Допустимый коэффициент проскока по наиболее проникающим частицам для фильтра тонкой очистки $K_{\text{доп}} = 0,001$. Температура газа $T = 290$ К, давление на входе в фильтр $P_{\text{вх}} = 10^5$ Па, начальный перепад давления на фильтре грубой на фильтре грубой очистки $\Delta P_{\text{нач}} = 0,15 \cdot 10^5$ Па.

Расчет фильтра грубой очистки

1. Учитывая величину средних размеров частиц загрязнителя, назначаем абсолютную тонкость очистки фильтром 3 мкм, тогда максимальный размер пор равен $d_{\text{Пmax}} = 3 \cdot 3$ мкм.

2. Задавая пористость $\Pi = 0,45$, находим $d_{Пср} = \frac{9}{0,8 \cdot (0,45)^3} = 8,85 \text{ мкм}$.

3. Выбираем материал Ст. 50Х (форма частиц – лепестковая) фильтроэлемента по табл.1.2. Тогда средний размер частиц порошка равен

$$d_{чср} = 8,85 / (0,45)^2 = 43,7 \text{ мкм}$$

4. Назначаем толщину материала фильтроэлемента $h = 1 \text{ мм}$.

5. Решая совместно три уравнения с учетом данных табл. 2 для материала Ст. 50Х, получим уравнение $\alpha = W_n^{1,9} + W_n - \beta = 0$, где

$$\alpha = 0,142 \cdot 0,45^{-1,9} \cdot \left(\frac{8,85 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2}{180 \cdot 10^{-7}} \right)^{0,9} = 4,03 \cdot 10^{-2};$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 0,15 \cdot 10^5 (8,85 \cdot 10^{-6})^2}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 180 \cdot 10^{-7} \cdot 500} = 0,261$$

Решая уравнение, получим $W_n = 0,257 \text{ м/с}$.

6. Площадь фильтрации равна $F_\phi = \frac{2000}{3600 \cdot 0,257 \cdot 0,45} = 4,804 \text{ м}^2$.

7. Перепад давления на фильтре в конце расчетного времени ($\tau = 100 \text{ ч}$)

$$\text{равен } \Delta P_{\text{кон}} = \frac{0,15 \cdot 10^5 (1 - e^{-5,25 \cdot 10^3 \cdot 1,946 \cdot 10^{-3}}) (e^{5,25 \cdot 10^3 \cdot 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot 3,6 \cdot 10^5} - 1)}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 5,25 \cdot 10 \cdot 1,946} + 1 \cdot 10^{-3} = 0,576 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Значения параметров, использованных в расчете, $B = \frac{0,45(1-0,5)}{0,45 \cdot 0,257} = 1,946$;

$$\rho_1 = 2,5 \text{ г/см}^3; q_1 = \frac{4,5 \cdot 10^{-6}}{2,5 \cdot 10^3} = 1,8 \cdot 10^{-9}$$

Получили, что $\Delta P_{\text{кон}} < (\Delta P_{\text{кон}})_{\text{доп}}$ (часть перепада давления от $(\Delta P_{\text{кон}})_{\text{доп}}$ должна быть распределена еще и на фильтр тонкой очистки).

8. За время работы фильтра среднее объемное содержание твердых примесей в потоке за фильтром равно $q'_{1ср} = 5,604 \cdot 10^{-13}$ (без учета мелкодисперсной фракции с концентрацией g_2).

9. Среднее массовое содержание твердых частиц за фильтром грубой очистки без учета частиц менее 1 мкм равно

$$g'_1 = 5,604 \cdot 10^{-13} \cdot 2,5 \cdot 10^3 = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ кг/м}^3 = 1,4 \text{ мг/м}^3$$

10. Эффективность очистки фильтром равна

$$\eta_\Gamma = \frac{1,8 \cdot 10^{-9} - 5,604 \cdot 10^{-13}}{1,8 \cdot 10^{-9}} = 0,99969$$

Расчет фильтра тонкой очистки

Учитывая допущение, что фильтр грубой очистки полностью пропускает частицы менее, чем 1 мкм, а также частицы большего размера, прошедшие через фильтр, проведем расчеты по следующим параметрам:

1. Концентрация частиц пыли перед фильтром тонкой очистки

$$g'_2 = 0,5 + 0,0014 = 0,5014 \text{ мг/м}^3$$

2. Из расчета фильтра грубой очистки скорость фильтрации равняется $W_{\Phi} = 0,257 \cdot 0,45 = 0,1157$ м/с. Учитывая рекомендуемые скорости для фильтров тонкой очистки, можно в расчетах далее ориентироваться на эту скорость. Примем $W_{\Phi} = 10$ см/с. Выберем фильтроматериал для фильтра тонкой очистки ФПП-25-3,0. Площадь фильтрации равняется $F_{\Phi} = 2000/3600 \cdot 0,1 = 5,556$ м².

3. По графику рис. 1.2 [5, дополнит. лит] находим, что наиболее проникающий размер частиц при $W_{\Phi} = 10$ см/с равен $d_{\text{ч}} = 0,24$ мкм ($R = 0,12$ мкм).

4. По графику рис. 1.3 [5, дополнит. лит] определяем коэффициент фильтрующего действия $\alpha = 3,5 \cdot 10^{-2}$ Па⁻¹ (0,35 мм⁻¹ вод. ст.).

5. Величина стандартного сопротивления, обеспечивающего для ФПП-25-3,0 при $\alpha = 3,5 \cdot 10^{-2}$ Па⁻¹ допустимую величину проскока $K_{\text{доп}} = 0,001$, равна

$$(\Delta P_1)_0 = \frac{-\lg 0,001}{3,5 \cdot 10} 84 \text{ Па.}$$

7. Число слоев ФПП-25-3,0, обеспечивающее данное значение $(\Delta P_1)_0$, равняется $Z = 84/30 = 2,80$. Округляя, получим $Z_0 = 3$.

8. Значение величины проскока для трех слоев ФПП-25-0,3

$$K = 10^{-0,35 \cdot 3 \cdot 10/10} = 0,710 \cdot 10^{-3}.$$

9. Для расчета срока службы ФПП-25-0,3 определим массу осадка на фильтре в единицу времени $\bar{G} = 5,01 \cdot 10^{-8}$ кг/см² и зададим $\bar{G}_{\text{общ}} = 75 \text{ г/м}^2$. Тогда

$$\tau_T = \frac{75 \cdot 10^{-3}}{5,01 \cdot 10^{-8} \cdot 3600} = 415,8 \text{ ч}$$

10. Рост перепада давления на фильтре тонкой очистки от выпавшего осадка при $w_0 = 10$ см/с $\Delta p_0 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3$ Па. Повышение давления на трех слоях собственно

ФПП-25-3,0 за счет $w_{\text{г}} = 10$ см/с будет $\Delta p_{\text{IV}} = 3 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 10 = 9 \cdot 10^2$ Па. Общее повышение давления на фильтре тонкой очистки достигает величины $\Delta p_T = 10^3 + 9 \cdot 10^2 = 1,9 \cdot 10^3$ Па.

11. Эффективность очистки фильтром ФПП-25-3,0 (см. табл. 4)

$$\eta = 1 - 0,000710 = 0,99929 = 0,9993.$$

12. Суммарная эффективность очистки фильтрами грубой и тонкой очистки.

а) Суммарные потери давления $\Delta p = 0,576 \cdot 10^5 + 1,864 \cdot 10^3 = 0,595$ Па;

б) общая эффективность очистки $\eta = (5 - 0,5014 \cdot 0,710 \cdot 10^{-3}) \cdot 5 = 0,99993$.

По данным расчета конструируем фильтр на основе рекомендаций, приведенных ранее.

III РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Взрываемость пыли и газов.
2. Виды огнепреградителей по конструктивным особенностям.
3. Виды фильтров для очистки вентвыбросов.
4. Вихревые пылеуловители. Принцип работы. Схема.
5. Воздушные фильтры.
6. Волокнистые фильтры. Область применения.
7. Газопромыватели ударно-инерционного действия.
8. Группы взрываемости пыли и газов.
9. Динамические скрубберы. Принцип работы. Пример аппарата.
10. Инерционные пылеуловители. Принцип работы. Схема.
11. Каталитический метод очистки газов.
12. Классификация аппаратов мокрой очистки газов в зависимости от поверхности контакта, от механизма улавливания частиц пыли, от способа захвата. Примеры аппаратов.
13. Классификация источников выбросов загрязняющих веществ.
14. Классификация тканевых фильтров.
15. Классификация электрофильтров. Принцип работы. Схема.
16. Мероприятия, направленные на уменьшение горючей среды в вентиляционной системе.
17. Метод каталитического сжигания газов.
18. Метод прямого сжигания газов. Принцип. Примеры установок.
19. Метод термической очистки вентвыбросов (термическая нейтрализация). Каталитическое обезвреживание. Метод термического окисления.
20. Метод термической очистки вентвыбросов. Общие положения.
21. Насадочные скрубберы. Скрубберы с подвижной насадкой.
22. Нормирование качества воздуха. Нормативные документы.
23. Общие сведения о газоочистных установках. Определение ГОУ. Классификация по принципу действия.
24. Общие сведения о процессе фильтрования в тканевых фильтрах.
25. Общие сведения о процессе фильтрования. Виды фильтров.
26. Оросители, форсунки, назначение и их виды.
27. Основные понятия об источниках загрязнения атмосферного воздуха.
28. Оценка эффективности систем пыле-газоочистки. Степень (эффективность) очистки газов. Коэффициент проскока. Фракционная степень (коэффициент) очистки. Парциальная степень (коэффициент) очистки.
29. Полые скрубберы. Принцип работы.
30. Полые форсуночные скрубберы. Принцип работы. Устройство.
31. Принцип работы насадочного скруббера. Скрубберы с подвижной насадкой.
32. Принцип работы скруббера Вентури. Схема.
33. Пылеосадительные камеры. Принцип работы. Применение. Схема.

- 34.Пылеуловители ротационного действия. Принцип работы. Схема.
- 35.Ротационные пылеуловители. Принцип работы. Схема.
- 36.Сущность метода термической очистки вентвыбросов.
- 37.Тарельчатые скрубберы. Принцип работы.
- 38.Тканевые фильтры. Классификация тканевых фильтров.
- 39.Центробежные пылеуловители. Принцип работы. Схема. Примеры.
- 40.Адсорбционный метод очистки выбросов. Сущность процесса.
- 41.Абсорбционный метод очистки выбросов.

IV ВСПОМАГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

Учебная программа дисциплины «Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение» для студентов специальности 1-70 04 02 – «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

_____ А.М.Омельянюк
« » _____ 2020 г.

Регистрационный № УД- _____ /уч.

«ОЧИСТКА ВЕНТВЫБРОСОВ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине
для специальности:

1-70 04 02 Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна

2020 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта (образовательных стандартов) ОСРБ 1- 70 04 02-2013, утв. постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 88 от 30.08.2013, и учебных планов специальностей, направлений специальностей, специализаций.

СОСТАВИТЕЛИ:

Сопин Ю.Ю., старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Новик Ю.Н., главный эксперт отдела экспертизы инженерного обеспечения управления экспертизы проектно-сметной документации дочернего республиканского унитарного предприятия «Госстройэкспертиза по Брестской области»
Яловая Н.П., проректор по воспитательной работе, кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции
Заведующий кафедрой *подпись* В.Г.Новосельцев
(протокол № _____ от _____ 20 ____);

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии
Председатель методической комиссии *подпись* О.П.Мешик
(протокол № _____ от _____ 20 ____);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № _____ от _____ 20 ____)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины.

Дисциплина «Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение» является одной из профильных дисциплин специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна». Изучение дисциплины способствует всесторонней подготовке специалистов согласно квалификационной характеристике в области очистки вентвыбросов и ресурсосбережения.

Цель преподавания учебной дисциплины:

Изучение основных мероприятий при обслуживании, эксплуатации, текущем и капитальном ремонте систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

Задачи учебной дисциплины:

Изучение методов расчета качественного и количественного состава выбросов от промышленных объектов в атмосферу; определение уровня загрязнения атмосферного воздуха газовыми выбросами; анализ риска технологий на взрывоопасность; методов создания экологически чистых производств.

В результате изучения учебной дисциплины формируются следующие **компетенции:**

- АК-1. Уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач.
- АК-2. Владеть системным и сравнительным анализом.
- АК-6. Владеть междисциплинарным подходом при решении проблем.
- СКЛ-4. Владеть навыками здоровьесбережения.
- ПК-3. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей, вести переговоры с другими заинтересованными участниками.
- ПК-8. Анализировать перспективы и направления развития систем тепло-снабжения, газоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна.
- ПК-9. Выбирать оптимальный критерий развития систем теплогазоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна и осуществлять их оптимизацию.
- ПК-13. Рассчитывать и анализировать режимы работы систем тепло-снабжения, газоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, охраны воздушного бассейна и намечать пути их оптимизации.
- ПК-14. Анализировать технологичность применяемых конструкций в соответствии с техническими возможностями предприятия.
- ПК-20. Рассчитывать потери теплоты, намечать организационные и технические пути снижения потерь теплоты в системах теплоснабжения, газоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха.
- ПК-21. Проводить различные инженерные мероприятия по охране воздушного бассейна.

- ПК-30. При строительстве и эксплуатации систем теплогазоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха соблюдать требования охраны окружающей среды.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: инженерные методы расчета выделения вредностей в атмосферу от технологического оборудования; анализ риска техногенных катастроф и методы их предотвращения применительно к газовым выбросам; методы создания экологически чистых производств и оценки ущерба от загрязнения окружающего воздуха.

уметь: расчетным путем определить влияние проектируемого или действующего объекта на окружающую среду, включая категорию опасности предприятия, выбор санитарно-защитной зоны, предельно-допустимого выброса и прочих установленных нормами показателей; оценить экологическую безопасность промышленного объекта по риску техногенных катастроф; рассчитать экономический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха газовыми выбросами и экономический эффект от природоохранных мероприятий; определить методы выбора и расчета систем очистки выбросов от пылей, паров, газов, неприятных запахов и микроорганизмов; разработать и рассчитать ресурсо- и энергосбережение в системах очистки и утилизации вредностей с превращением их в полезный продукт.

владеть методами расчета экологического ущерба от загрязнения атмосферного воздуха, расчета экономического эффекта от очистки вентвыбросов, методиками ресурсосбережения.

Связи с другими учебными дисциплинами

Перечень дисциплин, необходимых для изучения дисциплины «Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение»: механика жидкости и газа, промышленная экология, вентиляция, основы энергосбережения, кондиционирование воздуха и холодоснабжение.

План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70-04-02	ТГВиОВБ	5	9	90	2,5	48	32		16		экзамен	

План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования

Код специальности (направления)	Наименование специальности (направления)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		

специальности)	специальности)					Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70-04-02	ТГВиОВБ	5	9	90	2,5	18	10		8			экзамен

План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70-04-02	ТГВиОВБ	4	7	90	2,5	32	4		6			экзамен

1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

Введение. Санитарно-гигиенические требования к атмосферному воздуху и газовым выбросам. Роль специалистов по теплогазоснабжению и вентиляции в защите воздушного бассейна от загрязнений вредными веществами и ресурсосбережении. Цели и задача дисциплины «Очистка вентиляционных выбросов и ресурсосбережение».

Очистка вентиляционных выбросов от паров и газов. Адсорбционный метод очистки выбросов. Сущность процесса. Промышленные адсорбенты. Способы десорбции. Регенерация адсорбентов. Конструктивные особенности адсорбционных установок.

Абсорбционный метод очистки выбросов. Промышленные абсорбенты. Конструктивные особенности абсорбционных установок. Способы регенерации абсорбентов.

Метод термической очистки вентиляционных выбросов. Сущность процесса дожигания горючих вредностей. Конструкции устройств термической очистки. Методика подбора устройства термической очистки.

Метод каталитической очистки вентиляционных выбросов. Сущность процесса. Катализаторы, выпускаемые промышленностью. Конструктивные особенности аппаратов каталитической очистки. Методика подбора очистных аппаратов.

Очистка газовых выбросов методом конденсации.

Очистка вентиляционных выбросов от сернистых соединений: сернистого ангидрида, сероводорода, сероуглерода. Характеристика вентиляционных выбросов гальванических производств и методы их обезвреживания. Очистка выбросов от соединений ртути, свинца, циана, хрома.

Очистка вентиляционных выбросов от пылей. Физические свойства пыли. Определение пыли и дыма. Виды пыли. Величина и форма пыли. Плотность пыли. Движение пыли. Конденсация водяного пара на частицах пыли. Оптические и электрические свойства частиц пыли. Взрываемость пыли. Коагуляция пыли. Классификация пыли по их дисперсности. Взаимодействие пылевых частиц с воздушным потоком.

Современные представления о механизме отделения пыли от воздушных потоков. Условия удержания пылевых частиц на поверхности. Осаждение пылевых частиц на сухих поверхностях. Пылеулавливание в пористых слоях.

Воздушные фильтры для очистки атмосферного и рециркуляционного воздуха. Классификация воздушных фильтров. Масляные, волокнистые, губчатые, матерчатые, бумажные и электрические воздушные фильтры. Общие сведения и конструкция их. Методы подбора и расчетов воздушных фильтров.

Сухие пылеулавливатели для очистки воздушных выбросов. Общие положения по обеспыливанию газов. Классификация пылеуловителей. Гравитационные пылеуловители (пылеосадочные камеры). Инерционные и центробежные пылеулавливатели. Аэродинамика и эффективность циклонных пылеулавливателей. Конструкция циклонов. Жалюзийные пылеулавливатели сухого типа. Противоточные инерционные пылеуловители. Вентиляционные пылеуловители. Методы подбора и расчетов сухих пылеуловителей.

Мокрые пылеуловители для очистки воздушных выбросов. Основы теории мокрой очистки. Осаждение пылевых частиц на поверхности жидкости. Способы орошения и дробления жидкости в мокрых пылеуловителях. Конструкции очистных аппаратов. Инерционные контактные пылеуловители мокрого типа. Методы подбора и расчетов мокрых пылеуловителей.

Очистка воздуха от микроорганизмов и неприятных запахов. Источники выделения и характеристики газовых выбросов с неприятным запахом. Газовые выбросы животноводческих комплексов, птицефабрик, овощехранилищ, предприятий пищевой промышленности. Методы очистки и дезодорации вентиляционных выбросов на основе хлора, озона, ультрафиолетового облучения. Биологическая очистка выбросов.

Ресурсосбережение при разработке систем очистки газовых выбросов. Инженерные основы создания энерго- и ресурсосберегающих производств. Энергетический потенциал газовых выбросов. Химическая и физическая теплота.

Использование очищенных газовых выбросов на технологические нужды взамен атмосферного воздуха. Замкнутые системы аспирации и пневмотранспорта.

Использование газовых выбросов для сжигания технологического топлива. Применение очистных устройств в теплоиспользующем оборудовании взамен топок, паровых и электрических калориферов.

Рациональное использование сырья, материалов и энергоресурсов при разработке и эксплуатации систем очистки и утилизации газовых выбросов

Основы техники безопасности, пожаро- и взрывоопасности при очистке газовых выбросов и утилизации уловленных веществ. Пределы взрываемости пылей и газов в смеси с воздухом. Инженерные методы обеспечения взрывобезопасности оборудования при очистке вентиляционных выбросов. Отложения горючих компонентов в системах вентиляции и методы борьбы с ними. Самовозгорание отложений в системах вентиляции. Огнепреградители и их применение в системах очистки газовых выбросов.

Анализ риска производства при применении систем очистки и утилизации газовых выбросов. Мероприятия, направленные на снижение риска. Стадии управления и действий в чрезвычайных ситуациях.

Факторы эффективности применения различных систем очистки газовых выбросов и утилизации уловленных продуктов. Технико-экономические показатели при выборе метода очистки вентиляционных выбросов. Экономический эффект от природоохранных мероприятий по охране атмосферного воздуха. Сравнительный анализ санитарно-гигиенических и экономических показателей различных способов очистки выбросов. Комбинирование методов обезвреживания в системах очистки выбросов. Примеры практических решений обезвреживания вентиляционных выбросов.

1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

- Изучение конструкций аппаратов для очистки от газообразных и парообразных загрязнений.
- Изучение конструкций аппаратов для очистки выбросов от оксидов углерода, азота, серы
 - Подбор и расчет сухих пылеуловителей.
 - Подбор и расчет мокрых пылеуловителей.
 - Подбор и расчет воздушных фильтров.
 - Изучение конструкций аппаратов обеспыливания газов.
 - Расчеты выбросов в атмосферу при вентиляции промышленных зданий
- Расчёт рассеивания выбросов промышленных предприятий в атмосферном воздухе
 - Приборы для физического анализа дымовых газов.
 - Примеры практических решений обезвреживания вентиляционных выбросов.

2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для дневной формы получения образования

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	8	9
1	Санитарно-гигиенические требования к атмосферному воздуху и газовым выбросам.	2				2	Экзамен
2	Очистка вентиляционных выбросов от паров и газов.	6	4			6	Экзамен
3	Очистка вентиляционных выбросов от пылей.	8	4			8	Экзамен
4	Очистка воздуха от микроорганизмов и неприятных запахов.	6	2			8	Экзамен
5	Ресурсосбережение при разработке систем очистки газовых выбросов.	6	2			6	Экзамен
6	Основы техники безопасности, пожаро- и взрывоопасности при очистке газовых выбросов и утилизации уловленных веществ.	2	2			6	Экзамен
7	Факторы эффективности применения различных систем очистки газовых выбросов и утилизации уловленных продуктов.	2	2			6	Экзамен
	Всего	32	16			42	

2.2 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения образования

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	8	9
1	Санитарно-гигиенические требования к атмосферному воздуху и газовым выбросам.	1				7	Экзамен

2	Очистка вентиляционных выбросов от паров и газов. Очистка вентиляционных выбросов от пылей. Очистка воздуха от микроорганизмов и неприятных запахов.	3	2			30	Экзамен
3	Ресурсосбережение при разработке систем очистки газовых выбросов.	2	2			10	Экзамен
4	Основы техники безопасности, пожаро- и взрывоопасности при очистке газовых выбросов и утилизации уловленных веществ.	2	2			15	Экзамен
5	Факторы эффективности применения различных систем очистки газовых выбросов и утилизации уловленных продуктов.	2	2			10	Экзамен
Всего		10	8			72	

2.3 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для заочной формы получения образования, интегрированного со средним специальным образованием

Номер раздела	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия		
1	2	3	4	5	6	8	9
1	Санитарно-гигиенические требования к атмосферному воздуху и газовым выбросам.	1				5	Экзамен
2	Очистка вентиляционных выбросов от паров и газов. Очистка вентиляционных выбросов от пылей. Очистка воздуха от микроорганизмов и неприятных запахов.	1	2			30	Экзамен
3	Ресурсосбережение при разработке систем очистки газовых выбросов. Основы техники безопасности, пожаро- и взрывоопасности при очистке газовых выбросов и утилизации уловленных веществ.	1	2			25	Экзамен
4	Факторы эффективности применения различных систем очистки газовых выбросов и утилизации уловленных продуктов.	1	2			20	Экзамен
Всего		4	6			80	

3. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3.1. Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.)

1. Закон РБ «Об охране атмосферного воздуха» №2 от 21 ноября 2008г.
2. ТКП 17.13-05-2012 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Качество воздуха. Правила расчета фоновых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов, в которых отсутствуют стационарные наблюдения. – Минск, 2012.
3. СН 4.02.03-2019. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск, 2020.
4. ГОСТ 17.2.3.01 – 86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов / Межгосударственный стандарт. М.: Стандартиформ, 2005.
5. Ветошкин А.Г. Инженерная защита окружающей среды от вредных выбросов: учебное пособие. – Москва; Вологда: «Инфра-Инженерия», 2017. – 414 с.: ил., табл., схемы.
6. Луканин А. В. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки газовоздушных выбросов: учебное пособие. – Москва: Инфра-М, 2017. – 521с.: ил., табл.
7. Марцуль В. Н. Защита атмосферы от промышленных выбросов: учебно-методическое пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-57 01 01 "Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов". – Минск: БГТУ, 2016. – 257 с.: ил., табл.
8. Самсонов В. Т. Обеспыливание воздуха в промышленности: методы и средства: монография. – Москва: Инфра-М, 2018. – 232 с.
9. А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер / Технологические процессы экологической безопасности. (Основы энвайроменталистики). – Калуга, Издательство Н. Бочкаревой 2000. – 800 с.
10. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов. / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьев. – М.: Химия: КолосС, 2007. – 387 с.
11. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Защита атмосферы. / А.Ю. Вальдберг, Н.Е. Николайкина. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

Дополнительная

1. Гигиенические нормативы 1.1.9-23-2002 «Гигиенические критерии для обоснования необходимости разработки ПДК И ОБУВ (ОДУ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны, атмосферном воздухе населенных мест, воде водных объектов» от 31 декабря 2002г. № 149.

2. Буторина М.В. и др. Инженерная экология и экологический менеджмент. – М.: «Логос», 2003.
3. Челноков А.А., Ющенко Л.Ф. Основы промышленной экологии. – Минск.: «Высшая школа», 2001.
4. Гарин В.М., Кленова И.А., Колесников В.И. Экология для технических вузов. – Феникс, Ростов-на-Дону, 2001.
5. Гарин В.М., Кленова И.А., Колесников В.И. Промышленная Экология: Учебное пособие. – М.: Маршрут, 2005.
6. Инструкция о порядке инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух №42 от 23.06.2009.

3.2. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине

Для поведения самостоятельной работы студентами используются литературные источники, приведенные в п.3.1.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Механика жидкости и газа	Природо-обустройства		
2. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение	Теплогазоснабжения и вентиляции		
3. Вентиляция	Теплогазоснабжения и вентиляции		
4. Промышленная экология	Инженерной химии и экологии		
5. Основы энергосбережения	Теплогазоснабжения и вентиляции		

Содержание учебной программы согласовано с выпускающей кафедрой

Заведующий выпускающей кафедрой,
кандидат технических наук, доцент
В.Г.Новосельцев