

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И  
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)  
Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга  
(РЭТЭМ)

Е.Г. Незнамова

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине  
«Основы коррекции экологических ситуаций в трех средах»

Томск 2012

## Лабораторная работа №1. Исследование качества визуальной среды в отдельном микрорайоне г. Томска

**Цель работы:** создание проекта по повышению качества визуальной среды в одном из микрорайонов г. Томска

### Краткая теоретическая часть

Приблизительно 50% населения Томской области проживает в условиях урбанизированной среды. Известно, что однообразие и повторяемость структурных элементов среды, окружающих человека, отрицательно воздействует на его психическое, а следовательно, соматическое состояние. Именно таким свойствам обладает городская среда, особенно так называемые спальные районы, застроенные многоэтажными однотипными домами. К таким районам относятся большей частью, не окраинные, но отдаленные от центра микрорайоны Томска.

Агрессивность визуальной среды повышает наличие уличного мусора – окурков, пластиковых пакетов, упаковочных материалов, разбросанных беспорядочным образом. В результате комплексного воздействия этих и других факторов городской среды (например, высокая плотность застройки микрорайона) жители данной территории испытывают определенный стресс, воздействие которого способно повлиять на их поведение или здоровье.

**Ход работы:** Студенты объединяются в рабочие группы (до 5 человек), составляют план работы, (он может быть сделан в форме заявки на проект) и выполняют следующее задание в соответствии с планом:

### Задание:

1. Обследовать территорию одного из мкр. г. Томска в зависимости от поставленных задач
2. Провести обработку собранного материала
3. Проанализировать полученные результаты
4. Предложить меры по улучшению сложившейся ситуации
5. Оформить работу
6. Защитить работу

План составления заявки должен включать следующие разделы:

Заявка на проект

**«Повышение качества визуальной среды в отдельном микрорайоне г. Томска»**

### 1. Рабочая группа:

ФИО исполнителей.

### 2. Формулировка проблемы и ее актуальность

### 3. Цели и задачи проекта

### 4. Необходимые ресурсы, и источники финансирования

### 5. Возможные источники финансирования

**6. Бюджет проекта** (с указанием необходимого оборудования – с предоставлением обоснования его необходимости, его стоимости, количества, общей оценки стоимости проекта)

**7. Рабочий план реализации проекта** (мероприятия по реализации проекта, их краткая характеристика, время проведения, ответственные исполнители)

Оформление проекта проводится в соответствии с планом работы. Включает в себя титульный лист, рабочие материалы (результаты подсчетов и наблюдений).

Отчет по проекту предусматривает:

1. Титульный лист
2. Оценка уровня решения поставленной цели и задач
3. Описание проведенных в рамках проекта мероприятий. Степень участия в них каждого члена проектной группы
4. Оценка полноты реализации замыслов и анализ причин неудачных моментов в разработке проекта

## Лабораторная работа №2. Планирование рекреационной зоны в пригородной зоне г. Томска

**Цель работы:** приобретение навыка по рационализации рекреационного использования природной и полуприродной среды

### Краткая теоретическая часть

Пригородные зеленые зоны городов представляют огромную ценность для жителей урбанизированных территорий. С одной стороны, это поставщики кислорода, регуляторы микроклимата, с другой – это места отдыха горожан. Как правило, на места, обладающие высокой степенью доступности, приходится мощный пресс рекреационной нагрузки. Важно уметь дать объективную оценку состояния рекреационно – нагруженной экосистемы, сделать рекомендации по рационализации ее эксплуатации.

**Задание:** Работа выполняется группой студентов по 3-5 человек. Необходимо посетить одну из зеленых зон города или пригородной зоны, по предложенной схеме выполнить описание фитоценоза, дать оценку его экологического состояния, предложить рекомендации по снижению пресса рекреационной нагрузки.

### Схема описания:

1. Древесный ярус - породный состав, примерная высота деревьев, равномерность распределения, сомкнутость крон, (%). Наличие или отсутствие подроста – молодых деревьев. Отметить породный состав подроста. Отметить наличие пней, рассмотреть – спилены они или возникли естественным путем. Определить захламленность валежником.

2. Кустарниковый ярус. Наличие – отсутствие. Высота, породный состав, равномерность распределения, сомкнутость крон, (%), равномерность распределения, средняя плотность по территории.

3 Травяной ярус. Густота травостоя, проективное покрытие, (от 0 до 100%), наличие незаросших мест – приуроченность каких-либо объектов к этим местам, например, тропиной сети. Высота травостоя (от... до... см). Ярусность, если имеется. Видовой состав.

4 Подстилочный слой. Толщина, состав – наличие или отсутствие полуразложившейся растительности – листьев, сучьев, веток, хвои.

5. Рассмотрите особенности антропогенного воздействия :

Отметьте общее состояние растений – запыленность, болезненность, наличие повреждений ( паразитов, наростов, обломанных ветвей). Рассмотрите фитоценоз согласно градации, предложенной в таблице 2.

Наличие вытопанных или иначе используемых пространств, особенности

тропиночной сети. Состояние растительности на этих пространствах (густота, изменение видового состава, внешнего вида растений по сравнению с соседними или известными вам нормальными экземплярами). Наличие посторонних предметов – мусора и др. Наличие объектов планового рекреационного обустройства – бетонных дорожек, автостоянок, лавочек, торговых и развлекательных учреждений)

6. Оцените посещаемость данной территории людьми.

Согласно предложенной градации оцените степень рекреационной ценности экосистемы.

Предложите возможный вариант рекреационного использования данного участка.

### Оформление отчета

Титульный лист

Физико-географический обзор территории

Описание растительного покрова осуществляется по предлагаемой выше схеме. По каждому пункту сделать вывод (выводы).

Особо можно выделить раздел «Антропогенное воздействие», в котором отмечается значимость этого участка для местного населения.

Оцените посещаемость данной территории людьми.

Отметьте тропиночную сеть, наличие стихийно протоптанных дорожек. По какой причине, как Вам кажется, они появились? Если вы отметили объекты планового рекреационного обустройства – укажите их на карте-схеме, опишите те изменения, которые вы заметили в сообществе в связи с их функционированием. Насколько рационально с точки зрения баланса интересов местного населения и экологии решена проблема этого обустройства?

5. Сделайте выводы, касающиеся состояния растительности изучаемой территории (таблица 2), рациональности использования этой зоны обществом, внесите свои предложения по улучшению экологической ситуации, проблеме разумной эксплуатации изученной вами территории.

Таблица 1 - Оценка рекреационной ценности территории

Факторы оценки	Баллы		
	10	5	1
Состав и форма древостоя	Богатое разнообразие пород, чередование типов леса, многоярусность, вековые деревья	Некоторое разнообразие пород, два яруса, разновозрастность.	Однообразный древостой, отсутствие крупных деревьев, один ярус.

Продолжение таблицы 1

Преобладающая порода	Сосна, дуб, привлекательные экзоты	Ель, береза, бук	Осина, ольха, кустарники
Поляны и опушки	Живописные поляны и опушки с богатым травяным покровом	Наличие полян и опушки	Отсутствие полян, удаленность от опушки
Воды	Большие водные пространства рек, озер, моря для спорта и купания	Небольшие реки и водоемы, пригодные для купания	Отсутствие рек и водоемов

Рельеф	Горы ровными урочищами, равнина с горными элементами, живописный пересеченный рельеф	Слабо пересеченный рельеф, горные склоны без ровных площадок	Плоская однообразная равнина
Проходимость	Сочетание спроектированной дорожно-тропиночной сети с условно девственными урочищами	Наличие дорожно-тропиночной сети	Труднопроходимые территории болот и кустарников без дорожной сети
Близость к городу, дому отдыха и т.п.	Непосредственное примыкание	Удаление до 1 часа	Удаление более 1 часа
Благоустройство	Сочетание благоустроенных территорий с условно-девственными урочищами	Сравнительно благоустроенная территория	Отсутствие благоустройства, в том числе питьевой воды

Продолжение таблицы 1

Загрязнение	Полное отсутствие физического, химического и биологического загрязнения	Некоторое загрязнение, не нарушающее комфортности отдыха	Загрязнение, нарушающее комфортность отдыха
Дефицитность лесов	Лесистость менее 10%	Лесистость 10-60%	Лесистость более 60%

Таблица 2. - Характеристика стадий рекреационной деградации лесных экосистем

Стадии дигрессии	Характеристика нарушения структуры биоценоза
<b>1 стадия</b>	Деятельность человека не внесла в лесное сообщество сколько-нибудь заметных изменений. Растут типичные лесные растения в живом напочвенном покрове. Развита подрост сравнительно равномерно распределена подстилка.
<b>2 стадия</b>	В лесу появляется редкая сеть тропинок. Среди травянистых растений стали появляться светолюбивые виды. Начала разрушаться подстилка.

<p><b>3 стадия</b></p>	<p>Гуще становится тропиновая сеть. В травяном покрове появляются луговые травы (ромашка, мятлик, овсяница, тысячелистник). Появление на лесных полянках луговых трав говорит об уплотнении почвы в 3 – 4 раза. На участках, где нет тропинок, возобновление леса еще удовлетворительно (есть подрост).</p>
<p><b>4 стадия</b></p>	<p>Тропинки густо опутывают лес. В травяном покрове количество лесных растений незначительно. Лесные и даже луговые травы “прижимаются” к деревьям, а на открытых местах их заменяют самые жизнеспособные растения – подорожник, лапчатка, птичья гречишка. Это говорит об уплотнении почвы в 6 раз (уплотнение грунтовой дороги). Молодого подроста (до 6 – 7 лет) – практически нет. Подстилка встречается лишь у стволов деревьев.</p>
<p><b>5 стадия</b></p>	<p>Характерно полное отсутствие подроста. На плотно вытоптанной земле встречаются лишь отдельные экземпляры наиболее жизнестойких растений.</p>

### Лабораторная работа №3. Планирование рекультивационных мероприятий в зоне карьерных разработок

**Цель работы:** получение теоретического навыка рекультивации зон карьерных разработок.

#### Краткая теоретическая часть

Созданию архитектурно-ландшафтных комплексов уделяют в настоящее время много внимания в США, Англии, Франции, ФРГ. В искусственные озера, созданные в отработанных карьерах, запущены мальки карпа, линя, форели. Озера используют колонии птиц. Для уменьшения запыленности воздуха, предотвращения эрозии и с эстетическими целями большое внимание уделяется оформлению бортов отработанных карьеров. Выработаны оптимальные морфометрические параметры откосов в зависимости от функционального назначения участков береговой линии, высоты надводной части борта карьера, состава слагающих его пород и уровня воды в озере. На рисунках 1, 2 показаны **схемы оформления откосов** в ФРГ.

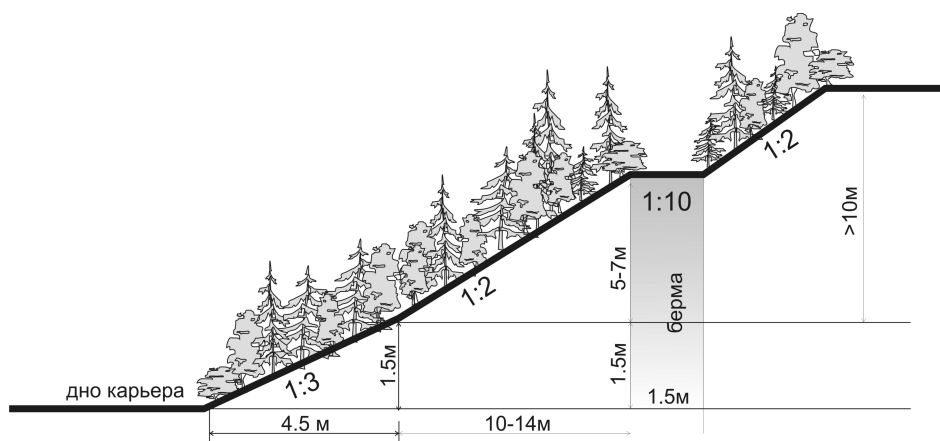
Если борт карьера сложен рыхлыми, мягкими горными породами (песчано-гравийные отложения, суглинки и т. д.), то по высоте он делится бермами на отдельные уступы. Ширина берм принимается не менее 1,5 м с обратным уклоном 1 : 10. Нижняя берма устраивается на высоте 1,5 м от зеркала воды, а вторая — на высоте 5—7 м. Заложение откосов уступов (кроме нижнего) принимают равным 1 : 2. Вдоль верхней бровки борта карьера сооружают нагорную канаву или вал, защищающий откос от поверхностного стока атмосферных вод и водной эрозии. Надводная часть нижнего уступа переходит в подводную и выполаживается с уклоном 1 : 4 при ширине по горизонтали не менее 10 м. Затем до глубины водоема, равной 2 м, подводная часть откоса имеет заложение 1 : 2, а далее— 1:1.

*Берма – горизонтальная площадка на откосе плотины, ж-д насыпи, канала, придающая откосу большую устойчивость и защищающая его от размыва атмосферными осадками.*

По профилю откоса выделяется несколько зон: нереста рыб, зарослей тростника (подводные части откоса), лесопосадки мягколиственных и твердолиственных пород, опушки которых засаживаются кустарником. При незначительной (до 3—5 м) высоте надводной части борта карьера откос оформляется аналогично описанной выше схеме, но зоны мягколиственных и твердолиственных лесных культур объединяются в одну, а вдоль верхней бровки карьера не сооружаются нагорные канавы или валы. Для сооружения пляжа (если береговая полоса водоема предназначена для купания) подводная часть откоса планируется с уклоном 1 : 10 до глубины водоема 1 м, затем до глубины 2 м откос имеет заложение 1 : 4 и далее — не круче 1 : 1. Надводная часть откоса в пляжной зоне на расстояние не менее 10 м по горизонтали также планируют с уклоном 1 : 10. Далее заложение откоса принимается 1 : 5, и откос в этой зоне залужается.

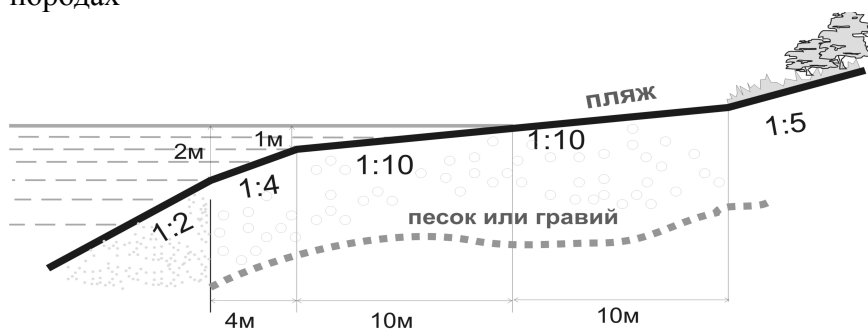
При использовании крупноплощадных карьеров с бортами, сложенными из рыхлых пород, для сельскохозяйственных или других целей на откосах также создаются сплошные лесопосадки. Схема оформления откоса аналогична описанным выше (рис. 5). Если борт карьера сложен скальными или полускальными породами, угол откоса отдельных уступов принимается значительно круче, но не более 60° (рис. 5).

Весь борт карьера делится бермами на уступы высотой до 12 м. Ширина берм (площадок) — не менее 2 м. Для озеленения на бермы насыпают слой почвы или горных пород (пригодных для биологической рекультивации), которыми засыпается и дно карьера, если он не предназначен для обводнения. Застройка отвалов производится после их усадки (спустя не менее 10 лет после отсыпки), в основном одно- или двухэтажными зданиями.



откос борта необводненного карьера при мягких горных породах

Рисунок 1. Рекультивация откоса борта необводненного карьера при мягких горных породах



пляжная зона при сооружении водоема  
в отработанном карьере

Рисунок 2. Рекультивация борта обводненного карьера

**Задание:**

1. Ознакомьтесь с теоретической частью
2. Опишите тип техногенно измененного ландшафта, согласно перечня, предложенного в лекционном материале. Какие пути по его рекультивации Вы можете предложить?
3. Рассмотрите предложенные схемы оформления, нарисуйте
4. Объясните смысл использованных элементов технологии. Предложите материалы, конкретизируйте виды растений, пригодные для использования в данном случае. Объясните целесообразность вашего выбора.
5. Оформите отчет

**Лабораторная работа №4. Определение органолептических свойств различных проб воды**

**Цель работы:** научиться оценивать воду по органолептическим признакам

**Краткая теоретическая часть**

Первичную оценку качества воды проводят, определяя ее органолептические характеристики. Определяются они с помощью органов зрения (мутность, цветность) и обоняния (запах). Неудовлетворительные органолептические характеристики свидетельствуют о загрязнении воды. Проба воды должна быть отобрана в чистую стеклянную или пластмассовую бутылку объемом не менее 0,5 л (в бутылки должно оставаться, после забора пробы, не более 10 мл воздуха). Пробы следует проанализировать в течение нескольких часов после отбора, либо хранить в холодильнике. Могут быть отобраны и проанализированы растаявшие пробы снега (льда) из разных мест, а также из водопроводного крана.

**Оборудование и материалы:** колбы для воды, протокол работы, вода взятая из различных источников, фильтр бытовой, фильтровальная бумага, песок, измельченный уголь.

**Задание 1. Определение запаха воды.**

1. Заполните колбу водой на треть объема и закройте пробкой.
2. Взболтайте содержимое колбы.
3. Откройте колбу и осторожно, неглубоко вдыхая воздух, сразу же определите характер и интенсивность запаха. Если запах сразу не ощущается или запах неотчетливый, испытание можно повторить, предварительно нагрев воду в колбе до температуры 60 °С (подержав колбу в горячей воде).

Интенсивность запаха определите по 5-балльной системе по таблице 1.

Характер запаха определите по таблице 2.

Таблица 1. Шкала интенсивности запаха

Интенсивность запаха	Характер проявления	Оценка в баллах
Нет	Запах не ощущается	0
Очень слабая	Запах сразу не ощущается, но едва заметен при нагревании	1

**Продолжение таблицы 1**

Слабая	Запах ощущается, если на это обратить внимание	2
--------	--	---



Заметная	Устойчивый запах	3
Отчетливая	Сильный запах, заставляет воздержаться от питья	4
Очень сильная	Сразу вызывает отрицательные эмоции, вода не пригодна для питья	5

Таблица 2. Классификация происхождения запаха

Запах «естественного»	Запах «искусственного»
Неотчетливый	Неотчетливый (отсутствует)
Землистый	Нефтепродуктов
Гнилостный	Хлорный
Торфяной	Уксусный
Травянистый	—
Другой (укажите, какой)	Другой (укажите, какой)

#### Задание 2. Определение цветности.

1. Заполните пробирку водой до высоты 10—12 см.
2. Определите цветность воды, рассматривая пробирку сверху на белом фоне при достаточном освещении (дневном, искусственном).

Подчеркните наиболее подходящий оттенок (слабо – желтоватый, светло-желтоватый, вода желтая, интенсивно- желтая, коричневая, красно-коричневая, другая (укажите, какая)).

#### Задание 3. Определение мутности.

1. Заполните пробирку водой до высоты 10—12 см.

Определите мутность воды, рассматривая пробирку сверху на темном фоне при достаточном боковом освещении. Подчеркните нужное (прозрачная, слабомутная, мутная, очень мутная).

#### Задание 4. Определение органолептических показателей профильтрованной воды

Профильтруйте воду через различные типы фильтров. По предложенной схеме проведите определение органолептических свойств воды. Сравните все полученные результаты.

#### **Оформление работы**

1. Титульный лист
2. Краткая теоретическая часть
3. Полученные результаты (таблицы, сравнительный анализ)
4. Сделайте выводы об экологическом состоянии источника, из которого была взята проба.
5. Сделайте выводы о сорбционной активности фильтрующего материала.

#### Лабораторная работа №5. Исследование запыленности воздуха

**Задание:** 1. Определите относительную запыленность воздуха. 2. Оцените качественный состав пыли. 3. Оцените экологическое состояние помещения.

**Материалы, реактивы, оборудование:** 1. Вода дистиллированная. 2. Растворы азотной и соляной кислот (10%). 3. Весы аналитические. 4. Лопатка для отбора образцов отложений пыли. 4. Микроскоп с объективом «x8» (восьмикратное увеличение), 5. Пипетка, покровные и предметные стекла для микроскопа.

**Ход работы к заданию 1.** На 3 предметных стекла нанесите по 1 капле воды, Установите их в местах, указанных преподавателем, на 15 мин. По истечении этого срока накройте капли с осевшими пылинками покровными стеклами, приготовив, таким образом микропрепараты.

Поместите микропрепарат на предметный столик микроскопа. Добейтесь увеличения, при котором в поле зрения помещается наибольшая часть капли. Сосчитайте количество пылинок в капле, зарисуйте и опишите их качественный состав (вид, структуру, взаимное расположение, особенности строения).

**Варианты выбора условий отбора проб пыли:** при открытой и закрытой форточке; в разных помещениях: в аудитории, в коридоре; за пределами помещения: на стройке, в парке, вблизи автомобильной или железной дороги; на разной высоте от пола: 20см, 1м, 1,5м.

**Ход работы к заданию 2.** Образец сухой пыли соберите из отложения лопаткой (с участка в 3-5 см) и поместите на предметное стекло. Приготовьте микропрепарат сухой пыли, накрыв образец покровным стеклом. Поместите микропрепарат на предметный столик микроскопа. Добейтесь увеличения, при котором в поле зрения помещается наибольшая часть образца.

Рассмотрите микропрепарат в микроскоп и опишите, из чего состоит пыль (вид, форма, размеры, взаимное расположение, цвет частиц).

Поднимите препаровальной иглой покровное стекло и нанесите на образец пыли каплю азотной или соляной кислоты. Сразу верните на место покровное стекло. Имея в виду, что соляная кислота растворяет частицы известняковых пород и водорастворимые соли, а азотная - и эти, и большинство других минеральных солей, рассмотрите препарат и сделайте вывод о произошедших изменениях.

Проанализируйте полученные результаты и сделайте выводы о качественном составе пыли, об относительной запыленности воздуха в разных точках объекта обследования. Оцените экологическое состояние помещения, пользуясь сведениями из приведенной ниже таблицы 1.

Таблица 1. Предельно допустимые концентрации для взвешенных веществ (пылей) различной природы

Тип вещества	ПДК (среднесуточная), мг/м <sup>3</sup>
<b>Пыль, не идентифицированная по составу</b>	0,015
<b>Неорганические вещества</b>	
Хлорид натрия	0,15
Фосфоцементная пыль	0,5

Продолжение таблицы 1.

Цемент	0,02
Сажа	0,05
Свинец и его соединения	0,0003
Угольная зола ТЭЦ (щелочная, мелкодисперсная)	0,02
<b>Органические вещества, препараты бытовой химии</b>	
Текстолит	0,04

Чистящее средство "Пемолюкс"	0,02
СМС типа "Кристалл" (по алкилсульфонату натрия) ннатриянатрия)	0,01
<b>Биогенные вещества</b>	
Белок пыли витаминно-белкового концентрата	0,001
Комбикорм	0,01
Хлопок	0,05
Углеродные волокнистые материалы	0,05

## Лабораторная работа №6. Расчет аппаратов мокрой очистки газов от пыли Расчет пенного пылеулавливателя

Удаление пыли в аппаратах мокрой очистки происходит благодаря смачиванию частичек пыли жидкостью. Процесс протекает тем эффективнее, чем больше поверхность контакта фаз между газом и жидкостью, что достигается, например, диспергированием жидкости на капли или газа – на множество пузырей, формирующих пену.

Среди аппаратов мокрой очистки газов широкое распространение получили пенные пылеулавливатели ЛТИ (рис. 1). Они бывают однополочные и двухполочные, с отводом воды через сливное устройство над решеткой и с полным протеканием воды через отверстия решетки (провальные). Аппараты со сливными устройствами позволяют работать при больших колебаниях нагрузки по газу и жидкости. Выбор числа полок зависит главным образом от запыленности газа.

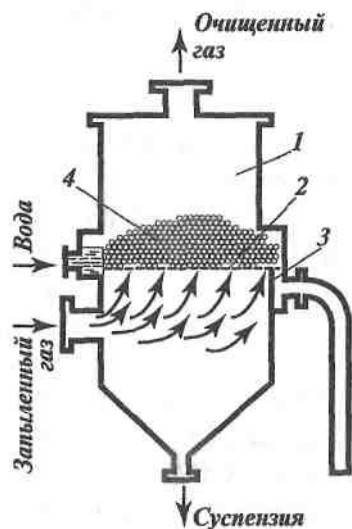


Рис. 1. Барботажный (пенный) пылеулавливатель: 1 – корпус; 2 – тарелка с перфорацией; 3 – переливной порог; 4 – слой пены на тарелке

### Порядок расчета пенного пылеулавливателя

#### 1. Выбор расчетной скорости газа.

Скорость газа в аппарате – один из важнейших факторов, определяющих эффективность работы аппарата. Допустимый диапазон фиктивных скоростей составляет 0,5 – 3,5 м/с. Но при скоростях больше 2 м/с начинается интенсивный унос брызг и требуется установка брызгоулавливателей. При скоростях меньше 1 м/с возможно сильное протекание жидкости через отверстия решетки, вследствие чего высота слоя пены снижается, а жидкость может не полностью покрывать поверхность решетки. Для обычных условий рекомендуется скорость  $w = 2$  м/с.

## 2. Определение площади сечения аппарата.

Площадь сечения  $S$  (в  $\text{м}^2$ ) равна

$$S = \frac{Q_H}{w}, \quad (5)$$

где  $Q_H$  – расход газа, поступающего в аппарат при рабочих условиях,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $w$  – скорость газа,  $\text{м}/\text{с}$ .

Газопромыватель может быть круглого или прямоугольного сечения. В первом случае обеспечивается более равномерное распределение газа, во втором – жидкости. При выборе аппарата прямоугольного сечения длину и ширину решетки находят с помощью данных по основным размерам аппаратов.

## 3. Определение расхода поступающей воды.

Для холодных и сильно запыленных газов расход определяется из материального баланса пылеулавливания, для горячих газов — из теплового баланса. В сомнительных случаях выполняют оба расчета и выбирают наибольшее из полученных значений расхода. (Газ считают холодным, если его температура меньше  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .)

Расход поступающей воды  $L$  ( $\text{кг}/\text{с}$ ) рассчитывают исходя из материального баланса пылеулавливания:

$$L = L_y + L_{\text{сл}}, \quad (6)$$

где  $L_y$  – расход воды, стекающей через отверстия в решетке (утечка),  $\text{кг}/\text{с}$ ;  $L_{\text{сл}}$  – расход воды, стекающей через сливной порог,  $\text{кг}/\text{с}$ .

Величина  $L_y$  определяется массовым расходом уловленной пыли  $G_{\text{п}}$  ( $\text{кг}/\text{с}$ ); концентрацией пыли в утечке  $x_y$  ( $\text{кг}$  пыли/ $\text{кг}$  воды); коэффициентом распределения пыли между утечкой и сливной водой  $K_p$ , выраженным отношением расхода пыли, попадающей в утечку, к общему расходу пыли:

$$L_y = G_{\text{п}} \cdot \frac{K_p}{x_y}, \quad (7)$$

Расход уловленной пыли ( $\text{кг}/\text{с}$ ) можно определить по соотношению

$$G_{\text{п}} = Q_H \cdot c_H \cdot \eta, \quad (8)$$

где  $c_H$  – начальная концентрация пыли в газе,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\eta$  – заданная степень пылеулавливания, доли единицы.

Коэффициент распределения  $K_p$  находится в диапазоне  $0,6 - 0,8$ ; в расчетах обычно принимают  $K_p = 0,7$ .

Концентрация пыли в утечке изменяется от  $x_y = 0,2$  (для не склонных к слипанию минеральных пылей) до  $x_y = 0,05$  (для концентрированных пылей).

Так как в утечку попадает больше пыли, чем в воду, стекающую через сливной порог, то для уменьшения общего расхода воды целесообразно уменьшать величину  $L_{\text{сл}}$ . Однако слишком сильная утечка создает неравномерность высоты слоя воды на решетке. Поэтому в расчетах рекомендуется принимать  $L_{\text{сл}} = L_y$ . Исходя из этого выражение (6) приводится к виду:

$$L = 2G_{\text{п}} \cdot \frac{K_p}{x_y}. \quad (9)$$

## 4. Определение типа решетки.

На этом этапе выбирают тип перфорации (круглые отверстия или щели), диаметр отверстия  $d_0$  или ширину щели  $b_{\text{ш}}$  и шаг между ними  $t$ . Форму отверстий выбирают исходя из конструктивных соображений, а их размер – исходя из вероятности забивки пылью. Обычно принимают  $b_{\text{ш}} = 2 - 4$  мм,  $d_0 = 2 - 6$  мм. Затем выбирают такую скорость газа в отверстиях  $w_0$ , которая обеспечит необходимую величину утечки.

При диаметре отверстий  $d_0 = 2 - 3$  мм скорость газа должна составлять  $6 - 8$  м/с, а при  $d_0 = 4 - 6$  мм  $w_0 = 10 - 13$  м/с.

Далее рассчитывают долю свободного сечения решетки  $S_0$ , отвечающей выбранной скорости:

$$S_0 = \frac{w}{w_0 \cdot \varphi}, \quad (10)$$

где  $\varphi$  – отношение перфорированной площади решетки к площади сечения аппарата ( $\varphi = 0,9 - 0,95$ ).

Исходя из величины  $S_0$  определяют шаг  $t$  (в м) между отверстиями в зависимости от способа разбивки отверстий на решетке. При разбивке по равнобедренному треугольнику

$$t = d_0 \sqrt{\frac{L}{S_0}}. \quad (11)$$

Толщину решетки  $\delta$  выбирают по конструктивным соображениям. Минимальному гидравлическому сопротивлению соответствует  $\delta = 5$  мм.

#### 5. Определение высоты слоя пены и сливного порога.

Высоту порога на сливе с решетки устанавливают исходя из создания слоя пены такой высоты, которая обеспечила бы необходимую степень очистки газа.

Первоначально определяют коэффициент пылеулавливания  $K_{II}$  (в м/с):

$$K_{II} = \frac{2\eta w}{2 - \eta}, \quad (12)$$

где  $\eta$  – заданная степень очистки газа от пыли.

Связь между  $K_{II}$  и высотой слоя пены  $H$  (в м) при улавливании водой гидрофильной пены выражается эмпирическим уравнением

$$H = K_{II} - 1,95w + 0,09, \quad (13)$$

где величины  $K_{II}$  и  $w$  имеют размерность м/с. Далее определяют высоту исходного слоя воды на решетке  $h_0$  (в м):

$$h_0 = 1,43 \cdot H^{1,67} w^{-0,83}. \quad (14)$$

Высоту порога  $h_{II}$  рассчитывают по эмпирической формуле

$$h_{II} = 2,5h_0 - 0,0176\sqrt[3]{i^2}, \quad (15)$$

где  $i$  – интенсивность потока на сливе с решетки (в кг/(м·с)), определяемая как

$$i = \frac{L_{сл}}{b_c}, \quad (16)$$

где  $b_c$  – ширина сливного отверстия. При прямоугольном сечении аппарата  $b_c$  равна ширине решетки.

#### Пример расчета пенного пылеулавливателя

Рассчитать пенный аппарат для очистки 48 000 м<sup>3</sup>/ч газа от гидрофильной, не склонной к слипанию пыли. Температура газа – 60 °С. Запыленность газа на входе в аппарат  $c_H = 0,008$  кг/м<sup>3</sup>. Требуемая степень очистки  $\eta = 0,99$ . Очистка производится водой.

#### Решение

Выбираем газоочиститель системы ЛТИ и принимаем рабочую скорость газа (на все сечение аппарата)  $w = 2$  м/с.

Рассчитываем по формуле (5) площадь сечения аппарата:

$$S = \frac{48000}{3600 \cdot 2} = 6,67 \text{ м}^2$$

Площадь сечения аппарата по каталогу ЛТИ:

$$S = 2,1 \cdot 3,48 = 7,3 \text{ м}^2.$$

Фактическая скорость газа:

$$w = \frac{48000}{3600 \cdot 7,3} = 1,82 \text{ м}^2.$$

Определяем по формуле (8) расход уловленной пыли:

$$G_{II} = \frac{48000 \cdot 0,008 \cdot 0,99}{3600} = 0,106 \text{ кг/с}.$$

Принимаем коэффициент распределения  $K_p = 0,7$  и концентрацию пыли в утечке  $x_y = 0,15$  кг пыли/кг воды. Тогда расход поступающей воды по формуле (9) составит

$$L = \frac{2 \cdot 0,106 \cdot 0,7}{0,15} = 0,989 \text{ кг/с.}$$

Выберем решетку с круглыми отверстиями диаметром  $d_0 = 4$  мм. Тогда скорость газа в отверстиях должна быть равна  $w_0 = 10$  м/с. По выражению (10) доля свободного сечения решетки  $S_0$  при  $\varphi = 0,95$  равна

$$S_0 = \frac{1,82}{(10 \cdot 0,95)} = 0,195.$$

Если принять, что отверстия располагаются по равностороннему треугольнику, то шаг между отверстиями в соответствии с формулой (11) составит

$$t = 0,004 \sqrt{\frac{0,91}{0,192}} = 0,0087 \text{ м.}$$

Толщину решетки  $\delta$  примем равной 5 мм.

Определим по уравнению (12) коэффициент скорости пылеулавливания:

$$K_{II} = \frac{2 \cdot 0,99 \cdot 1,82}{2 - 0,99} = 3,57 \text{ м/с.}$$

Тогда высота слоя пены на решетке в соответствии с уравнением (13) равна

$$H = 3,57 - 1,95 \cdot 1,82 + 0,99 = 0,11 \text{ м.}$$

Высоту исходного слоя воды на решетке рассчитываем по формуле (14):

$$h_0 = 1,43 \cdot 0,11^{1,67} \cdot 1,82^{-0,83} = 0,0218 \text{ м.}$$

Интенсивность потока на сливе с решетки найдем по соотношению (16):

$$i = \frac{1,989}{2 \cdot 3,48} = 0,142 \text{ кг/(м} \cdot \text{с).}$$

Высота сливного порога по формуле (15) будет равна

$$h_{II} = 2,5 \cdot 0,0218 - 0,0176 \sqrt[3]{0,142^2} = 0,05 \text{ м.}$$

## Лабораторная работа №7. Методики расчета аппаратов очистки сточных вод

### Расчет отстойника

Отстаивание применяют для разделения грубых суспензий, в частности для осаждения из сточных вод грубодисперсных примесей. Отстаивание происходит под действием сил тяжести. Для проведения процесса используют песколовки, отстойники и осветлители.

В промышленности широко применяют отстойники непрерывного действия с гребковой мешалкой (рис. 1).

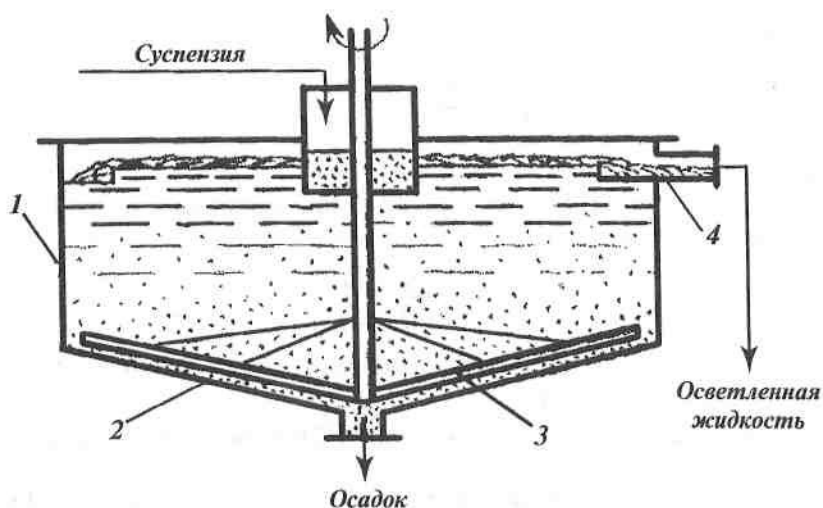


Рис. 1. Отстойник для суспензий: 1 – цилиндрический корпус; 2 – днище; 3 – гребковая мешалка; 4 – кольцевой желоб для сбора осветленной жидкости

При расчете отстойников основной расчетной величиной является поверхность осаждения  $F$  (в  $m^2$ ), которую находят по формуле

$$F = K_3 \frac{G_{см}}{\rho_{осв} \cdot w_{ст}} \cdot \frac{x_{ос} - x_{см}}{x_{ос} - x_{осв}}, \quad (17)$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса поверхности, учитывающий неравномерность распределения исходной суспензии по всей площади осаждения, вихреобразование и другие факторы, проявляющиеся в производственных условиях (обычно  $K_3 = 1,3 - 1,35$ );  $G_{см}$  – массовый расход исходной суспензии, кг/с;  $\rho_{осв}$  – плотность осветленной жидкости,  $kg/m^3$ ;  $w_{ст}$  – скорость осаждения частиц суспензии, м/с;  $x_{см}$ ,  $x_{ос}$ ,  $x_{осв}$  – соответственно содержание твердых частиц в исходной смеси, осадке и осветленной жидкости, массовые доли.

Скорость осаждения частиц суспензии (скорость стесненного осаждения, м/с) можно рассчитать по формулам:

при  $\epsilon > 0,7$

$$w_{ст} = w_{ос} \cdot \epsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\epsilon)}, \quad (18)$$

при  $\epsilon \leq 0,7$

$$w_{ст} = \frac{w_{ос} \cdot 0,123\epsilon^3}{1 - \epsilon}, \quad (19)$$

где  $w_{ос}$  – скорость свободного осаждения частиц;  $\epsilon$  – объемная доля жидкости в суспензии. Величину  $\epsilon$  находят по соотношению

$$\epsilon = \frac{1 - x_{см}\rho_{см}}{\rho_T}, \quad (20)$$

где  $\rho_{см}$  и  $\rho_T$  – соответственно плотность суспензии и твердых частиц,  $kg/m^3$ .

Плотность суспензии можно определить по формуле

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{x_{см}}{\rho_T} + \frac{1 - x_{см}}{\rho_{ж}}}, \quad (21)$$

где  $\rho_{ж}$  – плотность чистой жидкости,  $kg/m^3$ .

Скорость свободного осаждения шарообразных частиц (в м/с) рассчитывают по формуле

$$w_{ос} = \frac{\mu_{ж} Re}{d_T \rho_{ж}}, \quad (22)$$

где  $\mu_{ж}$  – вязкость жидкости,  $Pa \cdot s$ ;  $d_T$  – диаметр частицы, м;  $Re$  – число Рейнольдса

при осаждении частицы.

Если частицы имеют не шарообразную форму, то в формулу (22) в качестве  $d_T$  следует подставить диаметр эквивалентного шара; кроме того, величину  $w_{oc}$  следует умножить на поправочный коэффициент  $\phi$ , называемый коэффициентом формы. Его значения определяют опытным путем. В частности, для округлых частиц  $\phi \approx 0,77$ , для угловатых – 0,66, для продолговатых – 0,58, для пластинчатых – 0,43.

Значение  $Re$  рассчитывают по формулам, зависящим от режима осаждения, что определяется с помощью критерия Архимеда:

$$Ar = \frac{d_T^3 \rho_{жс} g (\rho_T - \rho_{жс})}{\mu_{жс}}. \quad (23)$$

При  $Ar < 36$

$$Re = \frac{Ar}{18}; \quad (24)$$

при  $36 < Ar < 83\,000$

$$Re = 0,152 Ar^{0,714}; \quad (25)$$

при  $Ar > 83\,000$

$$Re = 1,74 \sqrt{Ar}. \quad (26)$$

#### Пример расчета отстойника

Рассчитать отстойник для сгущения водной суспензии по следующим данным: расход суспензии  $G_{см} = 9600$  кг/ч. Содержание твердых частиц: в суспензии  $x_{см} = 0,1$ , в осадке  $x_{ос} = 0,5$ , в осветленной жидкости  $x_{осв} = 10^{-4}$  кг/кг. Частицы суспензии имеют шарообразную форму. Минимальный размер удаляемых частиц  $d_T = 25$  мкм. Плотность частиц  $\rho_T = 2600$  кг/м<sup>3</sup>. Осаждение происходит при температуре 5 °С.

Решение

Определим значение критерия  $Ar$  по формуле (23):

$$Ar = \frac{(25 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1000 \cdot 9,81(2600 - 1000)}{(1,519 \cdot 10^{-3})^2} = 0,106.$$

Поскольку  $Ar < 36$ , рассчитываем  $Re$  по формуле (24):

$$Re = \frac{0,106}{18} = 0,00589.$$

Скорость свободного осаждения в соответствии с выражением (22) составит

$$w_{oc} = \frac{0,00589 \cdot 1,519 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 3,58 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Найдем плотность суспензии по формуле (21):

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{0,1}{2600} + \frac{0,9}{1000}} = 1066 \text{ кг/м}^3.$$

По формуле (20) определим значение  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = \frac{1 - 0,1 \cdot 1066}{2600} = 0,959.$$

Поскольку  $\varepsilon > 0,7$ , для расчета скорости стесненного осаждения применяем формулу (18):

$$w_{см} = 3,58 \cdot 10^{-4} \cdot 0,959^2 \cdot 10^{-1,82(1-0,959)} = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

По формуле (17) находим поверхность осаждения, принимая  $K_3 = 1,3$  и считая, что плотность осветленной жидкости равна плотности чистой воды:

$$F = 1,3 \frac{9600}{3600 \cdot 1000 \cdot 2,77 \cdot 10^{-4}} \frac{(0,5 - 0,1)}{0,5 - 0,0001} = 10,0 \text{ м}^2.$$



По приведенным данным выбираем отстойник диаметром 3,6 м, высотой 1,8 м, имеющий поверхность 10,2 м<sup>2</sup>.

### Лабораторная работа №8. Методики расчета аппаратов очистки газовых выбросов

Цель работы: ознакомиться с методикой расчета «Циклона»

#### Расчет циклона

Циклоны относят к сухим механическим пылеулавливателям, в которых пыль оседает под действием центробежных сил. Они получили широкое распространение. Выпускают циклоны цилиндрического и конического типов. Циклоны цилиндрического типа (рис. 2.1) предназначены для улавливания сухой пыли, золы и т. д. Наиболее эффективно они работают, когда размер частиц пыли превышает 20 мкм. Конические циклоны предназначены для очистки газовых и воздушных сред от сажистых частиц. Чем больше диаметр корпуса циклона, тем выше его производительность.

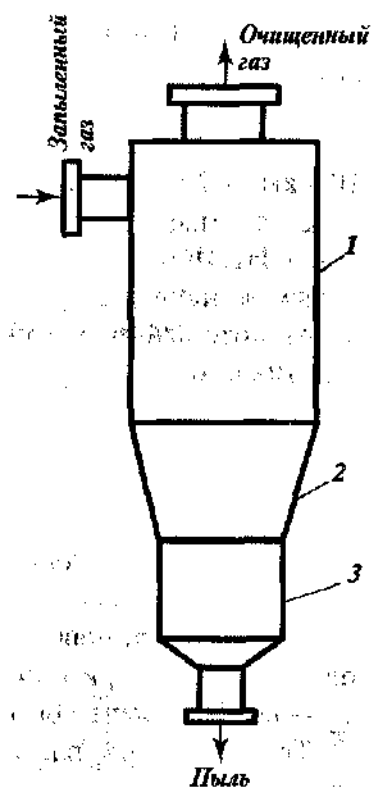


Рис. 1. Циклон: 1 – цилиндрический корпус; 2 – коническое днище; 3 – разгрузочный бункер

Степень очистки газа в циклоне тем больше, чем больше коэффициент разделения сред  $f$ :

$$f = \frac{w_r^2}{g_r},$$

где  $w_r$  – окружная скорость вращения частицы вместе с потоком на радиусе  $r$ , м/с;  $r$  – радиус вращения частицы, м.

Для циклонов значение  $f$  достигает ста и более единиц. Из выражения (1) видно, что  $f$  можно увеличить: а) уменьшением радиуса вращения газового потока; б) увеличением его скорости. При этом следует помнить, что увеличение скорости вызывает возрастание гидравлического сопротивления и турбулентности газового потока, которая ухудшает процесс осаждения, а уменьшение радиуса циклона ведет к снижению его

производительности. Поэтому при больших объемах запыленного газа вместо одного циклона большого диаметра применяют несколько циклонных элементов меньшего размера, объединенных в одном корпусе, – батарейные циклоны (мультициклоны).

Степень очистки газов от пыли в циклоне составляет: для частиц диаметром 5 мкм – 80 – 85%, диаметром 10 мкм – 70 – 90%, диаметром 20 мкм – 95 – 98%.

В промышленности наиболее распространены циклоны НИИОгаза, отличительной особенностью которых является наклонный патрубок прямоугольного сечения, через который вводится газ. Наиболее часто применяют циклоны с углом наклона входного патрубка 15° и 24° - соответственно ЦН-15 и ЦН-24. Гидравлическое сопротивление циклона можно определить по уравнению

$$\Delta p = \xi_{ц} \cdot w_{ист}^2 \cdot \frac{\rho_t}{2}, \quad (2)$$

где  $w_{ист}$  – истинная скорость газа в циклоне, м/с;  $\rho_t$  – плотность газа при соответствующей температуре, кг/м<sup>3</sup>;  $\xi_{ц}$  – коэффициент сопротивления циклона.

Теоретический расчет циклонов весьма сложен, поэтому на практике расчеты ведут по упрощенной методике. Порядок расчета может быть следующим:

1. Выбирают тип циклона с учетом размеров улавливаемых частиц.
2. Определяют диаметр циклона:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot w_{опт}}}, \quad (3)$$

где  $Q$  – расход очищаемого газа, м<sup>3</sup>/с;  $w_{опт}$  – оптимальная скорость газа в циклоне, м/с.

3. По рассчитанному значению  $D$  выбирают тип циклона в соответствии с принятым рядом внутренних диаметров (мм): 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 3000. Циклон выбирают с ближайшим к рассчитанному диаметром.

Определяют истинную скорость газа в циклоне:

$$w_{ист} = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2}. \quad (4)$$

4. Скорость газа в циклоне не должна отклоняться более чем на 15% от  $w_{опт}$ .

5. По уравнению (2) рассчитывают гидравлическое сопротивление циклона.

Из опыта установлено, что для рассматриваемого типа циклонов величина  $\Delta p/\rho_t$  имеет оптимальное значение 500-750 м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>.

При подборе циклона также часто используют следующую методику. Выбирают значение  $\Delta p/\rho_t$  из оптимального интервала и, зная  $\xi_{ц}$ , по соотношению  $\frac{\Delta p}{\rho_t} = \frac{\xi_{ц} \cdot w^2}{2}$  рассчитывают скорость газа в циклоне  $w$ .

Далее по уравнению расхода вычисляют диаметр циклона и подбирают по ГОСТу соответствующий аппарат. Затем определяют степень очистки газа от пыли по номограммам, составленным на основе опытных данных, в зависимости от фракционного состава пыли, ее плотности, начальной запыленности газа и ряда других факторов.

Если найденное значение степени очистки газа окажется недостаточным, следует сделать перерасчет, увеличить соотношение  $\Delta p/\rho_t$ , тем самым повысив скорость и уменьшив диаметр аппарата, выбрать другой тип циклона, с большим  $\xi_{ц}$ , а значит, более эффективный, или же установить несколько циклонов меньшего диаметра, работающих параллельно. В последнем случае  $w$  остается без изменений, и таким образом удастся повысить эффективность циклона без увеличения гидравлического сопротивления.

#### Пример расчета циклона

Подобрать циклон для очистки от пыли отходящего из распылительной сушилки воздуха, если его расход составляет  $Q = 2100$  м<sup>3</sup>/ч, температура – 100 °С, а наименьший размер частиц – 80 мкм.

Решение

Для улавливания частиц размером 80 мкм выбираем циклон типа ЦН-15.

Находим диаметр циклона по формуле (3):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2100}{3,14 \cdot 3,5 \cdot 3600}} = 0,46 \text{ м.}$$

Выбираем из ряда стандартных диаметров циклон Диаметр 500 мм.

Определяем истинную скорость воздуха в аппарате по формуле (4):

$$w_{ист} = \frac{4 \cdot 0,583}{3,14 \cdot 0,5^2} = 2,97 \text{ м/с.}$$

Примем соотношение  $\frac{\Delta p}{\rho_t} = 740$ .

Плотность воздуха определяем по формуле

$$\rho_t = \frac{M}{22,4} \frac{273}{T},$$

где М – молярная масса газа, кг/кмоль; Т – температура газа, К.

Для воздуха М = 29 кг/кмоль и  $\rho_t$  соответственно равна

$$\rho_t = \frac{29}{22,4} \frac{273}{373} = 0,95 \text{ кг/м}^3.$$

По формуле (2) гидравлическое сопротивление циклона равно

$$\Delta p = 160 \cdot 0,95 \cdot \frac{2,97^2}{2} = 670 \text{ Па.}$$

### Лабораторная работа №9. Расчет аппарата «скруббер Вентури»

Цель работы: ознакомиться с методикой расчета «скруббера Вентури»

#### Расчет скруббера Вентури

Из конструкций мокрых пылеулавливателей, выполненных на базе трубы-коагулятора Вентури, наиболее удачными считаются разработки институтов НИИОгаз и «Гипрогазочистка», в которых определены 10 типоразмеров скруббера Вентури с регулируемым сечением горловины. На рис. 2.3 представлен унифицированный аппарат этого типа.

Аппарат изготавливают в двух модификациях. Первая рассчитана на расход газа от 2 до 50 000 м<sup>3</sup>/ч, сечение горловины регулируют коническим обтекателем с углом раскрытия 7°. Во второй модификации для регулирования сечения устанавливают эллиптический (плоский) обтекатель. Скорость газа в горловине при этом может изменяться от 85 до 145 м/с.

Гидравлическое сопротивление аппарата за счет изменения скорости газа может колебаться в пределах от 40 до 120 гПа, удельное орошение – 0,5 – 3,5 л/м<sup>3</sup>. Область использования пылеулавливателей этого типа – обеспыливание газов с температурой до 400 °С, начальной концентрацией пыли до 30 г/м<sup>3</sup> и допустимым содержанием взвесей в оборотной воде 0,5 г/л.

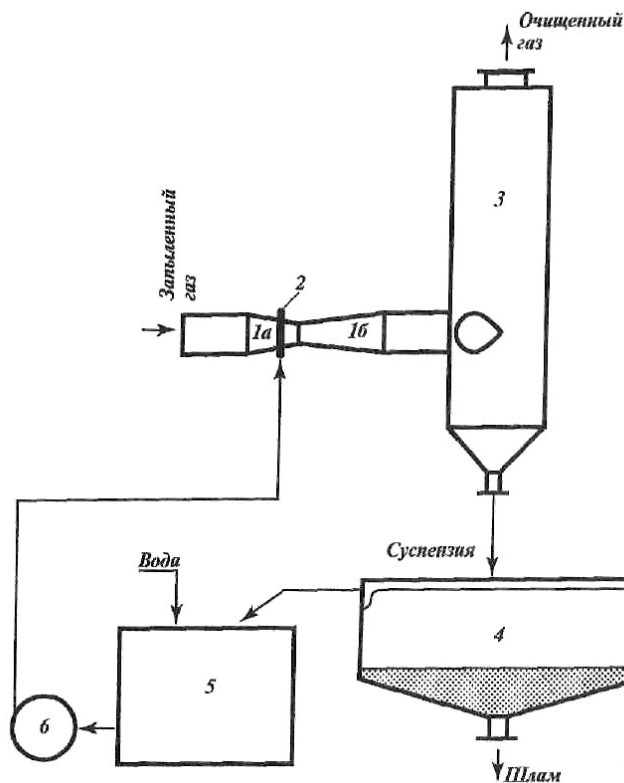


Рис. 2.3. Скруббер Вентури:

1 – труба Вентури (1а – диффузор, 1б – конфузор); 2 – распределительное устройство для подачи воды; 3 – циклонный сепаратор; 4 – отстойник для суспензии; 5 – промежуточная емкость; 6 – насос

#### Порядок расчета скруббера Вентури

В ряде частных случаев степень очистки газа от взвешенных частиц  $\eta$  может быть рассчитана по эмпирическим формулам. Обычно же ее определение требует проведения экспериментов.

Для частиц диаметром более 0,1 мкм фракционную эффективность пылеулавливания в скруббере Вентури можно определить из эмпирической зависимости

$$\eta_{\phi i} = 1 - \exp \left[ - 1,56m \sqrt{\frac{\rho_{тв} d_{чi} w_z}{18\mu d_k}} \right],$$

где  $m$  – удельное орошение, л/м<sup>3</sup>;  $\rho_{тв}$  – плотность пыли, кг/м<sup>3</sup>;  $d_k$  – средний диаметр капель, м;  $d_{чi}$  – диаметр частиц  $i$ -й фракции, м;  $\mu$  – динамический коэффициент вязкости газа, Па · с;  $w_z$  – скорость газа в горловине, м/с.

Для частиц размером 1 – 10 мкм при определенных скоростях газа и удельном орошении по рассчитанной фракционной эффективности очистки можно предварительно определить из справочных таблиц гидравлическое сопротивление в трубе.

Общая эффективность пылеулавливания:

$$\eta = \sum_{i=1}^i \eta_i \Phi_i,$$

где  $\eta_i$  – эффективность пылеулавливания для  $i$ -й фракции, рассчитанная по  $d_{ср}$  для данной фракции;  $\Phi_i$  – массовая доля  $i$ -й фракции.

Дальнейший уточняющий расчет сводится к расчету скорости газа и геометрических параметров трубы Вентури.

Скорость газа в горловине трубы:

$$w_z = \sqrt{\frac{2\Delta P_T}{\rho \left( \xi_{\text{сух}} + \frac{\xi_{\text{ж}} m \rho_{\text{ж}}}{\rho} \right)}}$$

где  $\xi_{\text{сух}}$  – коэффициент гидравлического сопротивления «сухой» трубы;  $\xi_{\text{ж}}$  – коэффициент гидравлического сопротивления трубы с учетом подачи орошающей жидкости;  $\rho$  и  $\rho_{\text{ж}}$  – соответственно плотности газа и орошающей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  – удельное орошение, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $\Delta P_T$  – гидравлическое сопротивление трубы Вентури.

Для расчета геометрических размеров стандартизированной трубы Вентури используют ряд эмпирических соотношений.

Диаметр горловины:

$$d_z = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{z.\text{вых}}}{w_z}}$$

где  $V_{z.\text{вых}}$  – производительность пылеулавливателя по влажному газу при температуре и давлении газа на выходе из диффузора, м<sup>3</sup>/ч.

Длина горловины  $l_r = 0,15d_r$  и при увеличении угла раскрытия конфузора от 25 до 60° увеличивается вдвое.

Диаметр входного отверстия трубы:

$$d_k = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{z.\text{вх}}}{w_{\text{вх}}}}$$

где  $V_{z.\text{вх}}$  – производительность установки по газу при температуре и давлении на входе в трубу, м<sup>3</sup>/ч;  $w_{\text{вх}}$  – соответствующая скорость ( $w_{\text{вх}} = 12 - 20$  м/с).

Длина конфузора:

$$l_k = \frac{d_k - d_z}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_1}{2}\right)}$$

где  $\alpha_1$  – угол раскрытия конфузора ( $\alpha_1 \approx 25 - 30^\circ$ ). Диаметр выходного отверстия:

$$d_o = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{z.\text{вых}}}{w_{\text{вых}}}}$$

где  $w_{\text{вых}}$  – скорость газа на выходе из трубы ( $w_{\text{вых}} = 12,0$  м/с).

Длина диффузора:

$$l_o = \frac{d_o - d_z}{2 \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha_2}{2}\right)}$$

где  $\alpha_2$  – угол раскрытия диффузора ( $\alpha_2 \approx 7^\circ$ ).