

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра промышленной теплоэнергетики**

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ Е.И.Луковникова

« \_\_\_\_\_ » декабря 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РАБОТЕ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Б1.В.07**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Промышленная теплоэнергетика**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>4</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>	
3.1 Распределение объема дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	11
4.3 Лабораторные работы.....	52
4.4 Семинары / практические занятия.....	52
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	53
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>53</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>54</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>54</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>55</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>55</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных и практических работ .....	55
9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы.....	69
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>69</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>69</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>70</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>77</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>78</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Подготовка обучающегося к самостоятельному решению теоретических и прикладных задач в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов при работе теплоэнергетических объектов.

## Задачи дисциплины

Приобретение знания характеристик выбросов промпредприятий и их влияния на окружающую среду, методов очистки сточных вод и газообразных выбросов промышленных предприятий, умения осуществлять выбор и расчет очистных сооружений для улавливания тепловых и технологических выбросов; выбирать схемы энергоснабжения, обеспечивающие рациональное использование природной воды и атмосферного воздуха; рассчитывать экономическую эффективность природоохранных мероприятий, а также практических навыков в проведении анализа сточных вод и газообразных выбросов, испытаниях и научных исследованиях очистных сооружений.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОК-7	Способность к самоорганизации и самообразованию	<b>знать:</b> – основные способы поиска и обработки информации; – основные методы организации самостоятельной работы; <b>уметь:</b> – работать с учебной и методической литературой; <b>владеть:</b> – навыками самостоятельной работы при поиске и обработке информации об охране окружающей среды.
ПК-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве	<b>знать:</b> – основные принципы экологической безопасности на производстве; – основные принципы планирования экозащитных мероприятий; – основные принципы в области энерго- и ресурсосбережения; <b>уметь:</b> – производить оценку ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; – планировать экозащитные мероприятия; – планировать энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на производстве; <b>владеть:</b> – навыками практического применения средств измерения содержания вредных выбросов в атмосфере; – навыками внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий на производстве.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.07 Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов относится к вариативной.

Дисциплина Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как: физико-химические основы горения и топливо, эксплуатация теплоэнергетических установок и систем, котельные установки и парогенераторы.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов представляет основу для преддипломной практики и подготовки к государственной итоговой аттестации.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

## 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоёмкость дисциплины в часах						Курсовая работа	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Очная</b>	4	8	216	60	24	12	24	120	КР	экзамен
<b>Заочная</b>	4	-	216	20	8	6	6	187	КР	экзамен
<b>Заочная (ускоренное обучение)</b>	2	-	216	16	8	4	4	191	КР	экзамен
<b>Очно-заочная</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоёмкости

Вид учебных занятий	Трудоёмкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			8
1	2	3	4
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	60	18	60
Лекции (Лк)	24	2	24
Лабораторные работы (ЛР)	12	12	12
Практические занятия (ПЗ)	24	4	24
Контрольная работа	+	-	-
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	-
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	120	-	120
Выполнение контрольной работы	30	-	30

Подготовка к лабораторным работам	24	-	24
Подготовка к практическим занятиям	30	-	30
Подготовка к экзамену в течение семестра	36	-	36
<b>III. Промежуточная аттестация экзамен</b>	36	-	36
Общая трудоемкость дисциплины, час. зач. ед.	216		216
	6		6

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоя тельная работа обучаю- щихся*
			лекции	лабораторные работы	практи- ческие занятия	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8</b>
1.1.	Влияние технического прогресса на взаимодействие человека и природы	2,5	0,5	-	-	2
1.2	Структура управления экологической политикой России	2,5	0,5	-	-	2
1.3	Международные соглашения по охране окружающей среды	5	1	-	-	4
<b>2.</b>	<b>Выбросы теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду</b>	<b>68</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>44</b>
2.1.	Виды вредных воздействий теплоэнергетических систем на природу	8,5	0,5	-	2	6
2.2.	Модель взаимодействия ТЭС и окружающей среды	4,5	0,5	-	-	4
2.3.	Условия образования и свойства загрязнителей	6,5	0,5	2	-	4
2.4.	Вредные воздействия вредных газопылевых выбросов на окружающую среду	11	1	2	2	6
2.5.	Парниковый эффект. Вторичные загрязнители атмосферы	6,5	0,5	-	-	6
2.6.	Санитарные нормы качества воздуха. ПДК вредных веществ в атмосфере. ПДВ вредных веществ ТЭС	11	1	-	4	6
2.7.	Методика расчета рассеивания в атмосфере выбросов ТЭС и котельных	11	1	-	4	6
2.8.	Выбор высоты дымовых труб.	9	1	-	2	6

	Основные конструкции дымовых труб					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных</b>	<b>54</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>40</b>
3.1.	Классификация методов снижения загрязняющих выбросов в атмосферу	4,5	0,5	-	-	4
3.2.	Снижение выбросов твердых частиц с продуктами сгорания. Физико-химические свойства летучей золы	4,5	0,5	-	-	4
3.3	Основные показатели работы золоуловителя. Принцип действия и конструкции инерционных золоуловителей	2,5	0,5	-	-	2
3.4	Достоинства и недостатки циклонов. Тканевые (рукавные) фильтры	7	1	2	-	4
3.5	Принцип действия и конструкции мокрых золоуловителей, их достоинства и недостатки	4,5	0,5	-	-	4
3.6	Принцип действия электрофильтра. Методы повышения эффективности очистки дымовых газов в электрофильтрах	6,5	0,5	2	-	4
3.7	Снижение загрязнений летучей золой из золоотвалов	5	1	-	-	4
3.8	Снижение выбросов соединений серы: переработка сернистых топлив перед сжиганием	3	1	-	-	2
3.9	Сухие и мокрые методы сероочистки дымовых газов. Сравнение и выбор метода сероочистки	5	1	-	-	4
3.10	Механизмы образования окислов азота при сжигании органических топлив	3	1	-	-	2
3.11	Технологические и конструктивные методы снижения выбросов окислов азота	2,5	0,5	-	-	2
3.12	Методы очистки дымовых газов от окислов азота	6	2	-	-	4
<b>4</b>	<b>Сточные воды теплоэнергетических систем, их очистка</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8</b>
4.1.	Классификация и общая характеристика вредных загрязнителей сточных вод ТЭУ, их воздействие на водоемы и природу	3	1	-	-	2
4.2.	Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами	6	2	-	-	4
4.3.	Классификация методов очистки сточных вод. Основные методы очистки сточных вод	3	1	-	-	2

<b>5.</b>	<b>Экономические аспекты природоохранных мероприятий</b>	<b>36</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
5.1.	Система контроля вредных выбросов и организация службы охраны окружающей среды	9,5	0,5	1	2	6
5.2.	Оценки ущерба наносимого народному хозяйству из-за загрязнения окружающей среды	13	1	2	4	6
5.3.	Технико-экономическое обоснование природоохранных мероприятий	13,5	0,5	1	4	8
<b>ИТОГО</b>		<b>180</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>120</b>

- для заочной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды</b>	<b>24</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>23</b>
1.1.	Влияние технического прогресса на взаимодействие человека и природы	7,3	0,3	-	-	7
1.2	Структура управления экологической политикой России	8,3	0,3	-	-	8
1.3	Международные соглашения по охране окружающей среды	8,4	0,4	-	-	8
<b>2.</b>	<b>Выбросы теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду</b>	<b>70</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>64</b>
2.1.	Виды вредных воздействий теплоэнергетических систем на природу	8,5	0,2	-	0,3	8
2.2.	Модель взаимодействия ТЭС и окружающей среды	8,2	0,2	-	-	8
2.3.	Условия образования и свойства загрязнителей	9,2	0,2	1	-	8
2.4.	Вредные воздействия вредных газопылевых выбросов на окружающую среду	9,5	0,2	1	0,3	8
2.5.	Парниковый эффект. Вторичные загрязнители атмосферы	8,3	0,3	-	-	8
2.6.	Санитарные нормы качества воздуха. ПДК вредных веществ в атмосфере. ПДВ вредных веществ ТЭС	8,7	0,3	-	0,4	8
2.7.	Методика расчета рассеивания в атмосфере выбросов ТЭС и	8,8	0,3	-	0,5	8

	котельных					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
2.8.	Выбор высоты дымовых труб. Основные конструкции дымовых труб	8,8	0,3	-	0,5	8
<b>3.</b>	<b>Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных</b>	<b>64</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>60</b>
3.1.	Классификация методов снижения загрязняющих выбросов в атмосферу	6,1	0,1	-	-	6
3.2.	Снижение выбросов твердых частиц с продуктами сгорания. Физико-химические свойства летучей золы	6,2	0,2	-	-	6
3.3	Основные показатели работы золоуловителя. Принцип действия и конструкции инерционных золоуловителей	4,2	0,2	-	-	4
3.4	Достоинства и недостатки циклонов. Тканевые (рукавные) фильтры	7,1	0,1	1	-	6
3.5	Принцип действия и конструкции мокрых золоуловителей, их достоинства и недостатки	6,1	0,1	-	-	6
3.6	Принцип действия электрофильтра. Методы повышения эффективности очистки дымовых газов в электрофильтрах	7,1	0,1	1	-	6
3.7	Снижение загрязнений летучей золой из золоотвалов	6,2	0,2	-	-	6
3.8	Снижение выбросов соединений серы: переработка сернистых топлив перед сжиганием	4,2	0,2	-	-	4
3.9	Сухие и мокрые методы сероочистки дымовых газов. Сравнение и выбор метода сероочистки	4,2	0,2	-	-	4
3.10	Механизмы образования окислов азота при сжигании органических топлив	4,2	0,2	-	-	4
3.11	Технологические и конструктивные методы снижения выбросов окислов азота	4,2	0,2	-	-	4
3.12	Методы очистки дымовых газов от окислов азота	4,2	0,2	-	-	4
<b>4</b>	<b>Сточные воды теплоэнергетических систем, их очистка</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>20</b>
4.1.	Классификация и общая характеристика вредных загрязнителей сточных вод ТЭУ, их воздействие на водоемы и природу	6,3	0,3	-	-	6
4.2.	Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами	8,5	0,5	-	-	8



1	2	3	4	5	6	7
4.3.	Классификация методов очистки сточных вод. Основные методы очистки сточных вод	6,2	0,2	-	-	6
<b>5.</b>	<b>Экономические аспекты природоохранных мероприятий</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>20</b>
5.1.	Система контроля вредных выбросов и организация службы охраны окружающей среды	8	0,5	<b>0,5</b>	1	6
5.2.	Оценки ущерба наносимого народному хозяйству из-за загрязнения окружающей среды	9	1	<b>1</b>	1	6
5.3.	Технико-экономическое обоснование природоохранных мероприятий	11	0,5	<b>0,5</b>	2	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>207</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>187</b>

- для заочной формы обучения (ускоренное обучение):

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся*
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
1	2	3	4	5	6	7
<b>1.</b>	<b>Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды</b>	<b>24</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>23</b>
1.1.	Влияние технического прогресса на взаимодействие человека и природы	7,3	0,3	-	-	7
1.2.	Структура управления экологической политикой России	8,3	0,3	-	-	8
1.3.	Международные соглашения по охране окружающей среды	8,4	0,4	-	-	8
<b>2.</b>	<b>Выбросы теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду</b>	<b>69</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>64</b>
2.1.	Виды вредных воздействий теплоэнергетических систем на природу	8,5	0,2	-	0,3	8
2.2.	Модель взаимодействия ТЭС и окружающей среды	8,2	0,2	-	-	8
2.3.	Условия образования и свойства загрязнителей	8,7	0,2	0,5	-	8
2.4.	Вредные воздействия вредных газопылевых выбросов на окружающую среду	9	0,2	0,5	0,3	8
2.5.	Парниковый эффект. Вторичные загрязнители атмосферы	8,3	0,3	-	-	8

1	2	3	4	5	6	7
2.6.	Санитарные нормы качества воздуха. ПДК вредных веществ в атмосфере. ПДВ вредных веществ ТЭС	8,7	0,3	-	0,4	8
2.7.	Методика расчета рассеивания в атмосфере выбросов ТЭС и котельных	8,8	0,3	-	0,5	8
2.8.	Выбор высоты дымовых труб. Основные конструкции дымовых труб	8,8	0,3	-	0,5	8
<b>3.</b>	<b>Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных</b>	<b>65</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>62</b>
3.1.	Классификация методов снижения загрязняющих выбросов в атмосферу	6,1	0,1	-	-	6
3.2.	Снижение выбросов твердых частиц с продуктами сгорания. Физико-химические свойства летучей золы	6,2	0,2	-	-	6
3.3	Основные показатели работы золоуловителя. Принцип действия и конструкции инерционных золоуловителей	6,2	0,2	-	-	6
3.4	Достоинства и недостатки циклонов. Тканевые (рукавные) фильтры	6,6	0,1	0,5	-	6
3.5	Принцип действия и конструкции мокрых золоуловителей, их достоинства и недостатки	6,1	0,1	-	-	6
3.6	Принцип действия электрофильтра. Методы повышения эффективности очистки дымовых газов в электрофильтрах	6,6	0,1	0,5	-	6
3.7	Снижение загрязнений летучей золой из золоотвалов	6,2	0,2	-	-	6
3.8	Снижение выбросов соединений серы: переработка сернистых топлив перед сжиганием	4,2	0,2	-	-	4
3.9	Сухие и мокрые методы сероочистки дымовых газов. Сравнение и выбор метода сероочистки	4,2	0,2	-	-	4
3.10	Механизмы образования окислов азота при сжигании органических топлив	4,2	0,2	-	-	4
3.11	Технологические и конструктивные методы снижения выбросов окислов азота	4,2	0,2	-	-	4
3.12	Методы очистки дымовых газов от окислов азота	4,2	0,2	-	-	4
<b>4</b>	<b>Сточные воды</b>	<b>21</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>20</b>

	<b>теплоэнергетических систем, их очистка</b>					
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
4.1.	Классификация и общая характеристика вредных загрязнителей сточных вод ТЭУ, их воздействие на водоемы и природу	6,3	0,3	-	-	6
4.2.	Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами	8,5	0,5	-	-	8
4.3.	Классификация методов очистки сточных вод. Основные методы очистки сточных вод	6,2	0,2	-	-	6
<b>5.</b>	<b>Экономические аспекты природоохранных мероприятий</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>22</b>
5.1.	Система контроля вредных выбросов и организация службы охраны окружающей среды	7,5	0,5	<b>0,5</b>	0,5	6
5.2.	Оценки ущерба наносимого народному хозяйству из-за загрязнения окружающей среды	10,5	1	<b>1</b>	0,5	8
5.3.	Технико-экономическое обоснование природоохранных мероприятий	10	0,5	<b>0,5</b>	1	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>207</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>191</b>

#### **4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам**

##### **Раздел 1. Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды**

###### **Тема 1.1. Влияние технического прогресса на взаимодействие человека и природы**

По мере ускорения темпов технического прогресса воздействие хозяйственной деятельности человека на природу становится все более разрушительным. В настоящее время оно уже соизмеримо с действием природных факторов, что приводит к качественному изменению соотношения сил между обществом и природой. Человечество поставлено перед фактом возникновения в природе необратимых процессов, новых путей перемещения и превращения энергии и вещества. В природу попадает все больше и больше чуждых ей веществ, порой высокотоксичных для живых организмов. Часть из них не включается в естественный круговорот и накапливается в биосфере, вызывая опасность для всего живого, населяющего планету Земля.

Принято выделять две формы взаимодействия общества и природы, которые сложились на современном этапе исторического развития:

- экономическая форма — потребление ресурсов природы, т. е. использование ее для удовлетворения человеком своих материальных и духовных потребностей;
- экологическая форма — охрана окружающей природной среды с целью сохранения человека как биологического и социального организма и его естественной среды обитания.

Человек, потребляя ресурсы среды обитания для решения хозяйственных задач, еще и изменяет природную среду, которая начинает воздействовать негативно на самого человека. За всю историю цивилизации было вырублено 2/3 лесов, уничтожено более 200 видов животных и растений, запасы кислорода в атмосфере снизились на 10 млрд т, в результате неправильного ведения сельского хозяйства деградировало около 200 млн га сельхозугодий.

Негативная деятельность человека по отношению к природной среде проявляется в следующих направлениях:

- загрязнение окружающей природной среды;

- истощение природных ресурсов;
- разрушение природной среды.

Под загрязнением среды обитания понимают физико-химические изменения состава природного вещества (воздуха, воды, почвы), которые угрожают состоянию здоровья и жизни человека, а также окружающей его естественной среде обитания.

Загрязнение окружающей природной среды бывает космическое — естественное, которое Земля получает из космоса или из-за извержения вулканов, и антропогенное, совершаемое в результате хозяйственной деятельности человека.

Антропогенное загрязнение окружающей среды подразделяют на пылевое, газовое, химическое (в том числе загрязнение почвы химикатами), ароматическое, тепловое (изменение температуры воды, воздуха, почвы). Источником загрязнения является хозяйственная деятельность человека: промышленность, сельское хозяйство, транспорт. Доля того или иного источника загрязнения может значительно колебаться в зависимости от региона.

Например, в городах 70-80% загрязнения приходится на транспорт. Среди промышленных предприятий наиболее "грязными" считаются металлургические, которые на 34% загрязняют окружающую среду. За ними следуют предприятия энергетики, прежде всего тепловые электростанции (27%). Остальная часть приходится на предприятия химической (9%), нефтяной (12%) и газовой промышленности (7%).

## **Тема 1.2. Структура управления экологической политикой России**

В настоящее время система органов государства, осуществляющих функции в сфере природопользования и охраны окружающей природной среды, весьма сложна и изменчива. Тем не менее, можно выделить две основные группы органов государственного экологического управления - органы общей и специальной компетенции.

К числу первых относятся высшие государственные органы управления (Президент РФ, Правительство РФ), которые играют ведущую роль в определении экологической политики государства, ее задач и принципов, путей и методов реализации, создании организационных и правовых основ природоохранительной деятельности, осуществляют высший контроль в данной сфере. К органам общей компетенции следует также отнести местные органы управления (местные администрации), которые выполняют функции государственного регулирования и контроля в области природопользования и охраны окружающей природной среды на подведомственных им территориях. Рассматриваемая функция для органов общей компетенции не является главной, они решают и многие другие вопросы в пределах своей компетенции.

Органы специальной компетенции - это государственные органы, специально уполномоченные выполнять функции экологического управления. Их можно в свою очередь разделить на несколько групп по характеру выполняемых функций и задач.

К первой группе принадлежат органы, осуществляющие надведомственные задачи по управлению природопользованием и охраной окружающей среды - Министерство природных ресурсов РФ (МПР России) и Государственный комитет РФ по охране окружающей среды (Госкомэкология России).

МПР России является федеральным органом исполнительной власти, проводящим государственную политику в сфере изучения, воспроизводства, использования и охраны всех видов природных ресурсов, применяемых в экономике страны, координирующим деятельность в этой сфере иных федеральных органов исполнительной власти и осуществляющим управление фондом недр, а также использованием и охраной водного фонда. Важными функциями, которые осуществляет МПР России и его территориальные органы, являются установление лимитов природопользования и предоставление лицензий на пользование природными объектами.

Госкомэкология России является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим межотраслевую координацию и функциональное регулирование в сфере охраны окружающей среды, обеспечения экологической безопасности и сохранения биологического разнообразия, а также осуществляющим государственный экологический контроль и государственную экологическую экспертизу. Госкомэкология России проводит экологическую политику государства и несет ответственность за оздоровление и улучшение качества окружающей природной среды. Для выполнения функций Госкомэкологии как центрального органа экологического управления в стране законодательство наделяет его обширными полномочиями, в том числе:

- осуществлять разработку и реализацию целевых экологических программ;
- принимать нормативные акты по вопросам охраны окружающей природной среды;
- организовывать экологический мониторинг, проводить экологический контроль и

экологическую экспертизу;

- осуществлять выдачу (аннулирование) лицензий на отдельные виды природопользования;
- согласовывать нормы и лимиты использования природных ресурсов;
- проводить совместно с другими органами стандартизацию в сфере охраны окружающей среды;
- проводить обязательную сертификацию на соответствие экологическим требованиям;
- ограничивать или приостанавливать хозяйственную деятельность, осуществляемую с нарушением экологических норм и правил;
- рассматривать дела об административных правонарушениях в области природопользования и охраны окружающей среды;
- предъявлять в суде иски о возмещении вреда, причиненного экологическими правонарушениями.

Другая группа органов государственного экологического управления осуществляет ведомственные, отраслевые задачи по управлению использованием и охраной отдельных видов природных ресурсов как непосредственно, так и в составе других государственных органов. Это Государственный комитет РФ по земельной политике (Госкомзем России), Федеральная служба лесного хозяйства России (Рослесхоз), Государственный комитет РФ по рыболовству (Госкомрыболовства России), Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Государственная санитарно-эпидемиологическая служба РФ в составе Министерства здравоохранения РФ, Комитет по геологии и использованию недр и Комитет по водному хозяйству в составе Министерства природных ресурсов РФ, департамент по охране охотничьих ресурсов в составе Министерства сельского хозяйства и продовольствия РФ.

В число органов специальной компетенции входят также некоторые органы, которые выполняют лишь отдельные функции в сфере экологического управления. Например, Федеральный горный и промышленный надзор России - по контролю за безопасным ведением работ при использовании недр, Министерство РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий - по ликвидации последствий экологических катастроф, Государственный комитет РФ по стандартизации и метрологии - по нормированию (стандартизации) качества окружающей среды, Министерство внутренних дел РФ - по охране атмосферного воздуха от вредного влияния автотранспорта и защите природных объектов и комплексов (лесов, вод, заповедников и др.), Государственный таможенный комитет РФ - по предотвращению незаконного ввоза в РФ и вывоза из нее животных и растений, занесенных в Красную книгу РФ, экологически опасных веществ и товаров и т. д.

Структура и компетенция рассматриваемых органов специального управления определяются законодательством: Указом Президента РФ «О структуре федеральных органов исполнительной власти» от 25 мая 1999 г. № 651 и положениями о соответствующих органах, утвержденными постановлениями Правительства РФ, например, Положением о Государственном комитете РФ по охране окружающей среды (утв. Пост. Правительства РФ от 26 мая 1997 № 643), Положением о Федеральной службе лесного хозяйства России (утв. Пост. Правительства РФ от 10 февраля 1998 № 173), Положением о государственной санитарно-эпидемиологической службе РФ (утв. Пост. Правительства РФ от 30 июня 1998 № 680), Постановлением Правительства РФ «О специально уполномоченных государственных органах по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира и среды их обитания» от 19 января 1998 г. и др.

### **Тема 1.3. Международные соглашения по охране окружающей среды**

Накопление и осмысление экологических знаний о природных взаимосвязях привело к заключению ряда двусторонних и многосторонних договоров по охране и использованию отдельных ресурсов.

К началу 90-х годов число международных соглашений и договоров достигло 114. Кроме того, заключено более 2000 двусторонних конвенций, различающихся по характеру регламентации и связей.

Одним из важнейших направлений международного сотрудничества является организация различных встреч, совещаний и конференций, как научных, так и практических, с участием не только ученых, но и руководителей соответствующих государственных структур вплоть до премьер-министров и президентов. На этих встречах обсуждаются научные идеи в области экологии, происходит обмен опытом управления природопользованием, принимаются программы дальнейшего развития и заключаются международные соглашения.

Наибольшее влияние на охрану окружающей среды оказали такие международные форумы как Стокгольмская конференция ООН по окружающей среде (1972 г.), день открытия которой - 5 июня -

был объявлен Всемирным днем окружающей среды, и Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992) (КОСР-92). Первая способствовала переходу к интенсивному комплексному изучению взаимодействия биосферы и человечества и созданию ЮНЕП, а вторая подвела некоторые итоги и приняла программу действий по достижению устойчивого, экологически приемлемого развития цивилизации в XXI веке.

Международные договоры, соглашения, конвенции и протоколы, касающиеся охраны окружающей Среды различаются по характеру регламентации и по характеру связей.

По характеру регламентации выделяются две категории. К первой относятся соглашения, которые носят обязательный характер. Это международные конвенции, устанавливающие правила однозначно признанные всеми государствами, а также резолюции некоторых международных организаций, исполнение которых обязательно для всех государств-членов этих организаций. Примером являются: Конвенция об охране флоры и фауны в природном состоянии (1933 г.). Соглашение об охране полярных медведей (1973 г.). Конвенция о трансграничном загрязнении атмосферного воздуха на большие расстояния (1979 г.).

В отличие от первой категории, соглашения второй носят рекомендательный характер: Стокгольмская декларация по окружающей среде (1972 г.). Всемирная Хартия природы (1982 г.), большая часть резолюций международных конференций. Эти документы не предназначены для прямого регулирования поведения членов международного сообщества, но обладают огромным авторитетом, являются показателями интересов населения мира, влекут за собой серьезные организационные последствия, создают нравственную атмосферу, побуждающую государства и межгосударственные организации к активному сотрудничеству.

По характеру сотрудничества выделяют: двусторонние и многосторонние; межгосударственные и смешанные (с участием отдельных организаций и ведомств), глобальные, региональные и субрегиональные, охватывающие все элементы природной Среды в комплексе и касающиеся отдельных природных объектов.

*Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ)* – специальное учреждение ООН, основная функция которого лежит в решении международных проблем здравоохранения населения Земли.

*Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ)* – международная организация для развития сотрудничества в области мирного использования атомной энергии.

*Мировой Энергетический Совет (МИРЭС)* – крупнейшая энергетическая международная неправительственная организация. Ее миссией является «Продвижение устойчивого энергоснабжения и использования энергии на благо человечества». Одной из задач организации является достижение максимальной общественной пользы и наименьшего вредного воздействия на окружающую среду.

## **Раздел 2. Выбросы теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду**

### **Тема 2.1. Виды вредных воздействий теплоэнергетических систем на природу**

Одним из основных источников загрязнения окружающей среды являются тепловые электростанции.

Последние данные специалистов по коммунальной гигиене свидетельствуют, что токсическое действие химических веществ в сочетании с шумом и вибрацией возрастает в 2,5–3 раза. В результате химического взаимодействия двух токсичных веществ могут синтезироваться новые вредоносные ингредиенты, более опасные для человека. При взаимодействии канцерогенных углеводородов и оксидов азота синтезируются соединения, действующие на генный фонд человека. На рисунке 2.1 приведена структурная схема воздействия загрязняющих вредных веществ на окружающую природную среду.

Показанные на схеме линии воздействия на окружающую среду зависят от его силы и интенсивности. Слабые компоненты этой системы обычно не привлекают к себе внимания специалистов и поэтому ими обычно не занимаются. Специалисты-экологи активно занимаются сильными воздействиями, которые заметно проявляются и отвлекают на себя главное внимание.

В этом скрывается большая опасность. Цепи воздействий, которые не быстро обнаруживаются и ведут к необратимым последствиям, иногда долгое время не заметны. Их можно зафиксировать только при углубленном исследовании, если проводить его систематически в течение длительного времени. Даже неспециалисты относительно легко фиксируют некоторые проявления ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) в их раннем состоянии. Чаще всего начинают фиксировать, а потом заниматься прямыми действиями (1). Непрямое вредное действие (2) сложнее фиксировать и регистрировать результаты его компенсации, выявлять необходимость и цель природоохранных мер, получать некоторую отдачу от их реализации.

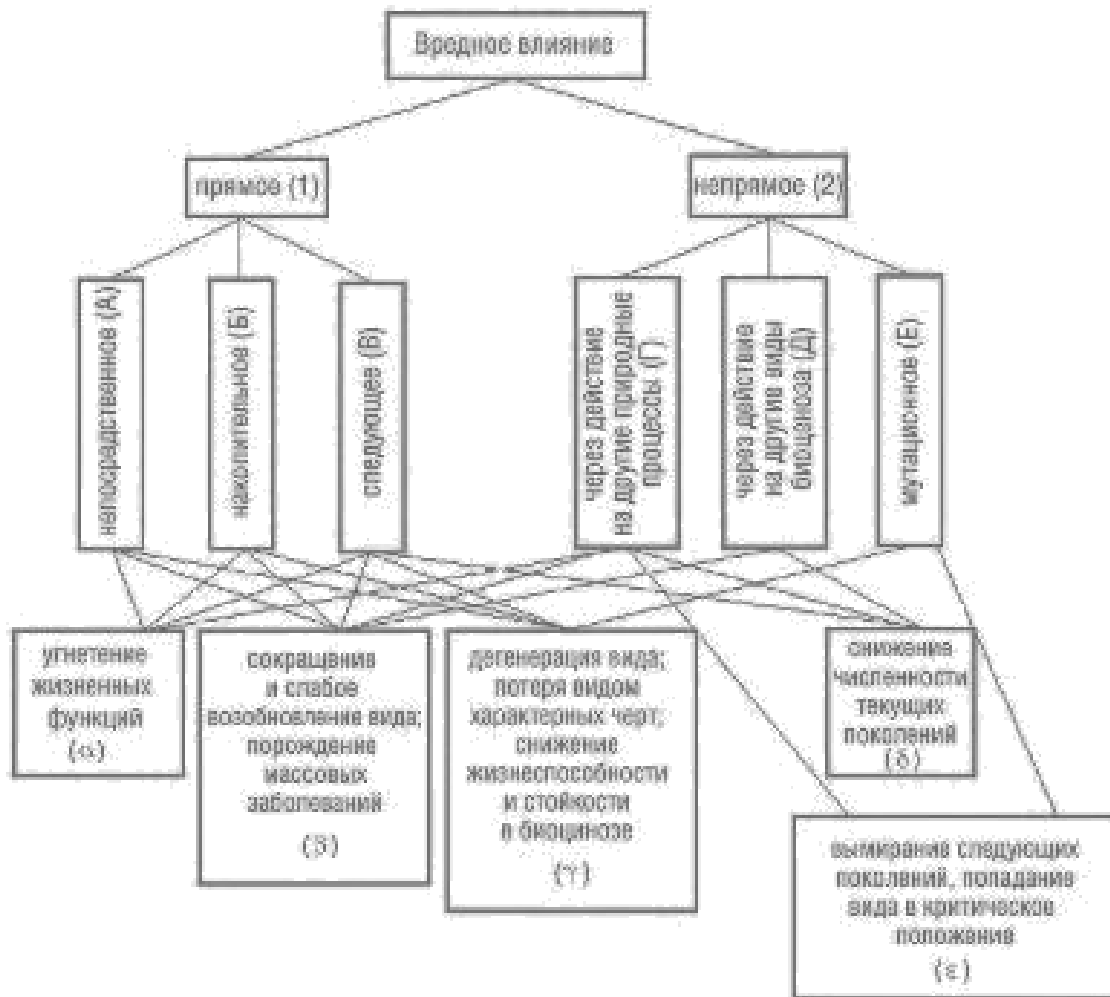


Рисунок 1 – Структурная схема системы вредного влияния на окружающую природную среду загрязняющих веществ и продуктов сгорания топлива

## Тема 2.2. Модель взаимодействия ТЭС и окружающей среды

Схема взаимодействия ТЭС (на базе конденсационных паротурбинных установок) с окружающей средой представлена на рисунке 2.2.

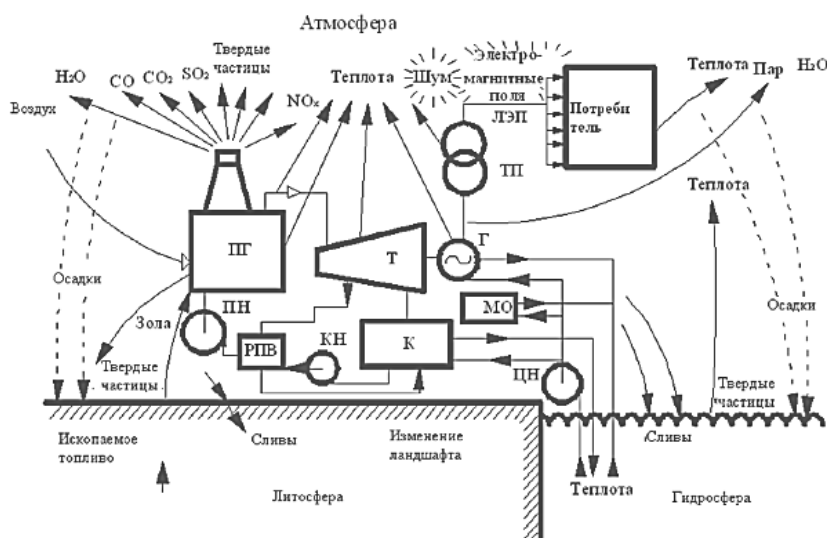


Рисунок 2 – Схема взаимодействия ТЭС с окружающей средой: ПГ – парогенератор; Т – турбина; К – конденсатор; ПН, КН, ЦН – соответственно питательные, конденсатные и циркуляционные насосы; РВП – регенеративный подогрев питательной воды; Г – генератор электрического тока; МО – массоохладитель; ТП – трансформаторная подстанция; ЛЭП – линии электропередач

Как видно, при работе ТЭС имеют место различные отрицательные воздействия на все

компоненты биосферы: атмосферу, гидросферу и литосферу.

К загрязняющим газовым и аэрозольным выбросам объектов энергетики относятся выбросы различного характера, нарушающие равновесие природной среды в локальных (местных), региональных и глобальных масштабах, а также условия обитания живых организмов. Наиболее вероятные загрязняющие выбросы при работе энергетического объекта приведены в табл. 2.1.

Таблица 1 – Наиболее вероятные загрязняющие выбросы при работе энергетического объекта

Топливо	Аэрозоли		Газовые выбросы					
	зола	сажа	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	CO
Природный газ	–	–	+	+	+	–	+	+
Мазут	+	+	+	+	+	+	+	+
Уголь	++	+	+	+	+	+	+	+

В таблице использованы условные обозначения, характеризующие вероятность появления тех или иных выбросов при сжигании различных видов топлива: «+++» – очень высокая; «++» – высокая; «+» – средняя; «-» – отсутствует.

### Тема 2.3 и 2.4. Условия образования и свойства загрязнителей. Вредные воздействия вредных газопылевых выбросов на окружающую среду.

#### Оксиды серы (SO<sub>x</sub>)

##### Сернистый ангидрид (SO<sub>2</sub>)

Это вредное вещество выделяется в окружающую среду главным образом при сжигании содержащих серу топлив: каменного угля, кокса, горючих сланцев, сернистой нефти.

*Воздействие на человека.* В лёгких случаях отравления сернистым ангидридом появляются кашель, насморк, слезотечение, чувство сухости в горле, боль в груди. При острых отравлениях средней тяжести дополнительно появляются: головная боль, головокружение, общая слабость. В тяжелых случаях сернистый ангидрид приводит к сужению бронхов, воспалению слизистой оболочки, образованию кровянистой слизи (от слизистой оболочки), одышке и потере сознания.

*Воздействие на природу.* Сернистый ангидрид особенно пагубно действует на некоторые породы деревьев, в частности, на хвойные. При высоком содержании сернистого ангидрида (в воздухе) наблюдается увядание хвои и усыхание дерева в течение 2-3 лет.

В целом, Оксиды серы (SO<sub>x</sub>) опасны по отношению к металлам и строительным материалам (известняк, мрамор, шифер).

При взаимодействии сернистого ангидрида с водяными парами образуются кислотные туманы, дожди; они в 10 раз опаснее, чем сами сернистые ангидриды. Таким образом, сернистые ангидриды обладают синергетическим эффектом – т.е. таким эффектом, когда два загрязняющих компонента в результате реакции образуют вещества, ядовитые свойства которых значительно выше, чем у каждого реагента.

##### Оксиды азота (NO<sub>x</sub>)

Оксид азота NO и диоксид азота N<sub>2</sub>O в атмосфере встречаются вместе, поэтому чаще всего оценивают их совместное воздействие на организм человека. Только вблизи от источника выбросов отмечается высокая концентрация NO. При сгорании топлива в автомобилях и в тепловых электростанциях примерно 90% оксидов азота образуется в форме монооксида азота. Оставшиеся 10% приходятся на диоксид азота. Однако в ходе химических реакций значительная часть NO превращается в N<sub>2</sub>O – гораздо более опасное соединение [источник: интернет].

Монооксид азота NO – это малоактивный бесцветный газ, без запаха; плохо растворяется в воде. NO практически безвреден.

Диоксид азота NO<sub>2</sub> – в 3,5-4 раза более ядовит. Имеет красновато-бурый цвет и отличается резким запахом. *Воздействие на человека и природу* – аналогично SO<sub>2</sub>.

Диоксид азота поглощает видимый свет и может стать причиной уменьшения видимости; способствует образованию фотохимического тумана (т.е. смога, образованного смешением в воздухе оксида азота и прочих загрязняющих веществ).

##### Монооксид углерода (CO)

Оксид углерода получается при сжигании органического материала, типа угля, древесины, бумаги, масла, бензина, газа, взрывчатых веществ или карбонатных материалов любого другого типа в условиях недостатка воздуха или кислорода. Естественным путем образуется 90% атмосферной CO, а в результате деятельности человека производится 10%.



СО – бесцветный газ, не имеющий запаха и вкуса. СО не оказывает влияния на растения, однако особую опасность представляет для человека. СО в 200 раз активнее поглощается гемоглобином крови, чем кислородом. В результате образуется карбоксигемоглобин НbСО («Нб» – гемоглобин). Он препятствует переносу кислорода от легких к тканям; эритроциты становятся крупнее и забивают кровеносные сосуды. При высоком содержании СО воздействует на нервную и сердечно-сосудистую систему, вызывает удушье. В присутствии оксидов азота токсичность СО возрастает в 1,5 раза.

#### Углеводороды

Многие ПАУ являются сильными канцерогенами – то есть веществами, способствующими развитию раковых опухолей. На предприятиях углеводороды выделяются при сжигании различных видов топлив и газов в трубчатых печах, на факельных установках.

Канцерогены влияют на здоровье человека лишь после 15-20 лет после воздействия. Помимо ПАУ опасны и другие углеводороды, относящиеся к классу альдегидов, бензола, этилена. Такие канцерогены вызывают раздражение глаз, кожи, дыхательных путей. Наиболее интенсивно они накапливаются в организме в детском возрасте и после 50 лет; эффект воздействия зависит от дозы и срока действия канцерогена.

При присутствии оксидов азота и серы влияние канцерогенов резко возрастает. ПАУ участвует в образовании фотохимического тумана (смога) при взаимодействии с оксидами азота.

#### Твердые (взвешенные) частицы

Основная часть твердых частиц в атмосфере – это трансформированные газообразные примеси, т.е. молекулы газов, соединившиеся в группы и превратившиеся в аэрозоли.

Таблица 2 – Состав твердых частиц в атмосфере

Твердые частицы	Масса, млн. т/год
Антропогенные источники:	400
– пыли	135
– сульфаты	220
– нитраты	40
– С <sub>x</sub> Н <sub>y</sub>	5
Природного происхождения	2145

Более половины твердых частиц представляет собой аэрозоль. Особую экологическую опасность представляют мелкие частицы, золи и уносы угольных котлов. Частицы золи содержат токсичные микроэлементы, вызывающие раздражение дыхательных путей у человека и животных, нарушение кровообращения, расстройства нервной системы, нарушение обмена веществ. Крупные частицы (более 2-5 мкм) при попадании в глаза могут вызывать сильное раздражение и ожог.

От величины частиц зависит глубина их проникновения в дыхательные пути. Крупные частицы задерживаются в верхних дыхательных путях, а мелкие проникают непосредственно в альвеолы (т.е. глубоко в легкие). При этом на слизистой оболочке происходит экстракция (т.е. извлечение) токсичных веществ и попадание их в кровь. В результате они могут вызвать заболевание в легких – силикоз.

Экология Братска серьезно страдает от вредных газовых выбросов в атмосферу с лесопромышленного комплекса и алюминиевого завода. Концентрация вредных выбросов метилмеркаптана (СН<sub>3</sub>SH) и бензапирена (С<sub>20</sub>Н<sub>12</sub>) во время выбросов зачастую превосходит предельно допустимые нормы более чем в 100 раз. Показатели по сероводороду (Н<sub>2</sub>S), а также двуокиси азота (NO<sub>2</sub>) в это же время превышают ПДК в 15 – 25 раз. Загрязнение воздуха Братска отрицательно сказалось на здоровье его населения: в последнее время участились случаи возникновения онкологических заболеваний.

Метантиол (метилмеркаптан) СН<sub>3</sub>SH – бесцветный газ с сильным отвратительным запахом, напоминающий запах гнилой капусты.

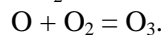
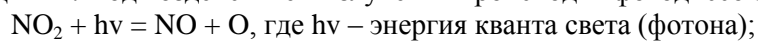
## **Тема 2.5. Парниковый эффект. Вторичные загрязнители атмосферы.**

### Фотохимические реакции

В химии атмосферы загрязняющие атмосферный воздух вещества подразделяются на первичные и вторичные. Первичными называют вещества, непосредственно поступающие в атмосферу от всех источников выбросов. Вторичные загрязнители являются продуктом серии сложных химических реакций, возникающих под действием солнечного света (ультрафиолетового излучения). Они могут оказываться более токсичными, чем исходные вещества.

В образовании фотохимического смога участвуют многие загрязнители воздуха, среди которых NO и NO<sub>2</sub> представляют особую опасность. Солнечное излучение вызывает в атмосфере химические реакции между различными загрязняющими веществами и компонентами окружающей среды (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O). Солнечный свет с длиной волны 290-700 нм является фотохимически активным. Вещества, поглощающие такое излучение, могут выступать как основные фотохимические реагенты, которые переносят поглощенную энергию к молекулам веществ.

Механизм образования смога до конца не изучен, однако может быть описан следующими стадиями. Под воздействием излучения происходит фотодиссоциация NO<sub>2</sub> с образованием озона:



Наиболее сильно поглощают ультрафиолетовое излучение соединения серы, диоксид азота и альдегиды. Излучение возбуждает молекулы указанных веществ, которые затем реагируют с молекулярным кислородом атмосферы с образованием атомарного кислорода. Схема таких превращений приведена на рисунке 3.

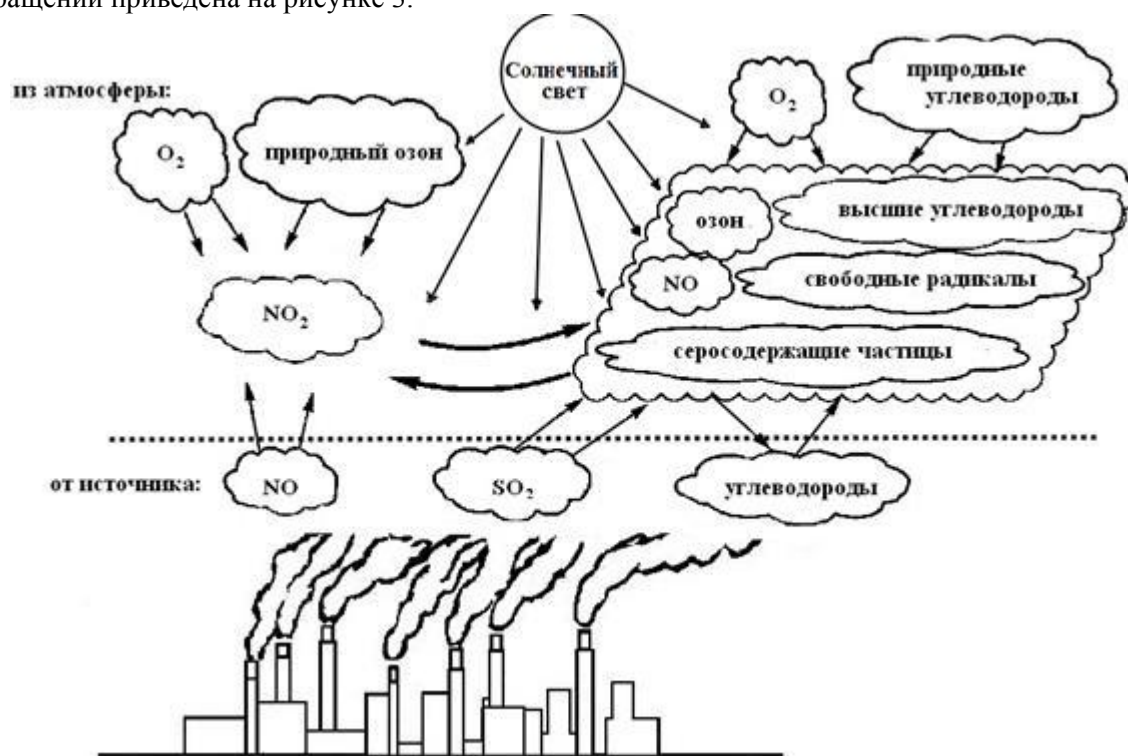


Рисунок 3 – Цепные фотохимические реакции загрязняющих веществ в атмосфере

Образующиеся в результате фотохимических реакций пикоксиацетилнитраты (ПАН) и пероксибензоилнитрат (ПБН) очень сильно раздражают слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей, а также отрицательно воздействует процессы биосинтеза у растений. По своему физиологическому воздействию на человеческий организм фотохимический смог крайне опасен, особенно для дыхательной и кровеносной систем; при воздействии смога возникает стойкая неспособность крови к усвоению и переносу кислорода.

### Инверсии температуры

ИТ – это увеличение температуры с высотой в некотором слое атмосферы вместо обычного понижения. Они могут являться результатом выброс вредных веществ в атмосферу.

Температурная инверсия наглядно демонстрируется на примере дыма от костра. Дым будет подниматься вертикально, а затем, когда достигнет «слоя инверсии», изогнётся горизонтально. Если эта ситуация создаётся в больших масштабах, пыль и грязь (смог), поднимающиеся в атмосферу, остаются там и, накапливаясь, приводят к серьёзному загрязнению.

Различают два типа инверсии:

приземные инверсии температуры, начинающиеся непосредственно от земной поверхности (толщина слоя инверсии — десятки метров)

инверсии температуры в свободной атмосфере (толщина слоя инверсии достигает сотни метров)

Инверсия температуры препятствует вертикальным перемещениям воздуха и способствует образованию дымки, тумана, смога, облаков, миражей. Инверсия сильно зависит от местных особенностей рельефа. Увеличение температуры в инверсионном слое колеблется от десятых долей

градусов до 15—20 °С и более.

Одной из самых важных характеристик атмосферы является вертикальный градиент температуры воздуха – это ее изменение на каждые 100 м высоты, определяемое по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta t}{\Delta z} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – разность температур воздуха (на верхнем уровне –  $t_v$ , на нижнем –  $t_n$ );  $\Delta z$  – разность высот (на верхнем уровне –  $z_v$ , на нижнем –  $z_n$ );

$$\gamma = - \frac{t_v - t_n}{z_v - z_n} \cdot 100, \quad (2)$$

где высоты выражены в метрах, а градиент температуры – в °С/100 м.

Вертикальный градиент температуры положителен при падении температуры с высотой. Если температура в слое с высотой растет (т. е. происходит процесс инверсии), то вертикальный градиент температуры в нем отрицателен. Если температура в слое с высотой не изменяется (изотермия), то вертикальный градиент температуры в нем равен нулю.

Концентрации оксидов серы, взвешенной пыли, оксида углерода достигают опасных для здоровья человека уровней, приводят к расстройству кровообращения, дыхания, а нередко и к смерти.

#### Воздействие теплоэнергетики на тепловой баланс Земли

Тепловой баланс Земли – соотношение прихода и расхода энергии на земной поверхности, в атмосфере и в системе «Земля-атмосфера».

Выбросы теплоты оцениваются в 0,025% от всей солнечной энергии, поглощаемой Землей.

Естественные источники теплоты – солнечное излучение (плотность  $\rho=1,4$  кВт/м<sup>2</sup>), естественная радиоактивность ( $\rho=0,063$  кВт/м<sup>2</sup>). Наибольшими поглотителями теплоты на Земле являются Тихий, Индийский, Атлантический океаны, тропические моря. В меньшей степени теплота поглощается сушей.

Тепловой баланс поддерживается за счет излучения тепловой энергии в космическое пространство.

На тепловой баланс Земли значительное влияние оказывает парниковый эффект. Парниковый эффект возникает в результате нагрева внутренних слоев атмосферы за счет поглощения парниковыми газами (прежде всего СО<sub>2</sub>) основной инфракрасной части теплового излучения поверхности Земли, нагреваемой Солнцем.

Последствия данного явления – изменения климата, повышение уровня Мирового океана и затопление низменных участков суши из-за таяния арктических и антарктических льдов. Парниковый эффект повышает среднюю температуру планеты, смягчает различия между дневными и ночными температурами. В результате антропогенных воздействий содержание СО<sub>2</sub> (и других газов, поглощающих в инфракрасном диапазоне) в атмосфере Земли постепенно возрастает.

Основным парниковыми газами являются СО<sub>2</sub>, метан СН<sub>4</sub>, водяной пар Н<sub>2</sub>О. Повышение концентрации СО<sub>2</sub> составляет 0,4% в год, метана СН<sub>4</sub> – 1-2% в год. Время пребывания СО<sub>2</sub> в атмосфере – 5-10 лет.

Антропогенные выбросы теплоты можно определить по следующей формуле:

$$Q = Q_{ТЭС} + Q_{ПР} + Q_{Т} + Q_{ЭЛ},$$

где:  $Q_{ТЭС}$  – выбросы теплоты на электрических станциях;

$Q_{ПР}$  – теплота, выделяемая при прямом использовании топлива;

$Q_{Т}$  и  $Q_{ЭЛ}$  – теплота, выделяющаяся у потребителей тепловой и электрической энергии.

Чтобы снизить выбросы теплоты, нужно стараться увеличить КПД котельной установки.

Антропогенными источниками водяного пара, поступающего в атмосферу, являются уходящие дымовые газы и системы охлаждения электростанций. Поведение водяного пара в атмосфере различно. Один из примеров такого поведения – негативное воздействие водяного пара в стратосфере, заключающееся в разрушении озона:  $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_3 \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{O}_2$ .

### **Тема 2.6. Санитарные нормы качества воздуха. ПДК вредных веществ в атмосфере. ПДВ вредных веществ ТЭС**

#### Нормирование допустимых уровней примесных выбросов

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) установила 4 уровня чистоты воздуха:

1. невозможно обнаружить прямое или косвенное влияние на человека, животных, растения;
2. возможно раздражение органов чувств, вредное воздействие на растительность, уменьшение

прозрачности воздуха;

3. нарушение жизненно важных физиологических функций, возникновение хронических заболеваний (у человека и животных);

4. возникновение острых заболеваний, приводящие к гибели людей и животных.

ПДК – концентрация загрязняющего вещества, при воздействии которой на организм человека периодически или в течение всей жизни не возникает заболеваний или изменения состояния здоровья человека, а также наследственных изменений у потомства.

В основу разработки ПДК положен 1-й уровень чистоты.

Используют следующие виды ПДК.

ПДК рабочей зоны (ПДК<sub>РЗ</sub>), мг/м<sup>3</sup> – концентрация вредных веществ в рабочей зоне, которая не вызывает заболеваний и изменений состояния здоровья человека в течение 8-часового рабочего дня и не более 40 часов в неделю, а также в течение всего рабочего стажа. Рабочая зона – 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся работающие люди.

ПДК среднесуточная (ПДК<sub>СС</sub>) – концентрация вредных веществ в воздухе населенных пунктов, не оказывающая на человека прямого или косвенного воздействия в условиях круглосуточного дыхания. ПДК<sub>СС</sub> определяется при отборе проб воздуха за 24 ч.

ПДК максимально разовая (ПДК<sub>МР</sub>) – концентрация вредных веществ в воздухе населенных пунктов, не оказывающая рефлекторных реакций в организме человека. ПДК<sub>МР</sub> определяется при отборе проб воздуха за 20 мин.

$$ПДК_{МР} = 10 ПДК_{СС}$$

Таблица 3 – ПДК<sub>СС</sub> и ПДК<sub>МР</sub> для различных видов загрязнителей

Загрязнитель	ПДК <sub>СС</sub> , мг/м <sup>3</sup>	ПДК <sub>МР</sub> , мг/м <sup>3</sup>	Рекомендованные ВОЗ
Зола	0,15	0,5	0,04
Сажа	0,05	0,15	–
SO <sub>2</sub>	0,05	0,5	0,06
CO	3	5	40
NO <sub>2</sub>	0,04	0,085	–
NO	0,06	0,6	–
Бензапирен	10 <sup>-6</sup>	–	–
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,002	–	–

ПДВ – предельно допустимый выброс (г/с (ПДВ<sub>МР</sub>) или т/год (ПДВ<sub>Г</sub>)). ПДВ – норматив, который устанавливается для каждого источника и для каждого предприятия в целом, за соблюдением которых устанавливается контроль.

Для каждого выбрасываемого вещества должно соблюдаться условие, чтобы его максимально предельная концентрация (C<sub>Мi</sub>) не превышала ПДК, то есть:

$$\frac{C_{Mi}}{ПДК_i} \leq 1 \quad (3)$$

При наличии фонового загрязнения:

$$\frac{C_{Mi}}{(ПДК_i - C_{\Phi i})} \leq 1 \quad (4)$$

При совместном попадании загрязняющих веществ в атмосферный воздух могут иметь место следующие виды их воздействия на организм человека:

1. независимое действие веществ;

2. суммация (аддитивное воздействие) – для веществ, обладающих однотипным или однонаправленным действием. Для таких веществ должно выполняться условие:

$$\sum \frac{C_{Mi}}{ПДК_i} \leq 1 \quad (5)$$

3. сверхсуммация (или потенцирование, или синергизм) – когда взаимное влияние веществ усиливает эффект суммации.

4. антагонизм (или ингибирование) – когда происходит снижение воздействия одного или нескольких веществ в результате их взаимного влияния, т.е. снижается эффект суммации.

Применительно к котельным и ТЭС, наибольшее значение имеет сочетание оксидов серы и азота, поэтому:

$$\frac{C_{MSO_2}}{ПДК_{SO_2}} + \frac{C_{MNO_x}}{ПДК_{NO_x}} \leq 1 \quad (6)$$

При сжигании мазута учитывается совместное действие  $SO_2$  и  $V_2O_5$ .

#### Санитарно-защитные зоны теплоэнергетических объектов

По своему функциональному назначению санитарно-защитная зона (СЗЗ) определяется как защитный барьер, обеспечивающий уровень безопасности населения при эксплуатации объекта в штатном режиме.

Установление размеров СЗЗ проводится в зависимости от классов опасности предприятий. Для объектов теплоэнергетики существует три класса опасности в соответствии с санитарной классификацией:

1 класс – с СЗЗ 1000м для ТЭС эквивалентной мощностью 600 МВт и выше при работе на угле и мазуте;

2 класс – с СЗЗ 500м: а) ТЭС эквивалентной мощностью 600 МВт и выше при работе на газовом и газомазутном топливе; б) ТЭЦ и районные котельные тепловой мощностью 200 Гкал и выше, работающие на угольном и мазутном топливе;

3 класс – с СЗЗ 300 м: а) ТЭЦ и районных котельных тепловой мощностью 200 Гкал и выше, работающие на газовом и газомазутном топливе (последнее – как резервное); б) золоотвал ТЭС.

Для объектов теплоэнергетики, для которых установлена санитарная классификация, при необходимости размер СЗЗ может быть изменен. Для объектов теплоэнергетики, для которых не установлена санитарная классификация, разрабатывается проект обоснования размера СЗЗ в соответствии с установленными требованиями.

Для теплоэнергетических установок тепловой мощностью менее 200 Гкал, работающих на твердом, жидком и газообразном топливе, размер СЗЗ устанавливается в каждом конкретном случае на основании расчетов рассеивания загрязнений в атмосферном воздухе и физического воздействия на атмосферный воздух, а также на основании результатов натурных исследований и измерений.

При проектировании для объектов теплоэнергетики разрабатываются предложения по определению размеров необходимой СЗЗ. Эти предложения основываются на результатах расчетов величин по выбросам вредных веществ, шуму, электромагнитным полям. Обоснование необходимых размеров СЗЗ должно проводиться в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 на базе проектных материалов, включающих:

- ситуационный план объекта с указанием категории окружающей территории;
- генеральный план промышленной площадки с размещением источников воздействия;
- фоновые характеристики уровней рассматриваемых воздействий;
- характеристики источников воздействия;
- методики расчетов величин воздействий.

При проведении расчетов по определению границ СЗЗ большое значение придается ситуационному плану, так как для определения соответствия нормативам величин воздействия необходимо знание категории земли, территории, окружающей промышленную площадку предприятия. Нормативы допустимого воздействия (ПДК, ПДУ) по видам воздействия установлены для определенных категорий, классификаций территорий, в частности:

- концентраций вредных выбросов - в атмосферном воздухе населенных мест;
- шумового воздействия - на территории жилой застройки;
- магнитных полей - на сельских территориях и др.;
- электрических полей - на территориях жилой застройки и др.

Поэтому, если непосредственно за границей промышленной площадки не определена категория территории как жилая застройка, то невозможно определение границы достижения ПДУ (уровень) по шумовому воздействию. Если не установлена непосредственно за границей промышленной площадки категория территории населенных мест, то также невозможно определение границы достижения ПДК для концентраций вредных выбросов и, следовательно, расчетной границы СЗЗ по данному виду воздействия. Вместе с тем, необходимо проверить на границе ближайшей прилегающей территории, относящейся к категории жилой застройки и населенной местности, не превышение уровня ПДК.

Для ТЭС, особенно для теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), необходимость выделения СЗЗ для снижения воздействия производств затрагивает вопросы землепользования для их организации. Режим землепользования на этих землях связан с рядом ограничений для собственников этих земель. Кардинальным решением данной проблемы является снижение до допустимого уровня воздействия на окружающую среду за границей промышленной площадки объекта теплоэнергетики, которое возможно при применении экологически чистых технологий и производственных процессов. В этом

случае за пределы производственной площадки не оказывалось бы воздействие выше ПДК и граница СЗЗ совпадала бы с границей промплощадки.

В проектных проработках для новых ТЭС (даже эквивалентной мощностью 600 МВт и выше) расчетные уровни воздействия с вредными выбросами, а также с шумом, достигают таких значений, когда, в целом, ТЭС не является источником воздействия на среду обитания и здоровье человека (в соответствии с пунктом 1.2 СанПиН 2.2.1/2.1.1.200-03). Поэтому, при условии получения удовлетворительного результата по оценке риска для здоровья населения, установление СЗЗ для ТЭС за пределами промплощадки в соответствии с действующими в настоящее время нормативами допустимого воздействия не требуется.

#### Выводы

Разработка проектов СЗЗ для объектов теплоэнергетики вызвана необходимостью обеспечения экологической безопасности населения от вредных воздействий, создаваемых оборудованием этих объектов. Режим землепользования на землях СЗЗ предусматривает ряд ограничений для собственников этих земель. Установление размеров СЗЗ требует тщательного обоснования.

При выполнении проектов строительства и реконструкции объектов теплоэнергетики, которые размещаются в пределах селитебных территорий (при воздействии их на территорию жилой застройки, населенной местности), необходимо добиваться достижения нормативов допустимого воздействия на границе и за границей промплощадок этих объектов.

### **Тема 2.7. Методика расчета рассеивания в атмосфере выбросов ТЭС и котельных**

Вредные вещества в атмосфере изменяют свои химические, физические свойства за счет процессов трансформации (за счет осаждения, распада на компоненты по массе и размерам, химических реакций с компонентами воздуха и между собой, взаимодействия с атмосферными осадками, солнечным излучением и воздушными течениями).

Рассеивание примесей в атмосфере – это результат трех процессов:

- 1) усредненного движения масс воздуха, движущихся в направлении ветра;
- 2) турбулентных пульсаций скорости (атмосферной турбулентной диффузии, рассеивающей загрязнитель во всех направлениях);
- 3) массовой диффузии, связанной с изменением концентраций загрязнения.

На рассеивание влияют общие аэродинамические характеристики, размер, формы и масса частиц, их химический состав и др. Характер подстилающей поверхности, а также атмосферная турбулентность, зависящая от нагревания атмосферы и поверхности земли.

В основе практических методик (при определении рассеивания) лежат модели гидродинамики; уравнение гидропереноса:

$$\frac{dC}{dt} = -\left(u \frac{dC}{dx} + v \frac{dC}{dy} + \omega \frac{dC}{dz}\right) + Q - R, \quad (7)$$

где:  $C$  – концентрация загрязнителя;

$t$  – время;

$u, v, \omega$  – составляющие скорости ветра;

$x, y, z$  – координаты, связанные с направлением ветра;

$Q$  и  $R$  – скорости притока и стока примеси.

Для расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе, содержащихся в выбросах предприятий, используется методика «ОНД-86». Расчет ведется для неблагоприятных метеоусловий, когда скорость ветра достигает опасного значения; имеет место интенсивный вертикальный турбулентный обмен в атмосфере и обеспечивается достижение максимальных концентраций загрязнителя на уровне  $C_m \leq \text{ПДК}$ .

### **Тема 2.8. Выбор высоты дымовых труб. Основные конструкции дымовых труб**

#### Распространение выбросов из факела

При расчетах рассеивания дымовых выбросов необходимо учитывать подъем факела над устьем и эффективную высоту дымовой трубы. Эффективная высота дымовой трубы  $h_{эф}$  – это та высота, до которой поднимается факел дыма от уровня земли.

$$h_{эф} = h + \Delta h, \quad (8)$$

где:  $\Delta h$  – подъем факела;  $h$  – геометрическая высота.

Подъем выброса на высоту  $\Delta h$  зависит по крайней мере от значения шести факторов. Первый из

них – общее количество тепла, эмиттируемое источником. Количество тепла в объеме выброса определяет еще одну важную характеристику – плавучесть. Увеличение плавучести ведет к увеличению высоты подъема выброса. Третий фактор – скорость эмитируемых (выпускаемых) газов: чем выше скорость их скорость, тем выше подъем выбросов. Четвертый – площадь источника: больший источник, с высокой скоростью эмиттирующий газы в атмосферу, обладающий более высокой температурой газов, обеспечивает и большую плавучесть выброса и более устойчивое состояние атмосферы в течение более длительного времени. Пятый – скорость ветра: она влияет на турбулентное перемешивание и разбавление выброса окружающим воздухом. Таким образом, сильные ветры должны уменьшать высоту подъема выброса и его плавучесть. Шестой – стабильность атмосферы: она создает дополнительные ограничения вертикального обмена воздушных масс и, как следствие, может лимитировать высоту подъема выброса.

#### Назначение и классификация дымовых труб

Трубы разделяются по форме ствола на конические и цилиндрические и состоят из таких конструктивных элементов: фундаментной плиты, стакана фундамента, монолитного железобетонного ствола, футеровки, светофорных площадок, зольного перекрытия, проемов для бортов, теплоизоляции, антикоррозионного покрытия.

Тяга в дымовой трубе котельного агрегата и ввод воздуха в топку котла могут быть естественными и искусственными. Для горения топлива необходим непрерывный подвод в топку котла атмосферного воздуха и удаление из топки котла образующихся дымовых газов в атмосферу через дымоход и дымовую трубу.

Естественная тяга осуществляется в котельных агрегатах производительностью до 2,5 т/час и с сопротивлением газового тракта не более 300 Па (30 мм водяного столба) при сжигании нешлакующих или малошлакующих топлив (дрова, торф) с помощью установки дымовой трубы. Естественной тягой называют разность давлений, появляющуюся вследствие различных плотностей наружного холодного воздуха и горячих дымовых газов в трубе котельной установки, которая приводит к возникновению движения потока дымовых газов в газоходах котла.

Высокие дымовые трубы являются сложными дорогостоящими сооружениями, работающими в тяжелых условиях в среде дымовых газов. В настоящее время высота дымовых труб определяется из условия рассеивания загрязнителей в атмосфере до концентраций, не превышающих ПДК.

Классификация дымовых труб.

1. По количеству стволов: - одноствольные; - многоствольные.
2. По материалу: - металлические (60-80 м); - кирпичные (до 120 м); - железобетонные (до 240 м).
3. По типу: - с прижимной футеровкой; - с естественным противодействием; - с вентилируемым зазором; - с проходным зазором.

Основное требования к трубе – труба должна работать без ремонта 30-50 лет.

#### Основные конструкции дымовых труб

##### Дымовые трубы с прижимной футеровкой

Дымовые трубы должны иметь высокую надежность и долговечность при умеренной стоимости сооружения. До высоты 120 метров применяются дымовые трубы различных типов – кирпичные, металлические, из сборных элементов, монолитные железобетонные. Дымовые трубы высотой более 120 метров имеют, как правило, железобетонную коническую оболочку, которая воспринимает ветровые и весовые нагрузки. Внешняя поверхность железобетонного ствола покрывается изоляцией, эпоксидным лаком и стеклотканью. Внутренняя часть дымовой трубы, непосредственно соприкасающаяся с уходящими дымовыми газами котлов и энергетических установок, выполняется при этом по-разному. Наибольшее распространение до настоящего времени имели дымовые трубы с *прижимной футеровкой* из красного или кислотоупорного кирпича, укладываемого на консолях несущего железобетонного ствола, выполняемые через 30-50 м. Внутренняя поверхность футеровки затирается той же замазкой с последующей окисловкой 20-процентным раствором  $H_2SO_4$ . На верхнем обрезе трубы для защиты устанавливается чугунный колпак. Для установки на трубе светоограждения предусматриваются светофорные площадки через каждые 15-30 м. Недостаток таких труб – конструкция дымовой трубы не является достаточно надежной, так как допускает проникновение агрессивных дымовых газов, влаги, высоких температур к несущему железобетонному стволу трубы через неплотности футеровки. Это требует создания антикоррозийной футеровки.



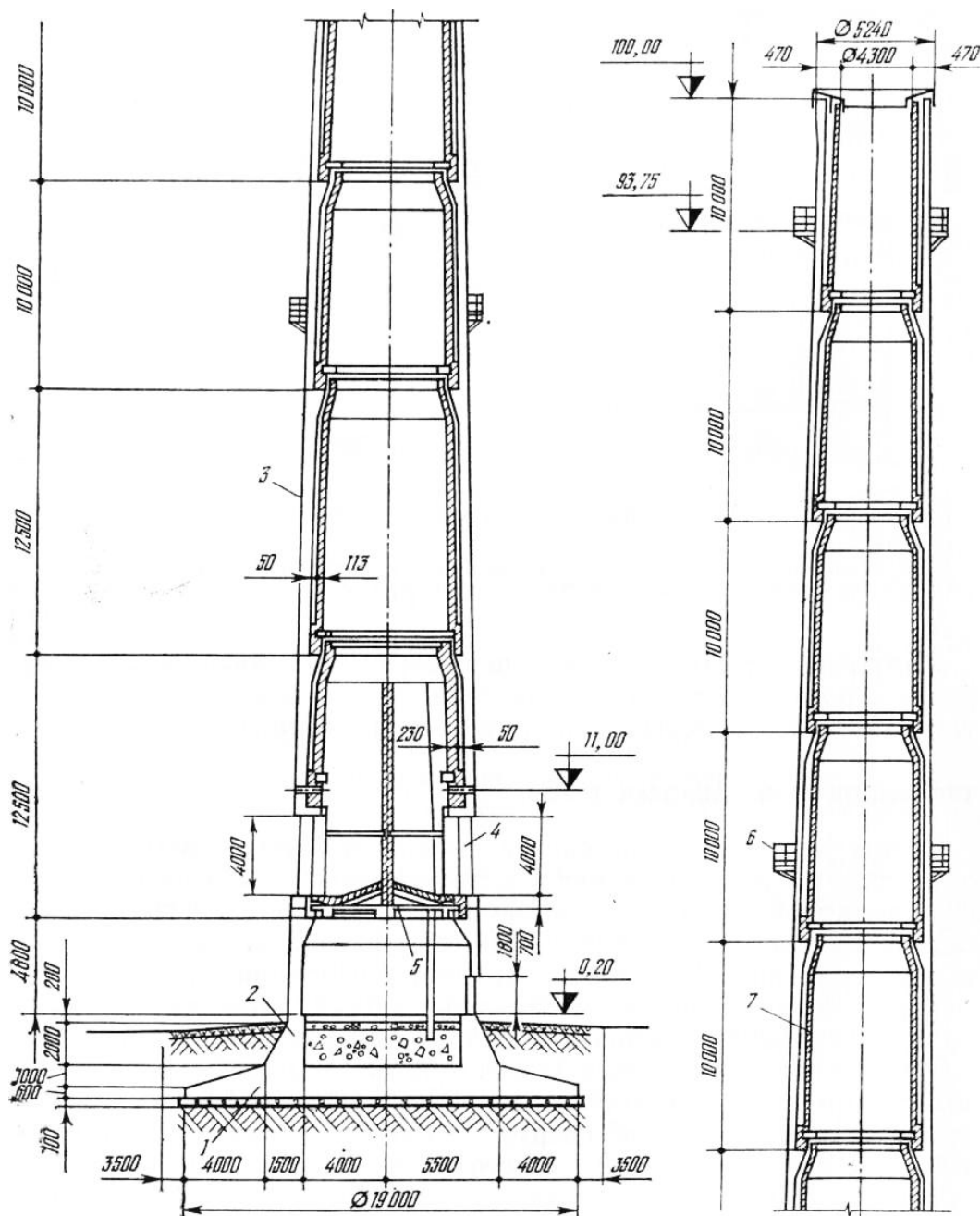
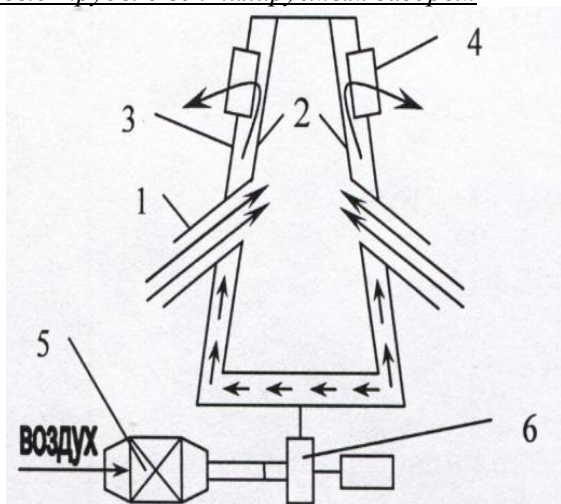


Рисунок 4 – Промышленная дымовая коническая труба:

1 — фундаментная плита; 2 — стакан фундамента; 3 — монолитный железобетонный ствол; 4 — проемы для бороз; 5 — зольное перекрытие; 6 — светофорные площадки; 7 — футеровка.

Дымовые трубы с вентилируемым зазором



- 1 — газоходы
- 2 — газоотводящий ствол, футеровка
- 3 — несущий (железобетонный) ствол
- 4 — газоотводящие окна
- 5 — паровой калорифер
- 6 — вентилятор

Рисунок 5 — Схема дымовой трубы с вентилируемым зазором



Модификацией дымовых труб с прижимной футеровкой являются более надежные – с *вентилируемым непроходным зазором* между газоотводящим стволом из кирпича и железобетонной оболочкой (рисунок). Подогретый в паровых калориферах до температуры 60—100°С воздух подается в зазор шириной 100—200 мм с помощью вентилятора, установленного под дымовой трубой. За счет вентилятора в воздушном зазоре создается избыточное давление. В некоторых случаях вентиляция в зазоре может осуществляться за счет самотяги.

Преимущество: трубы с вентиляруемым зазором характеризуются высокой надежностью.

Недостаток: дополнительные затраты тепловой и электрической энергии на собственные нужды.

#### Трубы с естественным противодавлением

Естественное противодавление создается за счет переменного по высоте зазора (700 мм внизу и 200 мм сверху), что обеспечивает избыточное статическое давление верхней части ствола. Недостатком таких труб является невозможность профилактического осмотра и ремонта без остановки трубы, поэтому применяют трубы с проходным зазором.

#### Многоствольные трубы

Преимущество: возможность отключения одного или двух котлоагрегатов при выходе из строя ствола.

Газоотводящие стволы многоствольных труб могут выполняться из металла, бетона или кислотоупорного кирпича. С наружной стороны они изолируются минераловатными прошивными матами. Вентиляция межтрубного пространства естественная, через фрамуги и вентиляционные отверстия. Многоствольные трубы оборудуются грузопассажирскими лифтами и лестницами.

### **Раздел 3. Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных**

#### **Тема 3.1. Классификация методов снижения загрязняющих выбросов в атмосферу**

По агрегатному состоянию загрязнители воздуха подразделяются на:

- пыли;
- туманы;
- газопарообразные примеси.

Промышленные выбросы, содержащие взвешенные твердые или жидкие частицы, представляют собой двухфазные системы. Сплошной фазой в системе являются газы, а дисперсной – твердые частицы или капельки жидкости.

Системы очистки воздуха от пыли делятся на четыре группы:

- 1) сухие пылеуловители,
- 2) мокрые пылеуловители,
- 3) электрофильтры,
- 4) фильтры.

При повышенном содержании пыли в воздухе используют пылеуловители и электрофильтры. Фильтры применяют для тонкой очистки воздуха с концентрацией примесей менее 100 мг/м<sup>3</sup>.

Для очистки воздуха от туманов (кислот, щелочей, масел и других жидкостей) используют системы фильтров, называемых туманоуловителями.

Выбор средств защиты воздуха от газопарообразных примесей зависит от применяемого метода очистки. По характеру протекания физико-химических процессов выделяют методы:

- 1) абсорбции – промывка выбросов растворителями примеси;
- 2) хемосорбции – промывка (орошение) выбросов растворами реагентов, связывающих примеси химически (вступающих в химическую реакцию с вредными примесями);
- 3) адсорбции – поглощение (улавливание) газообразных примесей твердым пористым поглотителем – адсорбентом.
- 4) термической нейтрализации – высокотемпературное дожигание;
- 5) каталитической нейтрализации – очищаемый газ пропускается через слой катализатора – материала, который ускоряет протекание реакций.

Выбор того или иного пылеулавливающего устройства определяется дисперсным составом улавливаемой частицы промышленной пыли. Очистку в обеспыливающих устройствах можно условно разделить на грубую – от частиц размером более 10 мкм и тонкую – менее 10 мкм.

Для грубой – применяются гравитационные и сухие пылеуловители, некоторые фильтры контактного действия.

Тонкая очистка проводится в инерционных пылеуловителях с применением воды, скрубберах

Вентури, абсорберах, контактных фильтрах, электрофильтрах и др. На практике нередко применяются комбинации из нескольких методов очистки. Выбор метода обусловлен степенью запыленности газа, дисперсностью частиц и требованиями к очистке.

### **Тема 3.2. Снижение выбросов твердых частиц с продуктами сгорания. Физико-химические свойства летучей золы**

#### Физико-химические свойства летучей золы

1. Плотность – отношение массы к занимаемому ею объему: а) истинная – за вычетом объема пор и газовых включений; б) кажущаяся – с учетом пор и газовых включений; в) насыпная – отношение массы свеженасыпанных, неуплотнённых частиц с учетом воздушных промежутков к занимаемому объему.

Эти данные используются для определения объемов бункеров золы.

2. Дисперсный состав - распределение частиц по размерам.

Используется понятие «фракция» – относительная доля частиц, размеры которых находятся в определенном интервале значений.

Для определения дисперсного состава фракций с малым размером частиц используется метод микроскопического анализа. Для более крупных частиц используется метод просеивания через ряд сит с различным размером ячеек. О размере частицы судят по размеру наименьшего отверстия сита, через которое она проходит.

3. Адгезионные (от лат. adhaesio — прилипание; адгезия – сцепление поверхностей разнородных твёрдых и/или жидких тел) и аутогезионные (сцепление поверхностей однородных твёрдых и/или жидких тел) свойства – прочность сцепления золы с макроскопическими поверхностями (адгезия) и друг с другом (аутогезия).

Влияет на выбор золоуловителя, так как один из основных недостатков золоуловителя – его забивание.

4. Сыпучесть – оценивается по углу естественного откоса, который принимает пыль в свеженасыпном состоянии. Диаметр пылевыпускных отверстий выбирается с учетом сыпучести (в пылеуловителях, то есть циклонах).

5. Абразивность (т.е. способность шлифовать, истирать какую-либо поверхность). Интенсивность абразивного износа золоулавливающих установок зависит от твердости, размеров и формы частиц. Установлено, что по мере увеличения размера частиц до 90 мкм возрастает абразивный износ, а затем снижается. Это свойство учитывается при выборе толщины стенок газохода и скорости потока.

6. Смачиваемость частиц:

- гидрофильные;

- гидрофобные;

- абсолютно гидрофобные.

Влияет на выбор золоуловителя. При соприкосновении плохо смачиваемой частицы с поверхностью жидкости она не погружается в жидкость, а остается на поверхности, поэтому вновь подводимые частицы в результате упругих соударений будут возвращаться в поток газа, а следовательно, не будут улавливаться.

7. Удельное электрическое сопротивление.

Это свойство важно при работе электрофильтров:

1) с низким сопротивлением, меньше  $10^4$  Ом\*см. Высокая электропроводность способствует быстрой потере зарядов на осадительных электродах, соответственно, исчезает притяжение (#, донецкий антрацит);

2) со средним сопротивлением  $10^4$ - $10^{10}$  Ом\*см. Наиболее улавливаемая зола в электрофильтрах (#, канско-ачинские угли);

3) с высоким электрическим сопротивлением, больше  $10^{10}$  Ом\*см, т.е. диэлектрики (#, кузнецкий, экибастусский угли).

### **Тема 3.3. Основные показатели работы золоуловителя. Принцип действия и конструкции инерционных золоуловителей**

#### Классификация золоуловителей

1. Сухие (жалюзийные решетки, пылесадительные камеры, циклоны, батарейные циклоны).

2. Мокрые (Скрубберы: Вентури, центробежный, барботажно-пенный, насадочный).

3. Механические (или инерционные – под действием силы инерции)

4. Электрофильтры – под действием электричества.

Сухие механические золоуловители в зависимости от механизма осаждения делят на: 1) гравитационные (за счет силы притяжения, тяжести) – пылесадительные камеры; 2) инерционные – за счет изменения направления движения газового потока или установки на его пути препятствия; сюда относят инерционные пылеуловители и жалюзийные камеры; 3) центробежные – (за счет центробежных сил) циклоны, батарейные циклоны; 4) фильтры – за счет осаждения золы на пористой перегородке; бывают рукавные, ячейковые, рулонные.

Основные показатели механических (инерционных) золоуловителей

1. Степень улавливания, о.е.:

$$\eta = \frac{G_{\text{вх}} - G_{\text{вых}}}{G_{\text{вх}}} = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} = 1 - \frac{C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}}, \quad (9)$$

где  $G_{\text{вх}}$  и  $G_{\text{вых}}$  – это количество входящей и выходящей золы за единицу времени, г/с, кг/с;  $C$  – концентрация золы в дымовых газах на входе и выходе золоуловителя, кг/м<sup>3</sup>.

2. Для проведения расчетов также используется величина проскока (уноса) золы через золоуловитель, о.е.:

$$\varepsilon = 1 - \eta = \frac{C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}}. \quad (10)$$

3. Эффективность улавливания частиц золы определяют через безразмерный параметр золоулавливания  $\Pi$ :

$$\Pi = \frac{uA}{V}, \quad (11)$$

где  $u$  – скорость дрейфа частиц, м/с (скорость движения частиц золы под действием сил осаждения);  $A$  – площадь поверхности канала золоулавливания, м<sup>2</sup>;  $V$  – расход газа, м<sup>3</sup>/с.

Уравнение золоулавливания выведено при трех допущениях: 1) отсутствует вторичный унос частиц золы из золоуловителя; 2) все частицы имеют одинаковую скорость дрейфа; 3) распределение скоростей газов по сечению потока равномерно.

Рассмотрим два предельных случая поведения частиц в потоке.

1. Если поток газов движется турбулентно, а частицы достаточно мелки (менее 30 мкм) и активно участвуют в турбулентных пульсациях потока, то можно принять, что концентрация частиц у поверхности мало отличается от средней концентрации в рассматриваемом сечении золоуловителя. В этом случае выражение для определения степени проскока имеет вид:

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} = \exp(-\Pi). \quad (12)$$

2. Когда частицы не пульсируют в потоке и каждая движется по соответствующим линиям тока – характерно для частиц с диаметром более 30 мкм. В этом случае даже при турбулентном потоке газов частицы практически не пульсируют. В этом случае

$$\varepsilon = 1 - \Pi, \quad \eta = \Pi. \quad (13)$$

Степень улавливания возрастает с ростом параметра золоулавливания  $\Pi$ , с увеличением скорости дрейфа и поверхности осаждения. Степень улавливания уменьшается с увеличением расхода очищаемого газа.

В настоящее время нет расчетных выражений, учитывающих принятое допущение, поэтому в реальных расчетах к результатам полученным по представленным формулам, вводятся поправки, учитывающие особенности конструкций золоуловителей.

Частицы разного размера имеют свою скорость дрейфа, поэтому расчет улавливания ведется для каждой фракции отдельно. Тогда общий проскок определяется:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \frac{\Phi_i}{100}, \quad (14)$$

где:  $\varepsilon_i$  – проскок  $i$ -й фракции;  $\Phi_i$  – доля  $i$ -й фракции в общем числе  $n$ , %;  $n$  – число фракций.

Для последовательно установленных золоуловителей:

$$\varepsilon = \prod_{i=1}^m \varepsilon_{ij}, \quad (15)$$

где  $m$  – число ступеней очистки.

Принцип действия и конструкции циклонов, групп циклонов

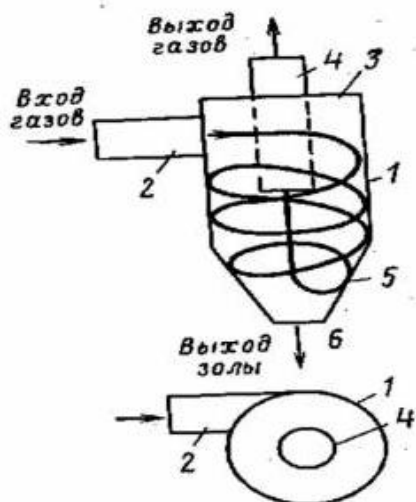


Рисунок 6 – Схема конструкции циклона

- 1 — корпус циклона;
- 2 — входной патрубок;
- 3 — крышка;
- 4 — выходной патрубок;
- 5 — конусная часть корпуса;
- 6 — выход золы.

Принцип действия основан на возникновении центробежных сил в результате закручивания потока. Газовый поток образует обратный вихрь и уже очищенный уходит через выхлопной патрубок. Под действием сил тяжести частицы направляются в пылевидный патрубок.

Групповой циклон

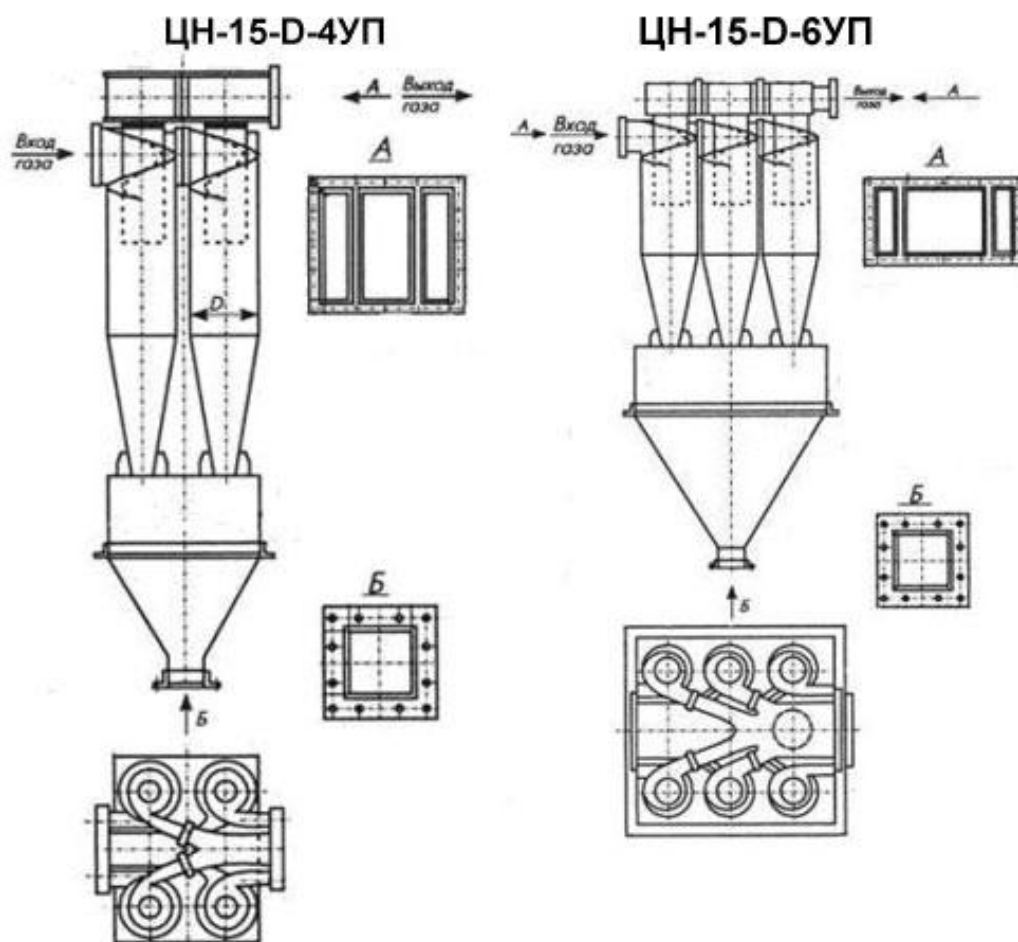


Рисунок 7 – Групповые циклоны с попарной компоновкой:  
а) с 4 циклонами; б) с 6 циклонами.

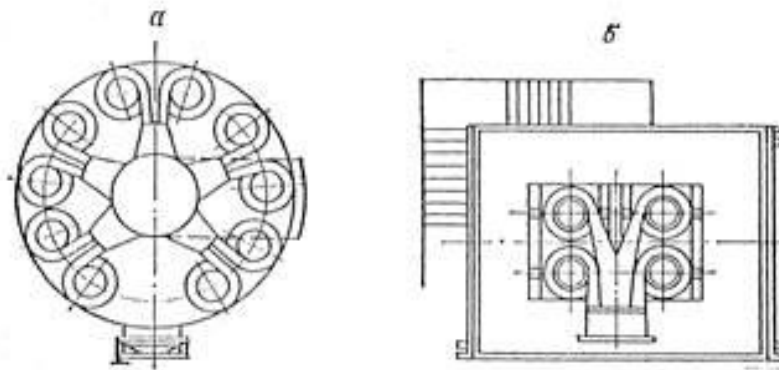


Рисунок 8 – Круговая (а) и попарная (б) компоновка циклонов ЦН (вид сверху).

Групповые циклоны представляют собой несколько параллельно соединенных между собой простых циклонов серии ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24. Их компонуют в 2 ряда (по 1-4 штуки в ряду – итого 2-8 циклонов) или по кругу (вокруг вертикального подводящего газохода по 10-14 штук). Они имеют общий коллектор запыленного газа и общий пылевой бункер.

### Принцип действия и конструкция батарейного циклона

При больших расходах дымовых газов применяют батарейные циклоны. Батарейные циклоны, или мультициклоны, - это пылеуловители, состоящие из десятков или сотен параллельно соединенных между собой циклонов маленького диаметра (типа 4 БЦШ, У21-ББЦ, 2УЦ, 3УЦ, 4УЦ, 2х3УЦ, 2х4УЦ, БЦ 2, БЦ 259, БЦ 512). В отличие от групповых они объединены в одном корпусе, имеют общую пылевую камеру и общую систему подвода и отвода газа.

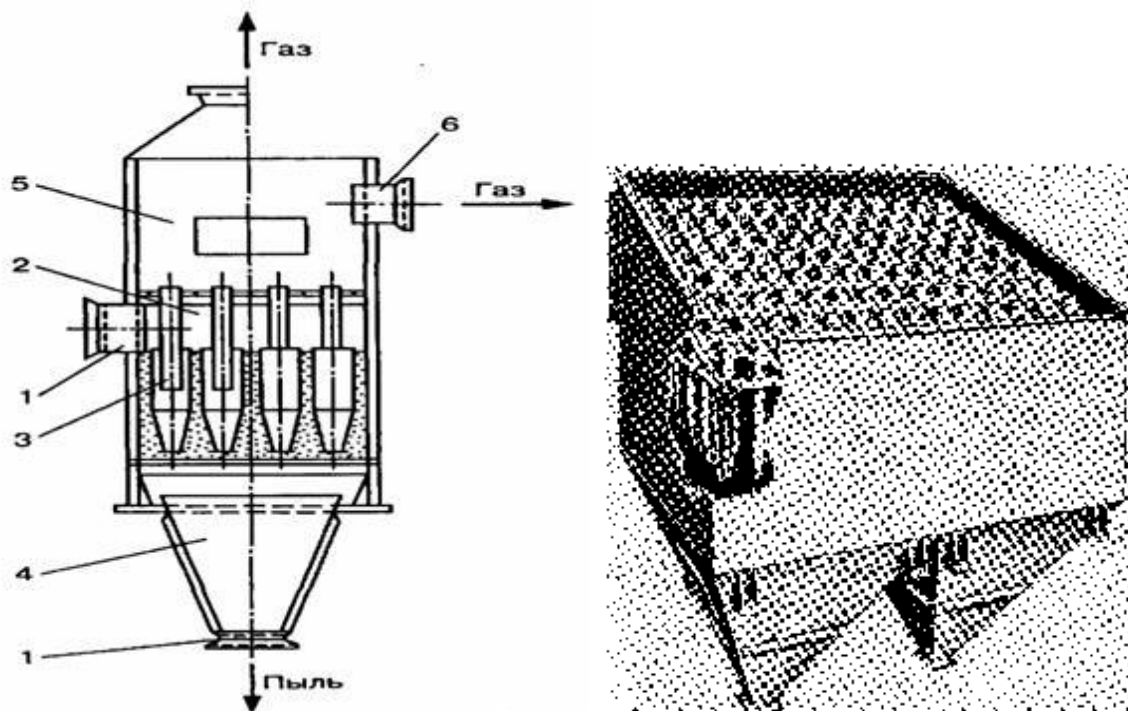


Рисунок 9 – Батарейный циклон: а) секция батарейного циклона; б) БЦ полностью:  
 1 – патрубок; 2 – распределительная камера; 3 – направляющие элементы; 4 – пылесборник; 5 – камера; 6 – патрубок.

Корпус БЦ выполняется секционированным для сохранения оптимальной скорости движения газов при переменных нагрузках путем отключения секций. Степень очистки БЦ – 90-95%. Противопоказанием для применения БЦ является сильная слипаемость пыли, приводящая к замазыванию.

### Тема 3.4. Достоинства и недостатки циклонов. Тканевые (рукавные) фильтры

#### Достоинства и недостатки

Достоинства: отсутствие движущихся частей, надежная работа при высоких температурах (400 °С) и давлении, улавливание золы в сухом виде, постоянное гидравлическое сопротивление, простота изготовления.

Недостатки: относительно низкая степень очистки (90-95%, 95% – батарейные циклоны), особенно от мелких частиц; высокое гидравлическое сопротивление, металлоёмкость.

Эффективность очистки циклонов зависит от скорости газов в степени  $\frac{1}{2}$  и от диаметра в степени  $-\frac{1}{2}$ .  $\rightarrow \eta = f(\omega^{1/2}, D^{-1/2})$ . При очень высоких скоростях будет интенсивный унос частиц, а при маленьких диаметрах – большая металлоёмкость.

#### Тканевые (рукавные) фильтры

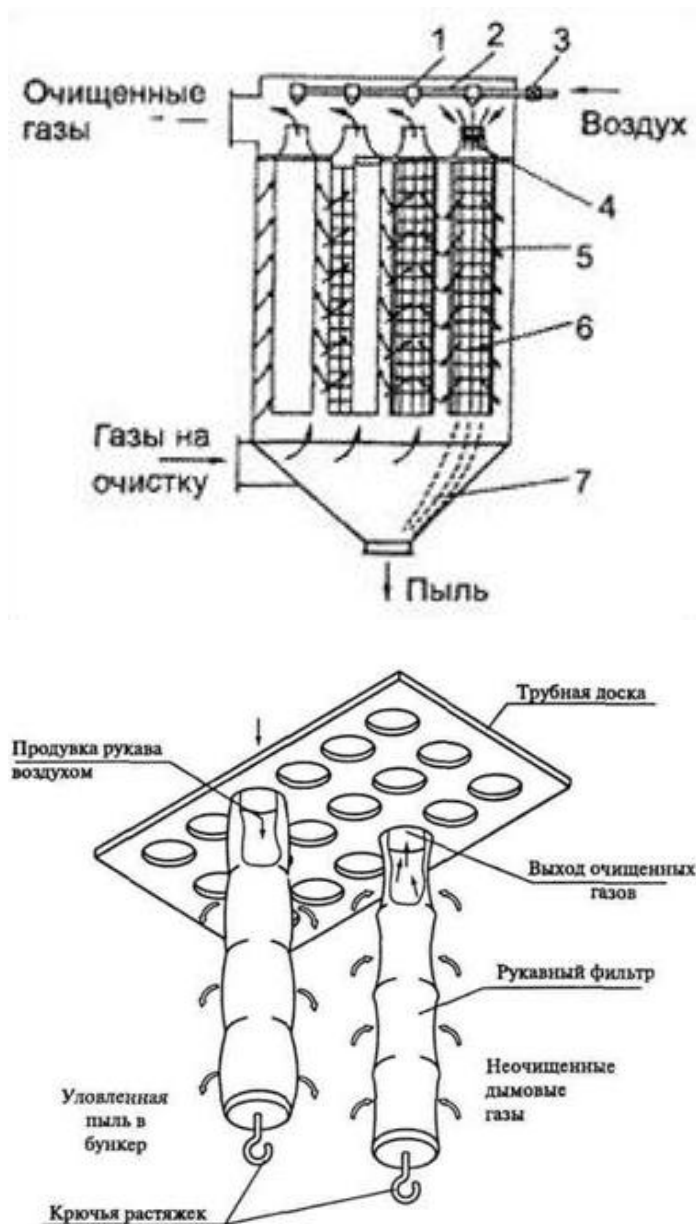


Рисунок 10 – Тканевый рукавный фильтр: а) схема; б) дополнительно.

1 — сопло; 2 — подвод сжатого воздуха; 3 — соленоидный клапан; 4 — струя сжатого воздуха; 5 — рукав; 6 — каркас; 7 — бункер.

В системах промышленной газоочистки широкое распространение нашли рукавные фильтры непрерывного действия с импульсной продувкой, с цилиндрическими рукавами из шерстяной или синтетической ткани. Скорость прохождения газа через поры тканей (т. е. скорость фильтрации) невысока и составляет от 0,02 до 0,2 м/с.

На рисунке б, слева – рукав в режиме очистки продувкой воздухом, справа – рукав в режиме

очистки дымовых газов.

Наибольшую трудность при эксплуатации представляет удаление осевшей на ткани золы. Удаление золы – то есть очистка (регенерация) фильтрационной ткани, из которой изготовлен рукав, – производится периодической импульсной продувкой сжатым воздухом в обратном направлении каждого рукава по очереди. При этом очищаемая секция должна временно отъединяться от газового потока шиберами.

Такие фильтры могут состоять из одной или нескольких секций, в каждой из которых может быть от 4-6 до нескольких сотен рукавов. При очистке больших объемных расходов газов при небольших скоростях фильтрации поверхность фильтрующих рукавов достаточно велика, что приводит к большим габаритам таких фильтров.

### **Тема 3.5. Принцип действия и конструкции мокрых золоуловителей, их достоинства и недостатки**

#### Принцип действия и классификация мокрых золоуловителей

С учетом конструктивных особенностей мокрые золоуловители разделяют на: скрубберы Вентури, форсуночные и центробежные скрубберы, аппараты ударно-инерционного типа, барботажно-пенные аппараты (скрубберы) и другие.

Принцип действия. Мокрые золоуловители работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхности капель или пленки жидкости. Осаждение происходит за счет сил инерции и броуновского движения. Силы инерции зависят от массы капель и частиц пыли, а также от скорости их движения. Частицы пыли малого размера (менее 1 мкм) не обладают достаточной кинетической энергией и при сближении с каплями обычно огибают их и не улавливаются жидкостью. Броуновское движение характерно для частиц малого размера. Для достижения высокой эффективности очистки газа от частиц примесей за счет броуновского движения необходимо уменьшить скорость движения газового потока в аппарате.

#### Достоинства и недостатки мокрых золоуловителей

##### *Достоинства:*

более высокая эффективность по сравнению с сухими механическими пылеуловителями инерционного типа;  
возможность использования при высокой температуре и повышенной влажности газов;  
работа со взрывоопасными газами;  
улавливание вместе с взвешенными твердыми частицами паров и газообразных компонентов;  
невысокая стоимость;  
возможность улавливания мелких частиц (до 0,1 мкм).

##### *Недостатки:*

потребность в воде;  
значительные затраты энергии при высоких степенях очистки;  
получение уловленного продукта в виде шлама, что требует обработку сточных вод и утилизацию отходов, что усложняет процесс очистки;  
необходимость организации оборотного цикла водоснабжения (отстойники, перекачивающие насосы и т. п.);  
образование отложений в оборудовании и газопроводах;  
коррозионный износ оборудования и газопроводов при очистке газов, содержащих агрессивные компоненты.

## Конструкции мокрых скрубберов

### Скруббер Вентури

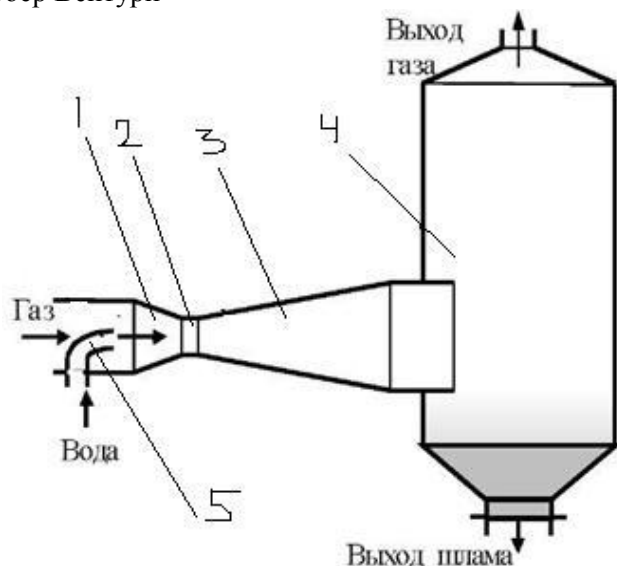


Рисунок 11 – Схема скруббера Вентури

- 1 – сужающаяся секция;
- 2 – горловина;
- 3 – расширяющаяся секция;
- 4 – каплеуловитель;
- 5 – форсунки для ввода жидкости.

Входящий поток газа поступает в сужающуюся секцию 1, и, по мере уменьшения площади поперечного сечения потока, скорость газа увеличивается. В то же время по форсункам 5 в сужающуюся секцию 1 поступает жидкость. Из-за высокой скорости движения газа в узкой горловине 2 происходит турбулентность потока газа. Эта турбулентность разбивает поток жидкости на большое количество мелких капель. Пыль, содержащаяся в газе, оседает на поверхности этих капель. Покидая горловину, газ, перемешанный с облаком мелких капель жидкости, переходит в расширяющуюся секцию 3, где скорость газа уменьшается, турбулентность снижается и капли собираются в более крупные. В каплеуловителе 4 на выходе из скруббера капли жидкости с адсорбированными на них частицами отделяются от потока газа.

### Центробежные скрубберы

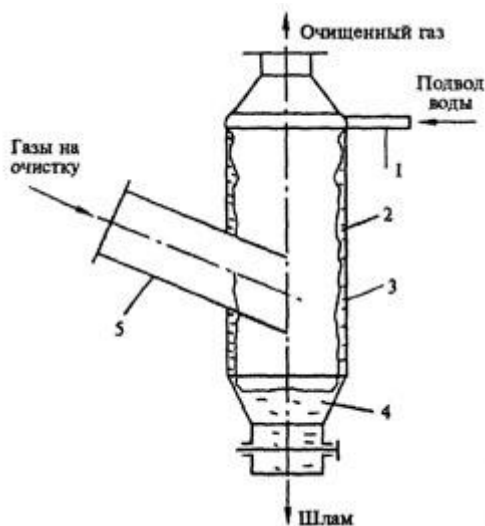


Рисунок 12 – Схема центробежного скруббера

- 1 — распределительное устройство
- 2 — пленка жидкости;
- 3 — корпус;
- 4 — бункер;
- 5 — входной патрубок.

Для мокрой очистки нетоксичных или невзрывоопасных газов от пыли применяют центробежные скрубберы, в которых частицы пыли отбрасываются на пленку жидкости центробежными силами, возникающими при вращении газового потока в аппарате за счет тангенциального расположения входного патрубка в корпусе. Пленка жидкости толщиной не менее 0,3 мм создается подачей воды через распределительное устройство и непрерывно стекает вниз, увлекая в бункер частицы пыли. Эффективность очистки газа от пыли в аппаратах такого типа зависит главным образом от диаметра корпуса аппарата, скорости газа во входном патрубке и дисперсности пыли.

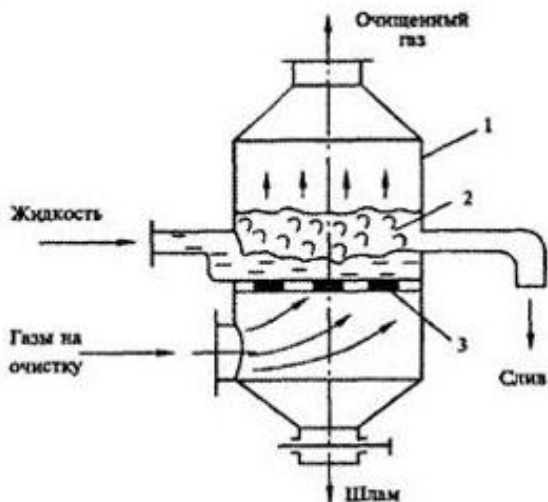


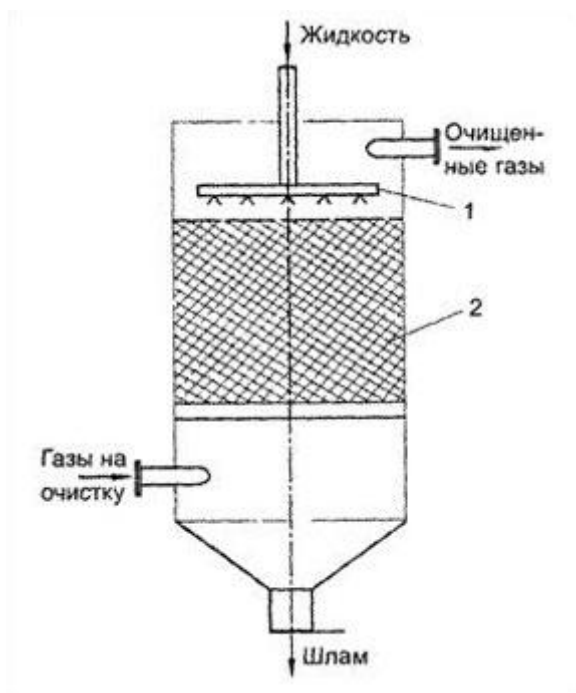
Рисунок 13 – Схема барботажно-пенного скруббера

- 1 — корпус;
- 2 — слой пены;
- 3 — переливная решетка.



Очищаемый газ подается под решетку и проходит через слой жидкости, очищаясь от частиц пыли. При скоростях очищаемого воздуха или газа, не превышающих 1 м/с, последний пробулькивает через слой орошающей жидкости в виде отдельных пузырьков. Такой режим работы аппарата называется барботажным. Увеличение скорости очищаемого газа в корпусе аппарата до 2-2,5 м/с приводит к возникновению пенного слоя над слоем жидкости, что повышает эффективность очистки газа за счет более интенсивного перемешивания газовой и жидкой фаз. Современные барботажно-пенные пылеуловители обеспечивают эффективность очистки газа от мелкодисперсной пыли до 0,95-0,96. Недостатком таких аппаратов является засорение решеток, что приводит к снижению эффективности очистки газов при их неравномерной подаче под решетку, приводящей к местному сдвугу с нее слоя жидкости.

### Насадочный скруббер



- 1 — орошающее устройство,
- 2 — насадка.

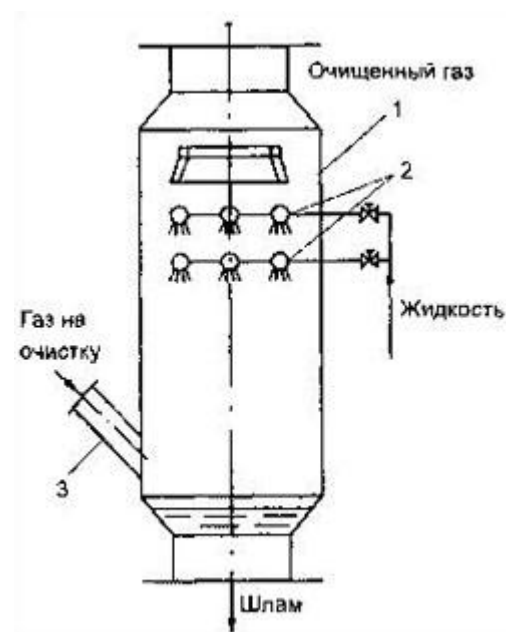
Насадочные скрубберы представляют собой колонны, заполненные специальными насадками в виде колец или шариков, изготовленных из пластмассовых или керамических элементов, или крупный шлак и щебень. Насадка может распределяться в виде отдельных регулярных слоев или беспорядочно. За счет насадки скруббер обладает хорошо развитой поверхностью контакта между газом и орошающей жидкостью, пленка которой образуется на элементах насадки и постоянно разрушается, перетекая с одного элемента насадки на другой.

Насадочные скрубберы используются в основном для предварительного охлаждения газа, улавливания тумана или хорошо растворимой пыли, например сульфата натрия, присутствующего в дымовых газах содорегенерационных котлоагрегатов.

Рисунок 14 – Схема насадочного скруббера

### Форсуночный скруббер

Рисунок 15 – Схема форсуночного скруббера



- 1 — корпус;
- 2 — форсуночные пояса;
- 3 — патрубок.

Форсуночные скрубберы являются простыми по конструкции. В них запыленный газовый поток по патрубку направляется на зеркало жидкости, на котором осаждаются наиболее крупные частицы пыли. Затем запыленный газ, равномерно распределенный по сечению корпуса, поднимается навстречу потоку капель жидкости, подаваемой в скруббер через форсуночные пояса, которые образуют несколько завес из распыленной на капли орошающей жидкости. Аппараты этого типа работают по принципу противотока.

Очищаемый газ движется навстречу распыляемой жидкости. Эффективность очистки, достигаемая в форсуночных скрубберах, невысока и составляет 0,6-0,7 для частиц размером более 10 мкм. Одновременно с очисткой газ, проходящий через полый форсуночный скруббер, охлаждается и увлажняется до состояния насыщения.

### Тема 3.6. Принцип действия электрофильтра. Методы повышения эффективности очистки дымовых газов в электрофильтрах

#### Принцип действия, классификация, конструкции электрофильтров

Аппараты электрофильтрационной очистки предназначены для очистки больших объемных расходов газа от пыли. Принцип действия основан на осаждении частиц пыли в электрическом поле.

Очищаемые газы проходят через систему коронирующих и осадительных электродов. К коронирующим электродам подведен ток высокого (до 60 000 В) напряжения, благодаря коронному разряду происходит ионизация частиц пыли, которые приобретают электрический заряд. Заряженные частицы движутся в электрическом поле в сторону осадительных электродов и оседают на них.

По способу удаления с электродов осажденных частиц пыли электрофильтры подразделяются на сухие и мокрые. Принцип действия одинаков для обоих типов, но различие заключается в следующем. В сухих электрофильтрах улавливаются твердые частицы, которые через определенные интервалы времени удаляются с электродов встряхиванием. В мокрых электрофильтрах можно улавливать твердые и жидкие частицы (капельки тумана). Твердые частицы, осаждаемые на электродах мокрых электрофильтров, удаляются с электродов промывкой водой, а жидкие по мере накопления сами стекают с электродов.

Электрофильтры также подразделяются на однозонные и двухзонные. В однозонных электрофильтрах ионизация и осаждение частиц осуществляются в одной зоне. Для тонкой очистки газов более эффективными являются двух-зонные электрофильтры, в которых ионизация частиц происходит в специальном ионизаторе.

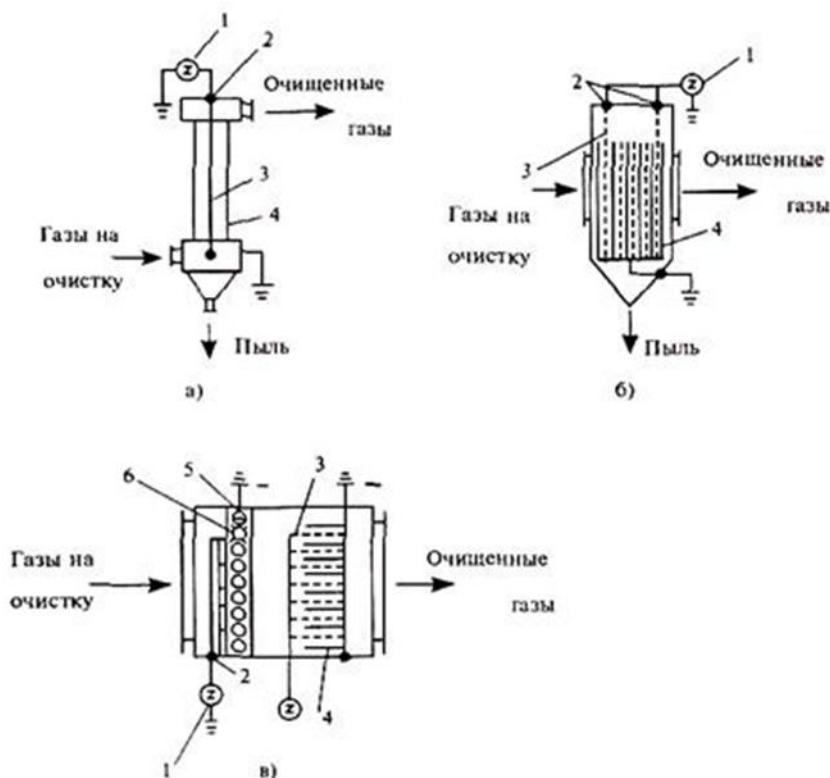


Рисунок 16 – Типы электрофильтров:

а) вертикальный трубчатый однозонный однополюсный; б) горизонтальный пластинчатый однозонный однополюсный; в) горизонтальный двухзонный однополюсный; 1 — агрегаты электропитания; 2 — изоляторы; 3 — коронирующие электроды; 4 — осадительные электроды; 5 — отрицательные электроды ионизатора; 6 — положительные электроды ионизатора.

#### Достоинства и недостатки электрофильтров

Достоинства электрофильтров:

- очистка газов больших объемов от пыли и туманов с высокой эффективностью (99-99,9%);
- способность улавливания частиц различных размеров;
- возможность работы при высоких температурах до 425°C;
- работа установки в среде перенасыщенной влагой;
- возможность работы электрофильтра в агрессивных средах;
- возможность продолжительной работы установки за пределами технологических параметров,

предусмотренными картой эксплуатации;

– низкое гидравлическое сопротивление установки  $\sim 200$  Па (для мокрых?);

(ГС, или гидравлические потери – сопротивление движению жидкости, приводящее к потере механической энергии потока)

– низкие эксплуатационные расходы;

– простота в обслуживании;

– высокая надежность узлов и механизмов.

К недостаткам электрофильтров относится их высокая стоимость и невозможность проводить очистку взрывоопасных газов.

### **Тема 3.7. Снижение загрязнений летучей золой из золоотвалов**

Использование отходов ТЭС имеет большое экономическое и экологическое значение, поскольку отходов очень много, а создание и содержание отвалов требует значительных средств. За сутки работы ТЭС мощностью 1 млн. кВт сжигает 10000 т угля и выделяет 1000 т шлака и золы. Ежегодно для захоронения такого количества шлаков при высоте захоронения 8 м требуется более 1 га площадей.

В России 85% золошлаковых отходов размещаются в золошлакоотвалах, 15% – утилизируются. В различных областях промышленности используется до 80% золошлаковых отходов.

По зерновому составу отходы менее 0,25 мм – зола, а более крупные – шлаки. Зола и шлаки представляют собой ценность и минеральное сырье. Могут быть использованы в сельском хозяйстве для нейтрализации кислых почв, в металлургии, при сооружении дорог и в других областях, однако главной областью применения топливных шлаков является производство строительных материалов. Их используют самостоятельно, как теплоизолирующую засыпку, и как компонент для производства цемента, газобетона, керамзитобетона, зольного гравия, глиняного и силикатного кирпича.

Для определения возможности и направлений использования золы необходимо знать ее физические и химические свойства. Химический состав золы влияет на ее способность к выщелачиванию, а также определяет ее поведение при старении. Физические свойства золы (такие, как дисперсность, гидравлическая проводимость, плотность, уплотняемость, прочность, несущая способность и др.) влияют на прочностные характеристики и эксплуатационные свойства получаемых строительных материалов на ее основе.

### **Тема 3.8. Снижение выбросов соединений серы: переработка сернистых топлив перед сжиганием**

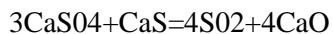
Удаление серы из твердого топлива. Сера в твердом топливе содержится в трех формах: в виде включений колчедана  $\text{FeS}_2$ , серы, входящей в состав молекул органической массы топлива, и сульфатной (в сернокислых солях кальция и щелочных металлов).

В результате простейшего обогащения угля можно удалить только колчеданную серу, используя большую ее плотность (около 5 т/м<sup>3</sup>) по сравнению с остальной массой угля (около 2 т/м<sup>3</sup>). Отделение колчедана дает ощутимый эффект, если колчеданная сера составляет значительную величину от общей серы и вкрапления колчедана достаточно крупны. Так, для подмосковного бурого угля даже при сухом методе обогащения из угля-дробленки удается удалить 25-30% серы. Отсепарированный колчедан может быть использован для получения серной кислоты.

Для отделения от угля колчеданной и органической серы может быть применено гидротермическое обессеривание углей, заключающееся в обработке измельченного топлива в автоклавах при давлении 1,75 МПа и температуре около 300°C щелочными растворами, содержащими гидраты окисей натрия и калия. При этом получается уголь с весьма малым содержанием серы, который отделяется от жидкости центрифугированием и затем сушится. Жидкость, содержащая сульфиды натрия и калия, регенерируется в результате обработки углекислотой, а из получающегося при этом сероводорода извлекается элементарная сера.

Связывание серы в кипящем слое. Топливо может сжигаться в кипящем слое частиц размолотого известняка, в которые погружены для интенсивного охлаждения поверхности нагрева котла. Подобный способ сжигания может использоваться для жидкого, твердого и газового топлив, содержащих серу. При температуре около 900°C происходит диссоциация  $\text{CaCO}_3$  на  $\text{CO}_2$  и  $\text{CaO}$ , а в реакцию с серой вступает  $\text{CaO}$ , образуя в конечном итоге  $\text{CaSO}_4$  – сульфат кальция. Очистка топлива от серы при этом может составлять около 90%.

Часть кипящего слоя, поглотившего серу топлива, подается пневмотранспортом на регенерацию. При температуре 1000-1500°C под беспровальную решетку подаются продукты сгорания, поддерживающие температуру в слое на уровне 1000-1100°C. При этом протекает реакция



Газообразные продукты содержат до 10% сернистого ангидрида, который может быть использован для производства серной кислоты. Регенерированная окись кальция возвращается в топочное устройство котла.

Такая схема сжигания в кипящем слое разработана, в частности, для сернистого мазута. Наряду с определенными преимуществами этот способ имеет существенные недостатки, препятствующие его широкому применению на ТЭС: требуются создание принципиально новых конструкций котлов, организации установок для приготовления фракций известняка, создание установок по регенерации сернистых соединений кальция, улавливание твердых частиц, уносимых из кипящего слоя, пневмотранспорт абразивных материалов и др.

Удаление серы из жидкого топлива. Снижение сернистости сжигаемого топлива можно осуществить, подвергая его воздействию высоких температур с использованием окислителей (газификации) или без них (пиролиз).

Процесс газификации осуществляется в условиях высоких температур (900-1300°C) при ограниченном доступе кислорода.

В результате образуется газ, горючими компонентами которого являются метан и его гомологи, окись углерода и водород. Из серы топлива при этом образуется сероводород, который является более активным веществом по сравнению с  $\text{SO}_2$  и должен быть удален перед поступлением горючего газа в топку котла.

### **Тема 3.9. Сухие и мокрые методы сероочистки дымовых газов. Сравнение и выбор метода сероочистки**

#### Особенности и классификация методов сероочистки дымовых газов

Все известные на сегодня методы сероочистки дымовых газов можно классифицировать следующим образом:

– абсорбционные, при которых сернистый ангидрид связывается химически с промывной жидкостью физическим путем посредством молекулярного притяжения (абсорбция – поглощение вещества из растворов или газов твердыми телами или жидкостями, которое происходит во всем объеме поглотителя – абсорбента);

– адсорбционные, при которых происходит связывание сернистого ангидрида с поверхностью твердого материала чисто физическими силами взаимодействия (адсорбция – поглощение вещества из растворов или газов твердыми телами или жидкостями, которое происходит только на поверхности поглотителя – адсорбента);

– хемосорбционные, при которых происходит химическое связывание с твердым материалом (хемосорбция – т.е. химическая адсорбция — адсорбция, при которой между адсорбентом и адсорбатом происходит образование химической связи).

Вышеперечисленные способы можно разделить на мокрые и сухие в зависимости от того, в какой фазе происходит процесс связывания сернистого ангидрида.

По виду конечного продукта, получаемого в результате реакции, методы сероочистки можно классифицировать на методы с получением продукта, пригодного для дальнейшего применения, и методы с получением непригодного для дальнейшего применения продукта.

#### Мокрые методы сероочистки дымовых газов

Мокрые абсорбционные методы, использующие для связывания сернистого ангидрида промывочные растворы со щелочными свойствами, получили наиболее широкое распространение. К этим методам относятся:

– абсорбция  $\text{SO}_2$  с помощью основных щелочных соединений ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). Этот метод экономически оправдан только тогда, когда возможна регенерация абсорбента, так как эти соединения относительно дороги; образующиеся в результате реакции легко растворимые соли не подлежат хранению и дальнейшему использованию;

– абсорбция  $\text{SO}_2$  с помощью щелочноземельных соединений ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ). Конечным продуктом этих методов, как правило, является гипс, пригодный к дальнейшему применению;

– абсорбция  $\text{SO}_2$  с помощью так называемого двойного щелочного способа. Конечный продукт – пригоден для дальнейшего применения; из-за сложности и высокой стоимости не нашёл широкого применения.

– абсорбция  $\text{SO}_2$  с помощью соединений аммония ( $\text{NH}_4\text{OH}$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ ). В результате процесса получается серная кислота и сера.

### Сухие методы сероочистки дымовых газов

К сухим способам очистки можно отнести:

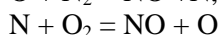
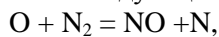
- сухой аддитивный метод (хемосорбция), при котором щелочноземельные соединения (в основном известняк) непосредственно подаются в топку или подаются туда вместе с топливом. Метод имеет относительно низкую эффективность;
- хемосорбция  $\text{SO}_2$  с применением окиси меди;
- каталитическое окисление  $\text{SO}_2$  в  $\text{SO}_3$ , с получением в результате процесса серной кислоты;
- адсорбция  $\text{SO}_2$  с применением активированного угля или кокса, с получением конечного продукта – разбавленной серной кислоты или гипса;
- радиационно-химическая очистка дымовых газов от окислов серы и азота (радиолиз). Конечным продуктом является сульфат и нитрат аммония.

### **Тема 3.10. Механизмы образования окислов азота при сжигании органических топлив**

Различают три механизма образования оксидов азота: термический, быстрый и топливный.

При образовании термических и быстрых оксидов азота – источником азота является воздух, а в случае образования топливных оксидов азота - азотсодержащие составляющие топлива.

*Термические* оксиды азота образуются в результате реакции окисления атмосферного азота свободным кислородом в процессе горения. Основное количество термических оксидов азота образуется в узком диапазоне температур, близком к максимальной температуре в зоне активного горения. Механизм образования термических оксидов азота был предложен Я.Б. Зельдовичем и включает следующие реакции:

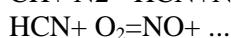
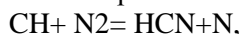


Позднее он был дополнен реакцией атомарного азота с гидроксидом и получил название расширенного механизма Я.Б. Зельдовича:



Основными факторами, влияющими на выход термических оксидов азота, являются: температура в зоне генерации  $\text{NO}_x$ , концентрация атомарного кислорода и время пребывания продуктов сгорания в этой зоне. При этом концентрация оксидов азота линейно увеличивается с увеличением концентрации атомарного кислорода и экспоненциально с увеличением температуры.

*Быстрые* оксиды азота образуются при сравнительно низких температурах в результате реакций углеводородных радикалов с азотом воздуха и последующего взаимодействия азотсодержащих и кислородсодержащих радикалов. Этот метод образования оксидов протекает с очень высокой скоростью (отсюда их название; быстрые). Образование быстрых оксидов прежде всего зависит от концентрации радикалов в корневой части факела. При окислительном пламени (горение происходит с избытком кислорода) их вклад незначителен, но при сжигании обогащенных смесей и при низкотемпературном горении их доля может достигать 25% от общего содержания оксидов азота. Механизм образования “быстрых”  $\text{NO}_x$  описан С. Фенимором:



*Топливные* оксиды азота образуются из азотсодержащих соединений топлива при окислении кислородом уже при температуре 900-1000 К.

Топливные оксиды азота образуются при сжигании природного газа (так как он, за редким исключением, не содержит связанного азота), но зато при сжигании мазута и особенно всех видов твердого топлива (торфа, сланцев, бурых и каменных углей) доля топливных  $\text{NO}_x$  весьма велика, а в некоторых случаях составляет 100% общего выброса  $\text{NO}_x$ .

### Факторы, влияющие на образование оксидов азота

Учитывая условия образования оксидов азота при горении топлив по вышеприведенным схемам, можно выделить следующие факторы, влияющие на образование  $\text{NO}_x$ :

- локальные температуры газа в камере сгорания;
- время пребывания газа в зоне высоких температур;
- уровни концентрации кислорода и азота в зоне горения;
- температура воздуха на входе в камеру сгорания.

При оценке реальных выбросов  $\text{NO}_x$  следует вносить корректировки в виде поправочных коэффициентов, учитывающих влияние отдельных факторов на образование  $\text{NO}_x$ .

Можно оценить реальное (ожидаемое) образование  $\text{NO}_x$  в реальной топке печи по следующей формуле:

$NO_x = (NO_x)_{\text{баз.}} \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \times k_6$ , где

$k_1$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры камеры сгорания на образование  $NO_x$ ;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха на выбросы  $NO_x$ ;

$k_3$  – коэффициент, учитывающий влияние содержания водорода в топливном газе на выбросы  $NO_x$ ;

$k_4$  – коэффициент, учитывающий содержание  $C_3H_8$  в топливе на образование  $NO_x$ ;

$k_5$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха на образование  $NO_x$ ;

$k_6$  – коэффициент, учитывающий содержание азота в жидком топливе на образование  $NO_x$ .

В качестве  $(NO_x)_{\text{баз.}}$  берется значение  $NO_x$  в уходящих газах, полученное при стендовых испытаниях. Как правило стендовые испытания горелок проводятся на природном газе ( $CH_4$ ) при номинальном избытке воздуха (1,05-1,15), температура воздуха для горения равна температуре окружающей среды, в камере горения установлена одна горелка, стенды оснащены системами охлаждения стенок.

### Тема 3.11. Технологические и конструктивные методы снижения выбросов окислов азота

Количество образующихся оксидов азота определяется видом топлива, видом топки и особенностями процесса сжигания. Существует несколько способов снижения выбросов  $NO_x$ .

1) Сжигание топлив с малыми избытками воздуха – один из самых распространенных способов снижения выбросов окислов азота. Возможно только при усовершенствовании горелочных устройств, позволяющих интенсифицировать процесс горения.

2) Рециркуляция продуктов сгорания. Включает в себя подвод топочных газов в зону горения, является эффективным средством снижения выброса  $NO_x$ . Уменьшение концентрации  $NO_x$  объясняется снижением температуры горения из-за уменьшения скоростей цепных реакций вследствие присутствия инертных газов и снижения концентраций реагирующих веществ. Организация рециркуляции продуктов сгорания в зону горения довольно дорогостоящее мероприятие, поскольку требует дополнительных капитальных затрат на установку дутьевого оборудования и газоотходов рециркуляции.

3) Применение 2- и 3-ступенчатого (2-3-стадийного) сжигания.

1 ступень – обычное сжигание. 2 ступени сжигания – сжигание с недостатком кислорода, с образованием продуктов неполного сгорания  $COH_2$ . 3 ступени сжигания – дожигание продуктов неполного сгорания острым дутьем.

*Технология одновременного снижения выбросов  $NO_x$  и  $SO_2$  на пылеугольных котлах.*

Ступень 1 – сжигается 85% топлива в виде твердого топлива; зона основного горения. Ступень 2 – сжигается 15% топлива в виде природного газа с недостатком кислорода. Создается восстановительная среда с частичным переходом  $NO_x$  в  $N_2$ . Ступень 3 – вводится кальций, содержащий сорбент для связывания  $SO_2$ .

4) Сжигание угля в кипящем слое.

Требования, предъявляемые к качеству топлива при сжигании в кипящем слое, невысоки. При этой технологии можно использовать любые сорта и марки угля: каменные угли, бурые угли, битумные пески, сланцы, а также топлива с низкой теплотой сгорания.

5) Ввод присадок.

Они могут быть поданы в котел вместе с топливом или отдельно в любую из зон котла. Наиболее перспективными для использования являются растворимые присадки, содержащие металлоорганические соединения. Также перспективным является ввод водного раствора  $MgCl_2$ .

Недостатком данного метода считается появление дополнительных потерь тепла с уходящими газами, которые возрастают прямо пропорционально величине впрыска присадок. В результате КПД котла снижается.

6) Усовершенствование горелочных устройств. Является одним из наиболее экономичных способов предотвращения выбросов окислов азота. Применение разных типов горелочных устройств улучшенной конструкции позволяет снизить содержание  $NO_x$  на 30-50%, а иногда и более.

7) Рассредоточение факела по высоте трубы.

### Тема 3.12. Методы очистки дымовых газов от окислов азота

Все методы химической очистки газов от оксидов азота подразделяются на три группы:

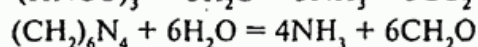
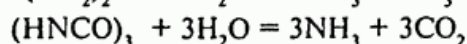
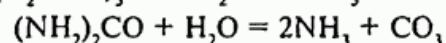
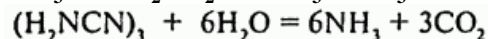
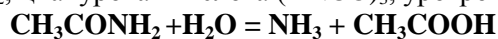
а) окислительные, основанные на окислении оксида азота в диоксид с последующим поглощением различным и поглотителями;

б) восстановительные, основанные на восстановлении оксида азота до азота и кислорода с применением катализаторов;

в) сорбционные, основанные на поглощении оксидов различными сорбентами (например, адсорбция диоксида азота торфом, водными растворами щелочей).

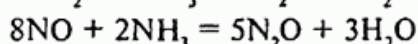
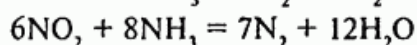
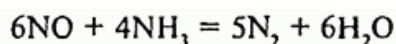
Для очистки дымовых газов применяются восстановительные методы. Однако очистка дымовых газов путем восстановления оксида азота до азота и кислорода на катализаторах представляет собой сложную задачу в связи со следующими обстоятельствами: 1) наличием в дымовых газах золы и оксидов серы, загрязняющих и отравляющих катализатор; 2) потребностью в более высокой температуре газов у катализатора (обычно порядка 400°C), по сравнению с температурой за системой золоулавливания.

На практике в теплоэнергетике преимущественно развиваются два направления очистки дымовых газов от окислов азота: селективное некаталитическое восстановление окислов азота (СНКВ-процесс) и селективное каталитическое восстановление окислов азота (СКВ-процесс). В качестве восстановителя используются аммиак  $\text{NH}_3$  или химические соединения, способные легко разлагаться с выделением аммиака: ацетамид  $\text{CH}_3\text{CONH}_2$ , меламин  $(\text{H}_2\text{NCN})_3$ , моноэтаноламин  $\text{HOC}_2\text{H}_4\text{NH}_2$ , мочевины (карбамид)  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , циануровая кислота  $(\text{HNCO})_3$ , уротропин  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ .



Удельный расход всех перечисленных реагентов значительно выше, чем при использовании аммиака (составляет 370 кг на 1 т  $\text{NO}_x$ ). В наименьшем количестве из всех реагентов, кроме аммиака, расходуется меламин (457 кг на 1 т  $\text{NO}_x$ ).

Аммиак является единственно доступным восстановителем избирательного действия, способным восстановить примеси оксида азота до азота при наличии кислорода в дымовых газах. Реакции с участием аммиака имеют вид:



## Раздел 4. Сточные воды теплоэнергетических систем, их очистка

### Тема 4.1. Классификация и общая характеристика вредных загрязнителей сточных вод ТЭУ, их воздействие на водоемы и природу

#### Классификация сточных вод котельных и ТЭС

Эксплуатация тепловых электрических станций связана с использованием большого количества воды. Основная часть воды (более 90%) расходуется в системах охлаждения различных аппаратов: конденсаторов турбин, масло- и воздухоохладителей, движущихся механизмов и др.

Сточной водой является любой поток воды, выводимый из цикла электростанции.

К сточным, или сбросным, водам (кроме вод систем охлаждения) относятся:

сбросные воды систем гидрозолоулавливания (ГЗУ);

воды от обмыва наружных поверхностей котлов и гидравлической уборки тракта топливоподачи;

воды, загрязненные нефтепродуктами;

отработанные растворы после химических промывок теплосилового оборудования или его консервации;

воды на коммунально-бытовые и хозяйственные нужды;

ливневые воды с территории.

Составы перечисленных стоков различны и определяются типом ТЭС и основного оборудования, ее мощностью, видом топлива, составом исходной воды, способом водоподготовки в основном производстве и уровнем эксплуатации.

По существующей санитарной классификации сточные воды в зависимости от степени механического, химического и бактериального загрязнения подразделяют на нормативно-чистые, нормативно-очищенные и загрязненные.

Нормативно-чистые сточные воды – это все виды производственных и коммунальных стоков, которые, поступая без очистки в природные водные объекты, не ухудшают нормативных качеств вод в данном участке водоема.

Нормативно-очищенные сточные воды – это те производственные и коммунально-бытовые стоки, которые попадают в поверхностные водные объекты после очистки на соответствующих

водоочистных сооружениях. При этом содержание загрязняющих веществ в таких стоках не должно превышать установленных предельно-допустимых сбросов (ПДС).

Загрязненные сточные воды – это все промышленно-производственные и коммунальные стоки с содержанием загрязняющих веществ выше утвержденных ПДС, сбрасываемые в природные водные источники после недостаточной очистки или вообще без очистки.

#### Влияние сточных вод на природные водоемы

На природные водоемы влияние оказывают следующие отдельные загрязнители, характерные для ТЭС.

*Нефтепродукты.* Попадающие в водоемы стоки, содержащие нефтепродукты, вызывают появление у воды запаха и привкуса керосина, образование пленки или масляных пятен на ее поверхности и отложений тяжелых нефтепродуктов на дне водоемов. Пленка нефтепродуктов нарушает процесс газообмена и препятствует проникновению в воду световых лучей, загрязняет берега и прибрежную растительность.

Наличие в воде нефтепродуктов делает воду непригодной для питья. Особенно большой ущерб наносится рыбному хозяйству: погибает как сама рыба, так и планктон – важная составляющая кормовой базы рыб.

От загрязнения водоемов нефтепродуктами страдают также водоплавающие птицы. В первую очередь повреждаются оперение и кожа птиц. При обильном поражении птицы погибают.

*Кислоты и щелочи.* Кислые и щелочные воды изменяют показатель рН воды водоема в районе их сброса. Изменение рН отрицательно сказывается на флоре и фауне водоема, нарушает биохимические процессы и физиологические функции у рыб и других живых организмов. При повышении щелочности воды до  $\text{pH} > 9,5$  у рыб разрушается кожный покров, ткани плавников и жабры, водные растения угнетаются, ухудшается самоочищение водоема.

*Соединения ванадия* обладают способностью накапливаться в организме. Они являются ядами с весьма разнообразным действием на организм и способны вызвать изменения в органах кровообращения, дыхания, в нервной системе: приводят к нарушению обмена веществ и аллергическим поражениям кожи.

*Соединения железа.* Растворимые соли железа, образующиеся в результате воздействия кислоты на металл теплоэнергетического оборудования, при нейтрализации кислых растворов щелочи переходят в гидрат оксида железа, выпадающий в осадок и могущий отлагаться на жабрах рыб. Комплексы железа с лимонной кислотой отрицательно влияют на цвет и запах воды. Кроме того, соли железа обладают некоторым общим токсическим действием, а соединения трехвалентного (окисного) железа действуют обжигающе на пищеварительный тракт.

*Соединения никеля* поражают ткань легких, вызывают функциональные нарушения центральной нервной системы, желудочные заболевания, снижение кровяного давления.

*Соединения меди* обладают общим токсическим действием и при избыточном попадании в организм вызывают нарушения желудочно-кишечного тракта. Для рыб опасны даже незначительные концентрации меди.

*Нитриты и нитраты.* Воды, содержащие нитриты и нитраты в количествах, превышающих предельно допустимые, не могут быть использованы для питьевого водоснабжения. Нитраты неблагоприятно воздействуют на высших беспозвоночных и рыб.

*Аммиак* и соли аммония тормозят биологические процессы в водоемах и высокотоксичны для рыб. Кроме того, аммониевые соли в результате биохимических процессов окисляются до нитратов.

*Трилон Б (Динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты).* Растворы трилона Б токсичны для микроорганизмов, в том числе и для тех, которые участвуют в процессах биохимической очистки. Комплексы трилона Б с солями жесткости обладают значительно меньшей токсичностью, однако комплексы его с солями железа окрашивают воду водоема и придают ей неприятный запах.

*Ингибиторы ОП-7, ОП-10* придают запах воде и специфический привкус рыбе. Поэтому для водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей, лимитирующим показателем вредности ингибиторов ОП-7 и ОП-10 является токсикологический показатель, а для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования – органолептический (вкус, запах).

*Гидразин, соединения фтора, мышьяка, ртути* ядовиты как для человека, так и для фауны водоемов. Однако в воде, используемой для питьевых целей, должна быть определенная концентрация фтор-ионов (приблизительно 1,0—1,5 мг/л). Как меньшие, так и большие концентрации фтора вредны для человеческого организма.

*Шлам*, находящийся в сбросных водах предочисток водоподготовительных установок, содержит органические вещества. Попадая в водоем, он способствует снижению содержания кислорода в воде из-за окисления этих органических веществ, что может привести к нарушению процессов



самоочищения водоема, а в зимнее время к развитию замора рыбы. Содержащиеся в шламе хлопья оксидов железа и избыток извести поражают слизистую жабр у рыбы, приводя ее к гибели.

## **Тема 4.2. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами**

Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами регламентируются нормативным документом «». Приведем некоторые положения из этого документа.

### Основные положения

Водоемы и водотоки (водные объекты) считаются загрязненными, если показатели состава и свойств воды в них изменились под прямым или косвенным влиянием производственной деятельности и бытового использования населением, и стали частично или полностью непригодными для одного из видов водопользования. Критерием загрязненности воды является ухудшение ее качества вследствие изменения ее органолептических свойств и появления вредных веществ для человека, животных, птиц, рыб, кормовых и промысловых организмов, в зависимости от вида водопользования, а также повышение температуры воды, изменяющей условия для нормальной жизнедеятельности водных организмов.

Пригодность состава и свойств поверхностных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения и культурно- бытовых нужд населения, а также для рыбохозяйственных целей, определяется их соответствием требованиям и нормативам, изложенным в настоящих Правилах.

В случае одновременного использования водного объекта или его участка для различных нужд народного хозяйства при определении условий сброса сточных вод следует исходить из более жестких требований в ряду одноименных нормативов качества поверхностных вод.

Запрещается допускать в водные объекты утечки от нефте- и продуктопроводов, нефтепромыслов, а также сброс неочищенных сточных, подсланевых, балластных вод и утечек других веществ с плавучих средств водного транспорта.

Запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды: а) которые могут быть устранены путем рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного и повторного водоснабжения; или устройства бессточных производств; б) содержащие ценные отходы, которые могут быть утилизированы на данном или на других предприятиях; в) содержащие производственное сырье, реагенты, полупродукты и конечные продукты производства в количествах, превышающих установленные нормативы технологических потерь; г) содержащие вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК); д) которые с учетом их состава и местных условий могут быть использованы для орошения в сельском хозяйстве при соблюдении санитарных требований. Примечание. Запрещается сброс в водные объекты кубовых остатков и технологических отходов.

Запрещается сбрасывать сточные воды в водные объекты, объявленные заповедными в установленном законодательством Союза ССР и союзных республик порядке, в целях охраны природы и проведения научных исследований.

В случае необходимости отведения сточных вод вследствие недостаточности мероприятий, изложенных в п. 6, или невозможности их выполнения по обоснованным технико-экономическим соображениям сброс сточных вод в водные объекты может быть разрешен лишь при условии соблюдения требований и нормативов, изложенных в настоящих Правилах.

Требования к условиям сброса сточных вод в водные объекты, изложенные в Правилах, распространяются: а) на существующие выпуски всех видов производственных и хозяйственно-бытовых сточных вод населенных мест, отдельно стоящих жилых и общественных зданий, коммунальных, лечебно- профилактических, транспортных, колхозных, совхозных объектов, промышленных предприятий, в том числе шахтных вод, сбросных вод от водяного охлаждения, гидрозолоудаления, нефтедобычи, гидровскрышных работ, сбросных вод с орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных территорий, в том числе обрабатываемых ядохимикатами, и других сточных вод любых объектов, независимо от их ведомственной принадлежности; б) на все проектируемые выпуски сточных вод вновь строящихся, реконструируемых и расширяемых предприятий и объектов, а также предприятий, на которых изменяется технология производства, на все проектируемые выпуски сточных вод канализации населенных мест и отдельно стоящих объектов, независимо от их ведомственной принадлежности. Примечание. Правила распространяются и на ливневую канализацию, отводящую атмосферную воду с промышленных площадок, товарно- сырьевых баз и других территорий, сток с которых может вызвать загрязнение водных объектов.

Условия сброса сточных вод в водные объекты определяются с учетом: а) степени возможного смешения и разбавления сточных вод с водой водного объекта на пути от места выпуска сточных вод

до расчетного (контрольного) створа ближайших пунктов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования; б) качества воды водоемов и водотоков выше места проектируемого сброса сточных вод. Учет процессов естественного самоочищения вод от поступающих в них веществ допускается, если процесс самоочищения достаточно резко выражен и его закономерности достаточно изучены. Примечание. Условия подключения промышленных стоков в городскую канализацию устанавливаются органами коммунального хозяйства.

При рассмотрении условий сброса сточных вод в водные объекты и выдаче по ним заключения органы по регулированию использования и охране вод устанавливают с учетом перспективы развития для каждого отдельного объекта допустимое к сбросу со сточными водами количество вредных веществ (лимит по расходу сточных вод и концентраций содержащихся в них примесей). Расчет при этом производится в соответствии с требованиями настоящих Правил к составу и свойствам воды водных объектов хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного использования.

Разрешение на сброс в водные объекты сточных вод действующих предприятий сохраняет свою силу в течение трех лет, после чего подлежит возобновлению. Для проектируемых предприятий разрешение на сброс сточных вод подлежит пересмотру при изменении условий водопользования на участке водного объекта, принимающего сточные воды проектируемого предприятия.

В случае изменения условий водопользования на водном объекте: строительство ранее не предусмотренных новых предприятий, изменение расхода воды или изменение гидрологического режима вследствие ранее не предусмотренного увеличения отбора воды на орошение и другие цели, изменения технологического режима на предприятиях или других причин, повлекших за собой ранее не предусмотренное изменение количества, состава и свойств сточных вод, а также появление новых пунктов питьевого и культурно-бытового водопользования и других причин - органы по регулированию использования и охране вод имеют право аннулировать свое разрешение на сброс сточных вод или изменить ранее согласованные требования к условиям сброса сточных вод данного предприятия применительно к новой обстановке на водном объекте в соответствии со ст. 31 Основ водного законодательства Союза ССР и союзных республик и определить срок, в течение которого руководителем предприятия должны быть проведены соответствующие мероприятия.

Запрещается устройство выпусков и отведение сточных вод в водные объекты без регистрации и получения разрешения в органах по регулированию использования и охране вод и без согласования с органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы и органами рыбоохраны.

#### Нормирование предельно допустимых сбросов (ПДС) в водоемы

Целью нормирования является государственное регулирование сбросов загрязняющих веществ в водные объекты, стимулирование предприятий к снижению объемов и токсичности загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоемы, переход на замкнутые водопотребляющие технологии и поддержание качества вод в районе расположения объекта на нормативном уровне.

Реализация этой цели достигается путем решения следующих основных задач:

1) проведения анализа предприятия как источника загрязнения водных объектов (инвентаризация, типизация источников сброса по их пространственному положению, периодичности, объемам, характеру выбросов, физико-химическому составу загрязняющих веществ и др.);

2) расчета и анализа уровня загрязнения водных объектов при существующих объемах сброса;

3) подготовки предложений по установлению нормативов ПДС и при необходимости лимитов временно согласованных сбросов (ВСС) по каждому источнику (выпуску) и загрязняющему веществу;

4) разработки плана мероприятий по снижению сбросов загрязняющих веществ с целью достижения нормативов ПДС, если концентрации загрязняющих веществ с учетом фона в контрольном створе или на контролируемом участке водоема превышают ПДК;

5) организации контроля за соблюдением нормативов ПДС (ВСС).

Исходными данными для проведения инвентаризации источников сброса загрязняющих веществ в водные объекты и формирования нормативов ПДС (ВСС) являются:

- данные о гидрологическом режиме и фоновых концентрациях нормируемых показателей вод водоприемника, полученные в Росгидромете и его территориальных органах;

- карта-схема предприятия с нанесенными на нее источниками сбросов (выпусками) ЗВ в водный объект;

- информация о технологиях производства и технологическом оборудовании (характеристика выпускаемой продукции, основного исходного сырья) как источнике загрязнения водных объектов;

- сведения о существующих установках очистки сточных вод, укрупненный анализ их технического состояния и эффективности работы;

- перечень ЗВ, сбрасываемых в водные объекты;
- информация об аварийных и залповых сбросах ЗВ с идентификацией условий, при которых они возможны;

"Залповый сброс" – сброс сточных вод с превышением более чем в 100 раз допустимой концентрации по любому виду загрязнений, а также сброс агрессивного стока с pH менее 2 или более 12.

- сведения об источниках сбросов ЗВ в водные объекты (выпусках);
- данные первичного учета, формы статистической отчетности № 2-ТП (водхоз).

Перед представлением в природоохранные органы разработанный проект нормативов ПДС должен пройти предварительное согласование в специально уполномоченных органах по охране окружающей среды. Установленные нормативы ПДС и лимиты ВСС используются при:

- выдаче лицензий на водопользование;
- проведении государственного контроля за использованием и охраной водных объектов;
- установлении размеров платежей, связанных с использованием водными объектами;
- наложении штрафов и предъявлении исков о возмещении ущерба при нарушении водного законодательства;
- оценке эффективности водоохранных мероприятий.

### **Тема 4.3. Классификация методов очистки сточных вод. Основные методы очистки сточных вод**

#### Механические методы очистки сточных вод

Механическая очистка сточных вод является предварительным этапом, который обязательно предшествует полной очистке стоков. Задача механической очистки – извлечь из воды осевшие или взвешенные нерастворимые твердые частицы, волокна и грубодисперсные примеси.

Механическая очистка стоков очень важна при повторном использовании технической воды на производстве. Кроме защиты оборудования от попадания твердых частиц при использовании оборотной воды, механическая очистка способна извлечь из промышленных стоков ценные химические соединения для повторного использования в производственном цикле.

Повторное использование технической воды не только способно вернуть в производственный цикл некоторое количество ценного сырья, но и максимально защищает экологию от сбросов ядовитых стоков, а также сохраняет запасы чистой природной воды.

В России процент использования оборотной воды очень высок и в среднем составляет около 65%. На предприятиях химической, газовой, нефтеперерабатывающей промышленности и в черной металлургии процент повторного использования очищенной технической воды доходит до 95%.

Частицы загрязнения могут иметь разные размеры, плотность и массу. Соответственно, для повышения эффективности при различных видах загрязнения механические методы очистки сточных вод используют различные физические принципы и инженерные решения. От того, насколько эффективной будет схема механической очистки сточных вод, часто зависит общее техническое решение по очистке стоков.

*Процеживание.* Вода проходит сквозь решетки и сетки с ячейками определенного размера. Прочные металлические решетки и сетки позволяют использовать высоконапорную очистку, когда стоки подаются под давлением – это во много раз повышает производительность очистных установок.

*Фильтрация.* Напорное или безнапорное пропускание воды сквозь пористый материал, засыпной наполнитель. Засыпной наполнитель выбирается в зависимости от вида загрязнения. Материалом для наполнителя могут быть: уголь, песок, гравий, частицы металла, стекла или пластика, а также другие пористые или измельченные вещества.

*Отстаивание.* Используется метод гравитационного осаждения, сепарации (разделения) фракций с разными физическими характеристиками. В последовательно расположенных переливных камерах частицы загрязнений оседают под действием силы тяжести. Очищенная вода из верхнего слоя переливается в следующую камеру. Камера наполняется частично очищенной водой и процесс очистки повторяется.

#### Более сложные решения механической очистки сточных вод

*Дисковые фильтры.* Цилиндрический "пакет" из полимерных дисков со специально обработанной поверхностью образует объемную структуру, попадая в которую, вода эффективно очищается от механических примесей. Достоинство способа – высокая производительность, простота конструкции и очистки, надежность дисковых фильтров.

*Центрифугирование (гидроциклоны).* Используется физическое явление разделения разных фракций твердых частиц в потоке вращающейся жидкости. Эффективный, высокоскоростной

процесс, легко автоматизируется.

*Флотация.* Суть метода: пузырьки газа, проходя сквозь жидкую массу стоков, подхватывают и выносят на поверхность частицы загрязнений. Скопившуюся на поверхности пену с высоким содержанием загрязнений удаляют. Эффективность механической очистки стоков методом флотации очень высока и может достигать до 90-95%.

#### Физико-химические методы очистки сточных вод

Используются для очистки стоков от коллоидных и мелкодисперсных загрязнений примесей.

*Коллоид* – не кристаллизующееся вещество, дающее при соединении с водой клейкие густые растворы.

*Нейтрализация.* Обычно нейтрализации подвергают промышленные сточные воды, содержащие кислоты. Нейтрализующими веществами при обработке сточных вод в данном случае может быть аммиак, известь и прочие щелочные реагенты.

*Коагуляция и флокуляция* – принципиально близкие способы физико-химической очистки производственных сточных вод. Во время этих процессов происходит реакция загрязняющих стоки веществ:

- с минеральными соединениями (коагуляция);
- с высокомолекулярными агентами (флокуляция).

В качестве веществ, способствующих *коагуляции* загрязнений сточных вод, используются в основном соли железа и алюминия. Данные коагулянты в результате химической реакции с загрязнениями промышленных сточных вод превращаются в нерастворимые формы гидроксидов этих металлов. При своем образовании эти гидроксиды захватывают органические и неорганические примеси из стоков. При этом в обрабатываемых сточных водах формируются рыхлые хлопья, которые затем легко удаляются из очищаемой воды.

Сущность метода *флокуляции* для очистки сточных вод заключается в том, происходит адсорбция (прилипание) флокулянта на поверхности нескольких твердых частиц-загрязнителей стоков. В данном процессе также образуются хлопья. Самыми эффективными веществами-флокулянтами для очистки сточных вод являются органические полимеры и активированная кремниевая кислота. К недостатку данного метода очистки стоков можно отнести отсутствие единого вещества-флокулянта для очистки стоков от большинства загрязнителей.

Для глубокой очистки загрязненных промышленных сточных вод используется *мембранные методы* очистки стоков. Одним из таких методов очистки является *обратный осмос*. При этом сточные воды под давлением подаются на специальную полупроницаемую полимерную мембрану. При этом мембрана пропускает чистую воду, а загрязняющие агенты стоков задерживаются. Мембранными методами возможно выделять из сточных вод и утилизировать низкомолекулярные вещества, например соли, кислоты и т.д. При мембранных методах очистки сточных вод рекомендуется проведения предварительной очистки стоков.

– односторонняя диффузия растворителя (такого как вода) через естественную или искусственную полупроницаемую мембрану (перегородка, пропускающая только определенные растворенные вещества) в более концентрированный раствор.

*Обратный осмос* — процесс, в котором с помощью давления принуждают растворитель (обычно вода) проходить через полупроницаемую мембрану из более концентрированного в менее концентрированный раствор, то есть в обратном для осмоса направлении. При этом мембрана пропускает растворитель, но не пропускает некоторые растворённые в нём вещества.

*Ионообменный метод* очистки промышленных сточных вод заключается в фильтрации стоков в ионообменных смолах. Ионообменные смолы подразделяются на сильнокислотные и слабокислотные катиониты и сильноосновные и слабоосновные аниониты. При прохождении через ионообменную смолу, загрязнения сточных вод катионного типа вступают в реакцию обмена с катионитом ионита и оседает на нем. И наоборот, загрязнения сточных вод анионного типа, вступают в реакцию обмена с анионитом ионита с последующим оседанием. Достоинство ионообменного метода очистки сточных вод состоит в том, что данный метод способствует целенаправленному выделению определенного вещества из сточной воды.

*Иониты* — твердые нерастворимые вещества, способные обменивать свои ионы на ионы из окружающего их раствора. Иониты разделяются на катиониты, поглощающие катионы, и аниониты, поглощающие анионы и амфотерные иониты.

В том случае, если из сточных вод загрязняющее вещество невозможно извлечь, обычно используют *деструктивные методы* очистки стоков. При использовании данных методов очистки сточных вод загрязненная вода разлагается до неопасных компонентов. Можно выделить термоокислительные и электрохимические способы деструкции загрязнений сточных вод, а также методы очистки стоков с использованием сильных окислителей.

## Раздел 5. Экономические аспекты природоохранных мероприятий

### Тема 5.1. Система контроля вредных выбросов и организация службы охраны окружающей среды

Лекция проводится в интерактивной форме: проблемная лекция (0,5 часа).

В соответствии с требованиями федерального закона «Об охране окружающей среды», природопользователи обеспечивают соблюдение нормативов качества окружающей среды на основе применения технических средств и технологий обезвреживания и безопасного размещения отходов производства и потребления, обезвреживания выбросов и сбросов загрязняющих веществ, а также иных наилучших существующих технологий. В целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию и восстановлению природных ресурсов, а также в целях соблюдения требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством в области охраны окружающей среды природопользователи обязаны организовать производственный экологический контроль. Сведения об организации производственного экологического контроля природопользователь представляет в органы исполнительной власти, осуществляющие государственный экологический контроль.

Наряду с общими требованиями к порядку организации производственного контроля природопользователями, определенными федеральным законом «Об охране окружающей среды», специальные требования в части организации производственного контроля за охраной атмосферного воздуха, за соблюдением нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду и в области обращения с отходами устанавливаются Водным Кодексом РФ и федеральными законами «Об охране атмосферного воздуха» и «Об отходах производства и потребления», соответственно.

Средства измерений, применяемые в целях контроля за состоянием окружающей среды, в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации в области обеспечения единства измерений, должны пройти испытания с целью утверждения типа средств измерений. Средства измерений подлежат поверке. Периодичность проведения поверки определяется межповерочным интервалом, продолжительность которого устанавливается в технической документации на данное средство измерений. По результатам поверки поверяющей организацией оформляется свидетельство о поверке установленной формы с указанием срока очередной поверки. Средства измерений универсального назначения (спектрофотометры, полярографы, хроматографы и т.д.) должны быть обеспечены аттестованными методиками выполнения измерений. В соответствии с требованиями ст.9 Федерального закона «Об обеспечении единства измерений», «измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными в установленном порядке методиками.

Юридические лица, которые имеют источники вредных химических воздействий на атмосферный воздух, должны осуществлять охрану атмосферного воздуха в соответствии с законодательством Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха. В соответствии со статьей 25 федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» производственный контроль за охраной атмосферного воздуха осуществляют юридические лица, которые имеют источники вредных химических, биологических и физических воздействий на атмосферный воздух. Для организации и проведения производственного контроля за охраной атмосферного воздуха на предприятиях назначают ответственных лиц и (или) организуют экологические службы.

Сведения о лицах, ответственных за проведение производственного контроля за охраной атмосферного воздуха, и об организации экологических служб, а также результаты производственного контроля за охраной атмосферного воздуха представляются в территориальные органы в области охраны окружающей среды.

Производственному контролю при эксплуатации промышленного объекта подлежат величины ПДВ (ВСВ) и выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами от автомобилей. Производственный контроль может производиться силами лаборатории предприятия по контролю воздействий на окружающую среду или по договору сторонней организацией. В случае использования для проведения производственного контроля собственной лаборатории она должна иметь следующие документы:

- положение о лаборатории,
- паспорт лаборатории,
- свидетельства о поверке средств измерений органами государственной метрологической службы,
- паспорта на государственные стандартные образцы состава и свойств контролируемых объектов,
- результаты внутреннего и внешнего контроля качества выполняемых измерений,

акты отбора проб и журналы их регистрации,  
аттестованные методики выполнения измерений,  
журналы результатов контроля воздействий на окружающую среду.

В отсутствие собственной лаборатории, работы по осуществлению производственного контроля проводятся на основании договора с лабораторией аккредитованной на проведение измерений и анализов в области экоаналитического контроля.

При производственном химико-аналитическом контроле за соблюдением нормативов ПДВ (ВСВ) непосредственно на источниках загрязнения в план-графике лабораторного контроля определяют перечень веществ подлежащих контролю. Контроль за содержанием загрязняющих веществ в промышленных выбросах проводится по утвержденным стандартным методикам с заданной периодичностью контроля. Результаты производственного контроля заносят в План-график контроля на предприятии за соблюдением нормативов ПДВ (ВСВ) на источниках выбросов и на контрольных точках (постах)

Наряду с контролем непосредственно на источниках загрязнения возможен контроль за соблюдением нормативов ПДВ по фактическому загрязнению атмосферного воздуха на специально выбранных контрольных точках. Контрольные значения приземных концентраций загрязняющих веществ включают в таблицу Контрольные значения приземных концентраций вредных веществ для контроля нормативов ПДВ (ВСВ).

Автотранспортные предприятия или иные предприятия, имеющие на балансе автотранспортные средства обязаны обеспечить выполнение экологических требований при их эксплуатации и ремонте. Экологические требования к автотранспорту в первую очередь включают его соответствие или несоответствие техническим нормативам выбросов вредных веществ в атмосферу, установленных соответствующими стандартами.

Для автомобилей с бензиновыми двигателями определяют содержание оксида углерода и углеводородов в отработавших газах в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52033-2003. Для автомобилей с дизельными двигателями производят измерения дымности в соответствии с требованиями ГОСТ 21393-75.

Контроль за содержаниями оксида углерода и углеводородов, для автомобилей с бензиновыми двигателями, или дымности, для автомобилей с дизельными двигателями, проводят при выборочных проверках автомобилей выезжающих на линию и после технического обслуживания, ремонте и регулировке агрегатов, узлов и систем, влияющих на изменение содержания нормируемых компонентов в отработавших газах. Для автомобилей с бензиновыми двигателями результаты проверки заносятся в Журнал записи результатов проверок автомобилей с бензиновыми двигателями на соответствие экологическим требованиям. Для автомобилей с дизельными двигателями – в журнал учета измерений дымности при проверке автомобилей с дизельными двигателями.

С целью соблюдения нормативов ПДС разрабатывается и согласуется схема-график производственного аналитического контроля за работой очистных сооружений, соблюдением нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду со сточными водами и влиянием их на водные объекты. При производственном контроле наблюдения ведутся за:

расходом, составом и свойствами сточных вод на отдельных звеньях технологической схемы очистки и их соответствием установленным регламентам;

расходом, составом и свойствами сточных вод, сбрасываемых в водные объекты, и их соответствием установленным нормативам ПДС;

расходом, составом и свойствами вод в местах собственных водозаборов, фоновых и контрольных створах водных объектов, принимающих сточные воды, и соблюдением норм качества воды в контрольных створах.

В общем виде система производственного аналитического контроля должна обеспечивать:

оценку состава и свойств исходных вод в местах собственных водозаборов;

систематические данные об объемах забираемой, используемой и возвратной воды и их соответствии установленным лимитам;

информацию о количестве и качестве различных категорий сточных вод;

оценку эффективности работы имеющихся очистных сооружений, количества и качества очищенных и повторно используемых вод.

оценку состава и свойств возвратных вод и соответствия их установленным нормативам ПДС;

оценку состава и свойств вод в фоновых и контрольных створах водных объектов, принимающих сточные воды;

исходные данные к отчетности предприятия по установленным формам статистической отчетности.

Измерение расходов воды производится в пунктах учета на каждом водозаборе и выпуске возвратных вод, а также в системах оборотного водоснабжения и точках передачи воды другим

потребителям. Выбор водоизмерительных приборов и устройств определяется их назначением, величиной измеряемых расходов воды, производительностью водозаборных и водосбросных сооружений. На предприятиях, не имеющих соответствующей аппаратуры, расходы воды по согласованию с соответствующими надзорными органами, в порядке исключения, до установки контрольно-измерительных приборов могут определяться расчетом.

Перечень источников производственных сточных вод и содержащихся в них загрязняющих веществ, технологические схемы для очистки и обезвреживания, объем и периодичность химического контроля определяются на основании нормативно-технических документов по проектированию и эксплуатации технологического оборудования.

Состав и свойства сточных возвратных вод определяются на выпуске (выпусках) их в водные объекты. Наряду с отбором проб сточных возвратных вод должен производиться отбор проб исходной воды водоисточника для определения фоновых показателей, а также проб воды после ее смешения с возвратными водами в контрольном створе в соответствии с графиком. В случае превышения ПДС в результате ухудшения качества возвратных вод производственные подразделения предприятия с привлечением химической лаборатории должны определить источник загрязнения путем обследования отдельных потоков (колодцев) и устранить нарушение.

Приказом администрации назначается лицо, ответственное за проведение природоохранных мероприятий и владеющее информацией о водопотреблении и водоотведении всеми подразделениями предприятия, и утверждается перечень подразделений и лиц, ответственных за:

- проведение измерений количества забираемых, используемых и возвратных вод;
- проведение измерений количества загрязняющих веществ в возвратных водах;
- информацию о соблюдении нормативов ПДС.

Наряду с химическими методами контроля часто осуществляется контроль токсичности природных и сточных вод с использованием действующих методов биотестирования. В случае обнаружения токсичности сточных вод, отводимых в водный объект, или вод в контрольном створе водного объекта устанавливаются конкретные вещества, обуславливающие эту токсичность, и пересматриваются нормативы ПДС.

Порядок представления информации о сбросах загрязняющих веществ в водные объекты водопользователь согласовывает с органами государственного экологического контроля. При разработке системы контроля возвратных сточных вод предприятия данные различных форм отчетности должны быть сведены в единый банк данных.

Во исполнении требований федерального закона «Об отходах производства и потребления» юридические лица, осуществляющие деятельность в области обращения с отходами, организуют и осуществляют производственный контроль за соблюдением требований законодательства Российской Федерации в области обращения с отходами.

Производственный контроль в области обращения с отходами в общем случае включает в себя:

- проверка порядка и правил обращения с отходами;
- анализ существующих производств, с целью выявления возможностей и способов уменьшения количества и степени опасности образующихся отходов;
- учет образовавшихся, использованных, обезвреженных, переданных другим лицам или полученных от других лиц, а также размещенных отходов;
- нахождение класса опасности отходов по степени возможного вредного воздействия на окружающую природную среду при непосредственном или опосредованном воздействии опасного отхода на нее;
- составление и утверждение Паспорта опасного отхода;
- определение массы размещаемых отходов в соответствии с выданными разрешениями;
- мониторинг состояния окружающей среды в местах хранения (накопления) и (или) объектах захоронения отходов;
- проверку выполнения планов мероприятий по внедрению малоотходных технологических процессов, технологий использования и обезвреживания отходов, достижению лимитов размещения отходов;
- проверку эффективности и безопасности для окружающей среды и здоровья населения эксплуатации объектов для размещения отходов;
- анализ информации о процессах, происходящих в местах размещения отходов.

Для учета отходов обычно ведутся соответствующие таблицы. На основании их анализа оформляется Перечень отходов образующихся на предприятии. Учет отходов ведется с использованием федерального классификационного каталога отходов.

Одним из лицензионных требований при осуществлении деятельности по обращению с опасными отходами являются наличие у лицензиата средств контроля и измерений, применяемых для подтверждения соблюдения лицензиатом нормативов допустимого воздействия на окружающую

среду при осуществлении деятельности по обращению с опасными отходами.

## Тема 5.2. Оценки ущерба наносимого народному хозяйству из-за загрязнения окружающей среды

Лекция проводится в интерактивной форме: проблемная лекция (1 час).

Для определения экономической эффективности и расчета ущерба применяется "Временная типовая методика определения экологической эффективности природоохранных мероприятий и оценки ущерба наносимого народному хозяйству загрязнением окружающей среды" (1981г)

Основными направлениями осуществления природоохранных мероприятий являются;

- предупреждение ухудшения количественных и качественных показателей в балансах экосистем;

- предотвращение риска предпринимательской деятельности.

Под *ущербом*, следует понимать фактические возможные потери, возникающие в результате каких-либо событий или явлений, в частности, негативных мнений в природной среде вследствие антропогенного воздействия.

По основному характеру проявления различают следующие виды ущерба:

- экономический (например, потери от не дополнения продукции),
- социально-экономический (например, рост заболеваемости экономически активного населения),
- социальный (например, снижение продолжительности жизни);
- экологический (например, исчезновение биологического вида).

По особенностям возникновения ущерб может иметь прямой и косвенный характер.

Количественная оценка ущерба может быть представлена в натуральных, балльных и стоимостных показателях.

*Под экономическим ущербом от загрязнения окружающей среды понимается денежная оценка негативных изменений основных свойств окружающей среды под воздействием загрязнения.*

Имеется в виду самый широкий спектр последствий - от ухудшения здоровья человека, вынужденного дышать грязным воздухом, пить воду, содержащую вредные примеси до убытков, вызванных ускорением коррозии металлов, снижением продуктивности сельхозугодий, гибелью рыбы.

Вредные воздействия наблюдаются в нескольких видах:

- 1) ухудшение качества жизни: рост заболеваний, смертности, ухудшение условий рекреаций;
- 2) сокращение сроков службы имущества (основных фондов);
- 3) растет концентрация вредных примесей в воздухе (воде, используемой в процессе производства), т.е. ухудшается качество природно-ресурсного потенциала.
- 4) сокращение урожайности сельхозкультур, замедление прироста биомассы в лесном хозяйстве;

Выбросы вредных веществ приводят к изменению естественных свойств природные объектов. Изменения негативно влияют на условия жизнедеятельности человека, последствия ухудшения оцениваются в деньгах. Это и есть ущерб.

Механизм возникновения ущерба от загрязнения можно представить следующей схемой:

- 1) образование вредных отходов вследствие хозяйственной деятельности и жизни человека,
- 2) поступление загрязнений (отходов) в окружающую среду,
- 3) изменение (ухудшение) некоторых свойств окружающей природной среды,
- 4) изменение (ухудшение) условий жизнедеятельности под воздействием изменения свойств окружающей среды,
- 5) ухудшение показателей качества жизни, материальных условий производства,
- 6) снижение показателей производительности труда вследствие ухудшения качества жизни.

Методические трудности оценки экономического ущерба приводят к тому, что он практически почти не применяется в системе обобщающих показателей деятельности предприятий и тем более при оперативном экономическом контроле производства. Но учет ущерба абсолютно необходим при проектировании, процедуре ОВОС и оценке эффективности средозащитных мер.

*Оценка экономического ущерба* может быть выполнена методом прямого счета как сумма величин убытков у всех объектов, подвергшихся воздействию вредных выбросов. В этом случае в основе расчетов лежит следующая последовательность расчетов:

- 1) выбросы вредных примесей из источников их образования,
- 2) концентрация примесей в атмосфере (водоеме),
- 3) натуральный ущерб,



4) экономический ущерб.

Первая стадия расчетов предполагает анализ объемов и структуры выбросов.

На втором этапе для измерения концентрации выбросов проводится расчет рассеивания вредных примесей и степеней опасности.

Преимуществом данного метода оценки ущерба загрязнения окружающей среды является упрощенность расчетов, однако результаты оценки при этом оказываются недостаточно точными.

*Определение экономического ущерба*, наносимого окружающей природной среде и населению разными формами хозяйственной деятельности, представляет наибольшие методические трудности по сравнению с определением других показателей экономики производства. Разработаны и применяются два методических подхода: *метод прямого счета* и *метод обобщающих косвенных оценок*.

Практика показывает, что экономический ущерб целесообразно рассчитывать отдельно по основным элементам природной среды (воздуху, водным ресурсам)

Согласно Временной типовой методике для определения ущерба предлагается использовать оба метода.

Удельные экономические ущербы, причиняемые воздействием загрязнения атмосфере, водоемам, земельным ресурсам, недрам рассчитываются по отдельным формулам.

Расчеты, выполненные укрупненным методом, показывают, что экономический ущерб народному хозяйству от загрязнения воздушного бассейна составляет около 60%, водного бассейна — около 30% и от загрязнения твердыми отходами — около 10% общего ущерба (Протасов В.Ф., Молчанов А.В., 1995).

В развитых зарубежных странах экономический ущерб, обусловленный загрязнением ОС, в настоящее время оценивается в 2—7% ВВП. При этом финансовые вложения в природоохранные мероприятия составляют 4—6% ВВП. Совершенно очевидно, что экономический ущерб загрязнения окружающей среды оказывает неблагоприятное воздействие на экономическое благосостояние

Если деятельность предприятия из-за нерационального использования ресурсов или загрязнения среды наносит ущерб и этот ущерб учитывается в системе экономических показателей, то изменяются все *показатели результатов хозяйственной деятельности предприятия*.

*Метод прямого счета* В 70-е годы эти подходы были детально проработаны представителями советской экономико-математической школы К.Г. Гофманом, А.А. Гусевым, О.Ф. Балацким и другими. Например, установлена структура элементов суммарного экономического ущерба от загрязнения атмосферы, которая имеет следующий вид:

$$Y = Y_{\text{заб.}} + Y_{\text{пром.}} + Y_{\text{с.х.}} + Y_{\text{л.х.}} + Y_{\text{р.х.}} + Y_{\text{ж.к.х.}} + Y_{\text{тек.}} + Y_{\text{др.}}, \quad (16)$$

где  $Y_{\text{заб.}}$  - экономический ущерб от повышенной заболеваемости населения;  $Y_{\text{пром.}}$  - экономический ущерб промышленности, связанный с дополнительными затратами на ремонт и восстановление основных фондов, с потерями сырья и т.д.;  $Y_{\text{с.х.}}$ ,  $Y_{\text{л.х.}}$ ,  $Y_{\text{р.х.}}$  - соответственно экономический ущерб сельскому, лесному и рыбному хозяйствам региона;  $Y_{\text{ж.к.х.}}$  - экономический ущерб от повышенной текучести кадров;  $Y_{\text{др.}}$  - экономический ущерб, связанный с отрицательными воздействиями на другие реципиенты или процессы.

Решение такой сложной комплексной задачи, как определение экономического ущерба требует совместных усилий специалистов разного профиля. Для каждого компонента существует своя методика расчета, порой требующая сложных вычислений. Впрочем, многие зависимости для этих целей аппроксимированы. В качестве примера частного расчета приводится одна из простых формул определения экономического ущерба от заболеваемости населения:

$$Y_3 = \sum_{i=1}^n N_i \sum_{j=1}^m (A_{3ij} \cdot t_{3ij} - A_{5ij} \cdot t_{5ij}) \cdot C_{ij}, \quad (17)$$

где  $i$  - номер возрастной группы населения;  $j$  - номер нозологической единицы или группы болезней;  $N_i$  - численность населения  $i$ -ой возрастной группы;  $A_{3ij}$ ,  $A_{5ij}$  - число случаев болезни на 1000 чел. населения соответственно загрязненного и контрольного фонового районов;  $t_{3ij}$ ,  $t_{5ij}$  - длительность  $j$ -ой болезни соответственно в условиях загрязненного и контрольного районов;  $C_{ij}$  - издержки болезни, т.е. потери общества в течение одного дня в связи с заболеванием одного человека.  $C_{ij}$  складывается из затрат на медицинское обслуживание, недополучения дохода в результате невыхода на работу, выплат пособий по временной нетрудоспособности, по уходу за ребенком и т.п. Издержки болезни вычисляются дифференцированно по возрастным группам и категориям помощи. В частности, стоимость стационарного и амбулаторного медицинского обслуживания одного взрослого человека в течение одного дня вычисляются по формуле:

$$C_H = \delta \cdot (C_1 + C_2/t) + (1-\delta) \cdot \left( a \cdot C_3/t + \frac{1-a}{t} \cdot C_2 + C_4 \right) \quad (18)$$

где  $C_1$  - стоимость одного койко-дня;  $C_2, C_3$  - стоимость вызова врача и скорой помощи;  $C_4$  - стоимость лекарств в течение одного дня;  $\delta$  - доля заболевших, нуждающихся в стационарном лечении;  $a$  - доля заболевших данной болезнью, для которых необходим вызов скорой помощи;  $t$  - длительность данной болезни.

*Метод обобщающих косвенных оценок*

Приходится производить довольно много подобных расчетов по каждому из слагаемых общего ущерба. Ясно, что определение суммарного экономического ущерба методом прямого счета чрезвычайно трудоемко и требует большого объема разнообразной информации. Поэтому большее распространение получил более простой, хотя и менее точный метод обобщенных косвенных оценок. Согласно упрощенной интерпретации этого метода общий ущерб, наносимый ОС техногенными загрязнениями, определяется как сумма ущербов от загрязнения атмосферы ( $Y_a$ ), воды ( $Y_b$ ) и почвы ( $Y_n$ ):

$$Y = Y_a + Y_b + Y_n. \quad (19)$$

Величина ущерба от загрязнения атмосферы зависит от суммарной массы выбросов вредных веществ ( $M$ ) на рассматриваемом пространстве, приведенной к единой токсичности (усл.т/год); величины удельного ущерба ( $g$ ) от одной условной тонны выбросов (руб./усл.т) и безразмерных коэффициентов, учитывающих характер и условия рассеивания выброшенных источником примесей ( $f$ ) и относительную опасность загрязнения атмосферного воздуха на территориях с различной плотностью и чувствительностью реципиентов ( $s$ ). Расчет каждого из этих показателей также довольно сложен. Оценки газового ущерба от загрязнения атмосферы по этим показателям имеет вид:

$$Y_a = g \cdot f \cdot s \cdot M. \quad (20)$$

Аналогично рассчитываются ущербы от загрязнения водоемов и почвы.

*Показатели результатов хозяйственной деятельности предприятия*

Объем производства и прибыль уменьшаются на величину установленного ущерба ( $B_q = B - Y$ ;  $\Pi_q = \Pi - Y$ ) и пропорционально этому уменьшению снижаются фондоотдача, производительность и все показатели рентабельности, а норма затрат возрастает.

Предотвратить или существенно уменьшить ущерб при сохранении базового объема производства можно только путем увеличения затрат на изменение или увеличение производственных фондов за счет фондов природоохранного и средозащитного назначения. При этом должно соблюдаться условие высокой рентабельности средозащитных фондов, когда вложения в новую технологию или очистные устройства давали бы значительно превосходящие эти вложения средозащитные эффекты и сокращение ущерба.

Расчет показателей эффективности производства с учетом природоохранной деятельности можно осуществлять двумя способами. Первый применим в случае, когда затраты на охрану ОС невозможно выделить из общей суммы затрат (например, внедрение малоотходных технологий, оборотных циклов и т.п.), второй – непосредственно для расчета показателей эффективности средозащитных фондов.

Для определения уровня общей рентабельности с учетом природоохранной деятельности предприятия первым способом необходимо кроме прибыли учесть предотвращенный ущерб. Тогда рентабельность

$$R_{\phi 1} = \frac{\sum_{i=1}^n \Pi_i + \mathcal{E}_c}{\Phi^1}, \quad (21)$$

где  $\sum_{i=1}^n \Pi_i$  - суммарная прибыль, рассчитанная с учетом природоохранной деятельности предприятия, складывающаяся из прибыли от продукции основного производства, прибыли от экономии утилизированного сырья и прибыли от выпуска вторичной продукции;  $\mathcal{E}_c$  - средозащитный эффект, равный предотвращенному ущербу от загрязнения среды;  $\Phi^1$  - основные и оборотные фонды с учетом средозащитных фондов.

При втором способе, когда затраты на защиту ОС можно выделить из общих затрат (например, затраты на очистные сооружения), лучше применять критерии и методы оценки эффективности

непосредственно средозащитных фондов, например так, как это представлено в уравнении. Расчеты показателей эффективности сводятся к определению относительных расчетных величин. Их использование при оценке эффективности позволяет выявить экологически недостаточные или неприемлемые производственные процессы, нерентабельные с точки зрения конечных хозяйственных целей, и определить очередность осуществления средозащитных мер. Первоочередной задачей является использование экономических механизмов для снижения природоемкости производства.

### **Тема 5.3. Техничко-экономическое обоснование природоохранных мероприятий**

Лекция проводится в интерактивной форме: проблемная лекция (0,5 часа).

Техничко-экономическое обоснование одно- и многоцелевых природоохранных мероприятий проводится на следующих этапах:

– включение работы в план научных исследований, анализ в процессе исследования или проектирования альтернативных технических решений, завершение отдельных этапов или работы в целом;

– решение вопроса о включении результатов разработки в план внедрения и выделение средств на осуществление природоохранных мероприятий;

– анализ экономической эффективности внедренного природоохранного мероприятия.

Учитывая различие целей проведения технико-экономического обоснования и различную степень достоверности исходной информации на разных этапах разработки и внедрения, выделяют следующие виды технико-экономических расчетов:

– определение предварительного (прогностического) экономического эффекта планируемых исследований и находящихся на начальных стадиях работ;

– экономическое обоснование принимаемых в процессе исследований технических решений;

– расчет ожидаемого экономического эффекта отдельных законченных этапов природоохранных НИР или полностью завершенных разработок; расчет планового экономического эффекта внедренных результатов научных исследований или проектов; расчет фактического экономического эффекта внедренных разработок.

В состав технико-экономического обоснования в общем случае должны входить:

1) анализ производственных, научно-технических, технико-экономических, социальных и экологических аспектов проблемы и обоснование необходимости проведения работ;

2) краткое описание целей и содержания рассматриваемой работы, а также предполагаемых (прогностических) плановых или фактических технических и экологических характеристик природоохранной техники или новой технологии;

3) оценка сроков проведения исследований и объемов финансирования;

4) выбор базы сравнения;

5) анализ технических и экологических преимуществ новой техники по сравнению с базовой;

6) анализ характера влияния технических различий новой и базовой техники на экономические показатели;

7) установление объемов внедрения разработки;

8) определение затрат на осуществление базового природоохранного мероприятия;

9) расчет (при необходимости) величины экономического ущерба от загрязнения окружающей среды при внедрении базового природоохранного мероприятия;

10) определение затрат на разработку и внедрение предлагаемых вариантов природоохранных мероприятий;

11) расчет (при необходимости) величины экономического ущерба от загрязнения окружающей среды при внедрении предлагаемых природоохранных мероприятий;

12) приведение вариантов к сопоставимому виду;

13) экономическое сравнение вариантов, определение размеров экономического эффекта;

14) оценка социально-экономического эффекта от внедрения результатов разработки;

15) оценка научно-технического эффекта;

16) выводы.

#### Выбор базы сравнения

I. При расчете прогностического экономического эффекта за базу рекомендуется принимать технико-экономические показатели лучшей природоохранной техники (технологии) того же назначения, спроектированной в Российской Федерации или за рубежом.

II. При расчете планового экономического эффекта за базу сравнения принимают лучшую из имеющейся освоенной природоохранной техники или технологии, взамен

которой предлагается использовать новые более прогрессивные и эффективные технические решения.

III. В технико-экономических обоснованиях проектных решений в качестве базы сравнения рекомендуется принимать: технико-экономические показатели лучшей из освоенной природоохранной техники или технологии (при наличии альтернативных решений).

IV. При включении природоохранного мероприятия в план внедрения конкретного предприятия и при оценке фактической эффективности внедренной техники в расчетном году в качестве базы сравнения следует использовать технико-экономические показатели заменяемой техники; лучшей в отрасли и в стране аналогичной по назначению техники или технологии.

#### 4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2.	Исследование рассеивания в атмосфере вредных выбросов котельных и ТЭС	4	тренинги в малой группе (4 час.)
2	3.	Исследование эффективности очистки батарейного циклона	2	тренинги в малой группе (2 час.)
3	3.	Испытания золоулавливающих установок котельных и ТЭС	2	тренинги в малой группе (2 час.)
4	5.	Методы и приборы для анализа газового состава атмосферного воздуха	2	тренинги в малой группе (2 час.)
5	5.	Измерение концентрации компонента в атмосфере с помощью лабораторных газоанализаторов	2	тренинги в малой группе (2 час.)
<b>ИТОГО</b>			<b>12</b>	<b>12</b>

#### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование тем практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	2.	Расчет выбросов котельных и ТЭС в атмосферу	8	-
2	2.	Расчет рассеивания вредных веществ в атмосфере	4	тренинги в малой группе (2 час.)
3	2.	Расчет высоты дымовой трубы. Расчет ПДВ котельных и ТЭС	2	тренинги в малой группе (2 час.)
4	5.	Оценка экономического ущерба от загрязнения атмосферы и водоемов	6	-
5	5.	Природоохранные мероприятия. Расчет предотвращенного ущерба от загрязнения атмосферы	4	-
<b>ИТОГО</b>			<b>24</b>	<b>2</b>

#### 4.5. Контрольные мероприятия: контрольная работа.

Цель: в соответствии с действующими методиками приобретение навыков расчетов выбросов загрязнителей при работе теплоисточников, расчете и выборе высоты дымовой трубы, нормировании ПДВ, экономической оценке ущерба, наносимого окружающей среде.

Структура:

1. Расчет выбросов загрязнителей в атмосфере.
  2. Расчет высоты дымовой трубы.
  3. Расчет ПДВ загрязнителей.
  4. Оценка экономического эффекта от внедрения природоохранных мероприятий.
- Заключение.

Основная тематика: расчет загрязнения атмосферы при работе котельной.

Рекомендуемый объем: 25-30 страниц машинописного текста.

Выдача задания, прием контрольной работы проводится в соответствии с календарным учебным графиком.

Оценка	Критерии оценки курсовой работы
отлично	Контрольная работа сдана в срок согласно графику контрольных мероприятий. Полное освоение и понимание обучающимся материала, использованного при выполнении контрольной работы; при защите контрольной работы обучающийся ответил на все вопросы преподавателя.
хорошо	Контрольная работа сдана в срок (или с опозданием на 1 неделю) согласно графику контрольных мероприятий. Полное освоение и понимание обучающимся материала, использованного при выполнении контрольной работы; при защите контрольной работы обучающийся ответил на большинство вопросов преподавателя.
удовлетворительно	Контрольная работа не сдана в срок согласно графику контрольных мероприятий. Частичное освоение и понимание обучающимся материала, использованного при выполнении контрольной работы; при защите контрольной работы обучающийся ответил на большинство вопросов преподавателя.
неудовлетворительно	Контрольная работа не сдана в срок согласно графику контрольных мероприятий. Обучающимся не освоен материал, использованный при выполнении контрольной работы; в случае допуска обучающегося к защите контрольной работы, в процессе защиты обучающийся не ответил ни на один вопрос преподавателя.

#### 5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Компетенции №, наименование разделов дисциплины	Кол-во часов	Компетенции		$\Sigma$ комп.	$t_{ср}$ час	Вид учебных занятий	Оценка результатов
		ОК-7	ПК-9				
1	2	3	4	5	6	7	8
1.Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды	10	+	+	2	5	Лк, СР	экзамен
2.Выбросы	68	+	+	2	34	Лк,ПЗ,ЛР,	кр, экзамен

теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду						СР	
<b>3.Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных</b>	54	+	+	2	27	Лк,ЛР, СР	кр, экзамен
<b>4.Сточные воды теплоэнергетических систем, их очистка</b>	12	+	+	2	6	Лк, СР	экзамен
<b>5.Экономические аспекты природоохранных мероприятий</b>	36	+	+	2	18	Лк,ПЗ,ЛР, СР	кр, экзамен
<b>Всего часов</b>	<b>180</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>2</b>	<b>90</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Юшин В. В., Попов В. М. Техника и технология защиты воздушной среды: Учебное пособие - М.: Высш. школа, 2005.- 391с. [с. 61–112];
2. Повышение экологической безопасности ТЭС / Абрамов А. И., Елизаров Д. П., Ремезов А. Н. и др. – М.: МЭИ, 2002. – 376с. [с. 7–140, 246–311];
3. Семенов С.А. Расчет и контроль загрязнения атмосферы при работе котельных и ТЭС: Учебное пособие. Рекомендовано Сибирским региональным отделением учебно-методического объединения высших учебных заведений РФ по образованию в области энергетики и электротехники для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов направлений 140104 «Промышленная теплоэнергетика» и 140106 «Энергообеспечение предприятий», а так же специальности 270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция», 3-е изд., перераб. и доп.– Братск: Изд-во ГОУ ВПО «БрГУ», 2009 – 156 с. [с. 45–155].

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
1	2	3	4	5
<b>Основная литература</b>				
1.	Ветошкин, А.Г. Основы инженерной защиты окружающей среды: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – 2-е изд. испр. и доп. – Москва-Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. – 456 с.: ил., табл., схем. – Библиогр. в кн.. – ISBN 978-5-9729-0124-1; То же [Электронный ресурс]. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=444182">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=444182</a> (03.03.2017)	Лк, ПЗ, ЛР	1 (ЭУ)	1
2.	Семенов, С.А. Расчет и контроль загрязнения атмосферы при работе котельных и ТЭС : учеб. пособие для вузов / С. А. Семенов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Братск: БрГУ, 2009. - 156 с.	Лк, ПЗ, ЛР	160	1
3.	Васильев, С.И. Основы промышленной безопасности: учебное пособие: в 2-х ч. / С.И. Васильев, Л.Н. Горбунова / - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. – Ч. 1. – 502 с.: табл., ил., граф. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7638-2320-2. – ISBN 978-5-7638-2321-9 (часть 1); То же [Электронный ресурс]. – URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=364128">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=364128</a>	Лк, ПЗ, ЛР	1 (ЭУ)	1

	(03.03.2017)			
<b>Дополнительная литература</b>				
4.	Жабо, В.В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС: учебник / В. В. Жабо. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 240 с.	Лк, ЛР	19	0,5
5	Инженерная защита окружающей среды: Очистка вод. Утилизация отходов. / Ю.А. Бирман. - М.: АСВ, 2002. – 296с.	Лк, ЛР	25	1
6.	Семенов, С.А. Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов: лабораторный практикум / С. А. Семенов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Братск : БрГУ, 2009. - 105 с.	Лк, ЛР	159	1
7.	Степановских, А.С. Прикладная экология: охрана окружающей среды : учебник для вузов / А. С. Степановских. - М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2005. - 751 с.	Лк, ЛР	50	1
8.	Глухов, В.В. Экономические основы экологии : учеб. пособие для вузов / В. В. Глухов, Т. П. Некрасова. - 3-е изд. - СПб. : Питер, 2003. - 384 с.	Лк, ЛР	50	1

## **8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ  
<http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»  
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»  
<http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"  
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)  
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ  
<http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных и практических работ**

#### **Лабораторная работа №1**

#### **Исследование рассеивания в атмосфере вредных выбросов котельных и ТЭС**

Лабораторная работа проводится в интерактивной форме: тренинги в малых группах (4 часа).

Цель работы: освоение методики расчета рассеивания загрязнителей в атмосфере и изучение влияния различных факторов на концентрацию вредных веществ в приземном слое.

#### Порядок проведения вычислительного эксперимента и обработка результатов

Конечной целью работы является построение изолиний концентраций загрязнителя по оси факела или в координатах X и Y. Данная работа выполняется на ЭВМ. Блок-схема алгоритма расчета

приведена на рисунке 9.1.

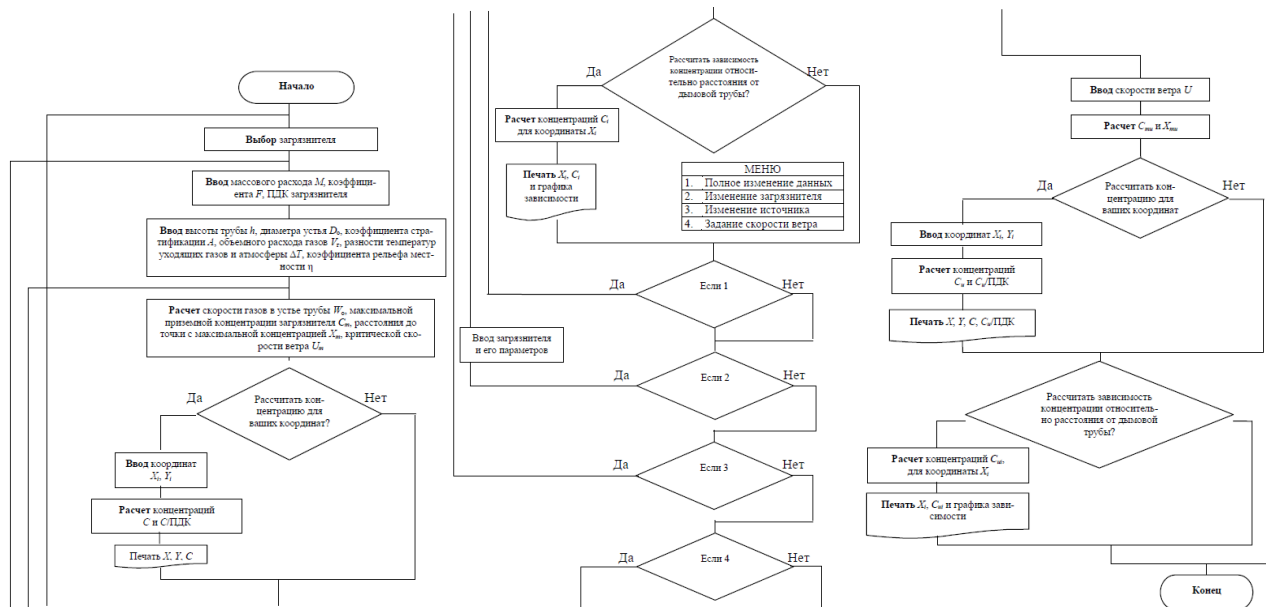


Рисунок 9.1. Блок-схема алгоритма расчета приземных концентраций

Выполнение работы начинается с задания имени файла, в который будут записаны результаты расчетов.

По заданию используются следующие исходные данные:

- вид загрязнителя;
- массовый расход загрязнителя;
- коэффициент  $F$ ;
- ПДК загрязнителя, мг/м<sup>3</sup>;
- расстояние до точки с максимальной концентрацией  $X_m$ , м, (формулы (4.8), (4.9));
- критической скорости ветра  $U_m$ , м/с (формула (4.10)).

Далее работа может быть выполнена в двух вариантах. В первом варианте производится расчет концентрации загрязнителя либо относительно расстояния  $X$  от дымовой трубы по оси факела, либо по задаваемым координатам  $X$  и  $Y$  (формулы (4.16), (4.18)–(4.20)). На печать выдается сетка концентраций загрязнителя по оси  $X$  или по  $X$  и  $Y$ , по которым строятся графические зависимости. Во втором варианте программы решается обратная задача: для задаваемых значений концентрации  $C_i$  или отношений  $C_i/\text{ПДК}_i$  определяются соответствующие координаты  $X_i$  и  $Y_i$ . С этой целью, исходя из полученного значения  $C_m$  (выводимого на экран), по заданию руководителя задается расчетная сетка концентраций загрязнителя: требуемое количество значений и сами концентрации в долях от ПДК, но не превышающих  $C_m$ . Расчет координат  $X$  и  $Y$ , соответствующих каждому значению концентрации при критической скорости ветра  $U_m$ , производится из формул (4.15), (4.16), (4.18)–(4.20). Результаты расчетов выводятся в виде таблицы и записываются в файл. Для изучения влияния различных факторов на рассеивание загрязнителя в атмосфере по заданию преподавателя производится изменение исходных данных. Для этого должен быть выбран соответствующий режим работы: 1) с изменением параметров источника загрязнителя и полным изменением исходных данных или 2) заданием скорости ветра, отличной от критической. В последнем случае расчет  $C_m$ ,  $X_m$  и координат  $X$  и  $Y$  производится по формулам (4.11)–(4.14), (4.17)–(4.20). После окончания расчетов необходимо распечатать файл с результатами. По полученным данным студенты должны построить графики рассеивания загрязнителя по оси факела или в координатах  $X$  и  $Y$ . Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие разделы: название, цель работы, теоретическое введение (краткое), основные расчетные формулы, результаты вычислительного эксперимента (распечатки оформляются на отдельном листе), обработка результатов (построение графиков и их анализ), выводы.

#### Контрольные вопросы:

1. Объясните механизм рассеивания загрязнителей в атмосфере.
2. В чем особенности методики расчета рассеивания?
3. От каких факторов зависит максимальная приземная концентрация загрязнителя?
4. Как влияют климатологические условия на рассеивание загрязнителей в атмосфере?
5. Как влияют размеры дымовой трубы и условия выхода дымовых газов на рассеивание вредных



веществ?

6. Укажите основные пути улучшения рассеивания вредных веществ через дымовые трубы.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам 2.7, 2.8 раздела 2.

Основная литература : [1,2].

Дополнительная литература: [4, 5].

**Лабораторная работа №2**  
**Исследование эффективности очистки батарейного циклона**

Лабораторная работа проводится в интерактивной форме: тренинги в малых группах (2 часа).

Цель работы:

- 1) освоение методики выбора и расчета батарейного циклона;
- 2) получение зависимости степени очистки и гидравлического сопротивления золоуловителя от скорости газов.

Порядок выполнения вычислительного эксперимента и обработка результатов:

Блок-схема алгоритма расчета батарейного циклона приведена на рисунке 9.2.

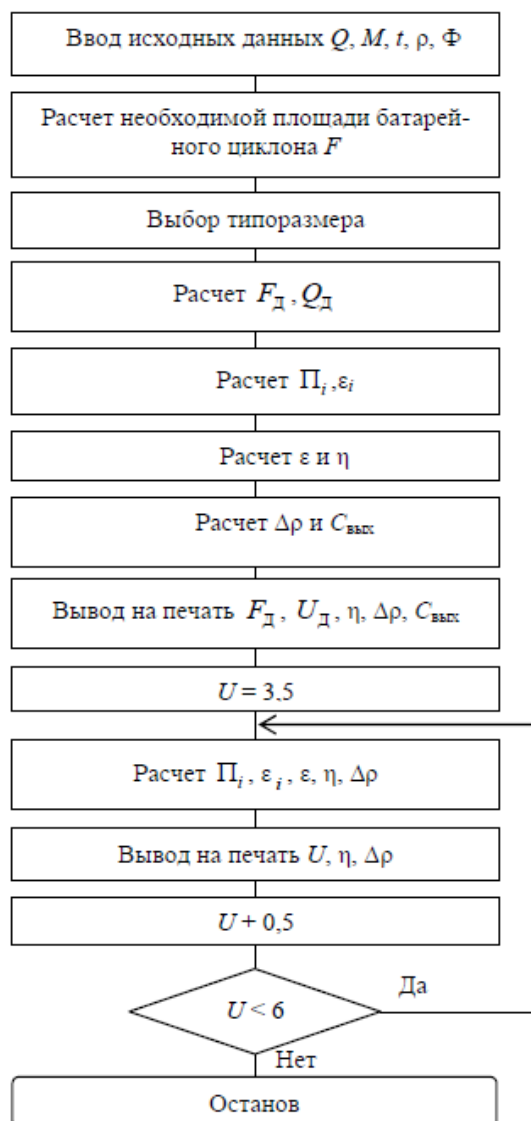


Рисунок 9.2. Блок-схема расчета батарейного циклона

В качестве исходных данных в ЭВМ вводятся:

- объемный расход дымовых газов при нормальных условиях  $Q$ , м<sup>3</sup>/с;
- массовый расход золы на входе в батарейный циклон  $M_3$ , г/с;
- температура газов на входе в золоуловитель  $t_3$ , °С;
- плотность газов при нормальных условиях  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, или объемный состав газов (RO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O);
- дисперсный состав золы в уносе (см. прил. 4).

В качестве примера в программе приводится дисперсный состав золы уноса Ирша-Бородинского угля. Данная работа выполняется в два этапа. На первом этапе производится выбор типоразмера батарейного циклона и рассчитываются степень очистки, гидравлическое сопротивление и запыленность газа на выходе из золоуловителя. Расчеты ведутся в соответствии с методикой расчета, приведенной далее.

#### Методика расчета батарейного циклона:

Расчет батарейных циклонов ведется в такой последовательности. И сходными данными являются:

- количество очищаемого газа при номинальной нагрузке котла  $Q$ , м<sup>3</sup>/с;
- температура газов на входе в золоуловитель  $t_3$ , °С;
- плотность газов при нормальных условиях  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>;
- массовый расход золы на входе в батарейный циклон  $M_3$ , г/с;
- дисперсный состав золы.

1. Уточняется объемный расход дымовых газов в золоуловителе

$$Q_3 = Q \cdot (273 + t_3) / 273. \quad (9.1)$$

2. Рассчитывается необходимая площадь батарейного циклона

$$F = Q_3 / (U \cdot Z), \quad (9.2)$$

где  $U$  – скорость газа, отнесенная к скорости поперечного сечения циклона, м/с (рекомендуется принимать  $U = 4,5$  м/с);  $Z$  – число батарейных циклонов на один котел. Количество устанавливаемых на один котел батарейных циклонов определяется исходя из предельной производительности одного золоуловителя, которая составляет: для БЦ – 458 000 м<sup>3</sup>/ч, для БЦУ-М – 855 000 м<sup>3</sup>/ч.

3. Производится выбор типоразмера батарейного циклона и определяется его действительная площадь

$$F_d = f_3 \cdot n, \quad (9.3)$$

где  $f_3$  – площадь сечения одного элемента, м<sup>2</sup>;  $n$  – число элементов.

4. Уточняется действительная скорость газа в циклоне

$$U_d = Q_3 / F_d Z. \quad (9.4)$$

Скорость газа в циклоне не должна отличаться от оптимальной более чем на 15 %.

5. Для каждой фракции рассчитывается параметр улавливания по табл. 11.5 [10] или по выражению

$$\Pi_i = k (U_d / 4,5)^{1/2} \cdot d_i^{1/3}, \quad (9.5)$$

где  $d_i$  – средний диаметр фракции, мкм;  $k$  – коэффициент, равный для БЦ – 0,35; для БЦУ-М – 0,5.

6. Рассчитывается степень уноса для каждой фракции

$$e_i = \exp(-\Pi_i). \quad (9.6)$$

7. Определяются общая степень уноса и степень очистки

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_i \Phi_i / 100, \quad (9.7)$$

$$h = 1 - \varepsilon. \quad (9.8)$$

8. Рассчитывается гидравлическое сопротивление циклона

$$D_p = 0,5x \cdot \rho \cdot U_d^2 \cdot 273 / (273 + t_3), \quad (9.9)$$

где  $x$  – коэффициент гидравлического сопротивления: для циклонов БЦ  $x = 90$ ; для БЦУ  $x = 115$ .

9. Определяется запыленность газа на выходе из золоуловителя

$$C_{\text{вых}} = C_{\text{вх}} (1 - h) = M_3 (1 - h) / Q_3. \quad (9.10)$$

#### Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия батарейного циклона.
2. В чем достоинства и недостатки батарейных циклонов?
3. Какие типы батарейных циклонов используются в энергетике?
4. От чего зависит степень очистки батарейного циклона?
5. Каким образом производится выбор батарейного циклона?
6. Как влияет скорость газов на эффективность очистки и гидравлическое сопротивление золоуловителя?

#### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам 3.3, 3.5 раздела 3.

Основная литература : [1,3].

Дополнительная литература: [4, 7].

### **Лабораторная работа №3** **Испытания золоулавливающих установок котельных и ТЭС**

Лабораторная работа проводится в интерактивной форме: тренинги в малых группах (2 часа).

Цель работы: освоение методики проведения испытаний золоулавливающих установок.

Порядок выполнения работы и требования к оформлению отчета:

Лабораторная работа выполняется в два этапа. На первом этапе студенты, пользуясь учебно-методической и справочной литературой, знакомятся с методикой испытаний золоулавливающих установок различных типов и с методами определения основных параметров дымовых газов. После усвоения теоретического материала студенты на втором занятии знакомятся с конструкцией пылезаборной трубки и приобретают навыки работы с ней для определения массового расхода золы, содержащейся в дымовых газах. Самостоятельно студенты производят обработку результатов испытаний золоуловителя. После выполнения лабораторной работы каждым студентом индивидуально оформляется отчет. Отчет должен содержать следующие разделы:

- цель работы;
- методика испытаний золоулавливающей установки заданного типа;
- краткое описание конструкции пылезаборной трубки и порядка работы с ней;
- обработка результатов испытаний золоуловителя;
- сводная таблица результатов испытаний согласно прил. 6 [6].

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию испытаний золоулавливающих установок.
2. Какие требования предъявляются к испытаниям золоуловителей?
3. Приведите программу и объем испытаний золоуловителей.
4. В чем заключается организация испытаний?
4. Какие требования предъявляются к мерным участкам и точкам измерений?
5. Какие основные параметры определяются при испытаниях золоуловителей?
6. Объясните схему установки пылезаборного зонда при испытаниях золоуловителей.
7. Какие приборы и приспособления применяются при испытаниях золоуловителей?
8. Укажите основные составляющие погрешности измерений при испытаниях золоулавливающих установок.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам 3.3 – 3.5 раздела 3.

Основная литература : [1,3].

Дополнительная литература: [4, 6, 7].

### **Лабораторная работа №4** **Методы и приборы для анализа газового состава атмосферного воздуха**

Лабораторная работа проводится в интерактивной форме: тренинги в малых группах (2 часа).

Цель работы: знакомство с основными методами и приборами для определения концентрации вредных примесей в атмосферном воздухе и уходящих газах котельных и ТЭС.

Порядок выполнения работы и требования к оформлению отчета:

В данной работе студенты, пользуясь учебно-методической и справочной литературой, знакомятся с основными методами анализа состава дымовых газов и воздуха, принципами действия применяемых газоанализаторов, а также конструкциями лабораторных газоанализаторов.

После усвоения теоретического материала каждым студентом индивидуально оформляется

отчет. Отчет должен содержать следующие разделы: название работы и ее цель, классификацию методов измерения концентраций вредных примесей в атмосфере, краткое описание принципов действия основных типов газоанализаторов, выводы.

#### Контрольные вопросы

1. Назначение газоанализаторов.
2. Какие методы применяются для измерения концентраций вредных примесей в дымовых газах?
3. Приведите достоинства и недостатки различных типов газоанализаторов.
4. Объясните принцип действия объемных химических и линейно-колористических газоанализаторов.
5. В чем заключается особенность работы оптических и электрических газоанализаторов.
6. Объясните принцип действия хроматографа.
7. Приведите принципиальную схему электрохимического газоанализатора.

#### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам 2.3, 2.4 раздела 2.

Основная литература : [1,3].

Дополнительная литература: [4, 7].

### **Лабораторная работа №5**

#### **Измерение концентрации компонента в атмосфере с помощью лабораторных газоанализаторов**

Лабораторная работа проводится в интерактивной форме: тренинги в малых группах (2 часа).

#### Цель работы:

- 1) приобретение навыков работы с лабораторными газоанализаторами УГ-2, ГХП, Kane-400;
- 2) измерение концентрации вещества в анализируемой газовой смеси.

#### Порядок выполнения работы и требования к оформлению отчета:

В данной работе студенты знакомятся с конструкциями и порядком работы лабораторных газоанализаторов УГ-2, ГХП, Kane 400 и производят с их помощью замеры концентрации определенного компонента в атмосферном воздухе. Отчет по лабораторной работе должен содержать следующие разделы: название и цель работы, схемы лабораторных газоанализаторов и порядок работы с ними, результаты измерения, выводы.

#### Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия и особенности конструкции газоанализаторов ГХП, УГ-2, Kane 400.
2. Укажите достоинства и недостатки газоанализаторов ГХП, УГ-2, Kane 400.
3. Приведите порядок работы с лабораторными газоанализаторами.

#### Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам 2.3, 2.4 раздела 2.

Основная литература : [1,3].

Дополнительная литература: [4, 7].

**Методические указания для обучающихся по выполнению практических работ**

### **Практическая работа №1**

#### **Расчет выбросов котельных и ТЭС в атмосферу**

Цель работы: научиться рассчитывать выбросы котельных и ТЭС в атмосферу.

Задание: рассчитать выбросы котельных и ТЭС в атмосферу, используя методику, приведенную в [2].

#### Порядок выполнения.

Суммарное количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива)  $M_{тв}$ , т/год (г/с),

поступающих в атмосферу с дымовыми газами котлов, вычисляют по одной из двух формул:

$$M_{\text{тв}} = BA^p a_{\text{yh}}(1 - \eta_3)/(100 - \Gamma_{\text{yh}}), \quad (2.20)$$

$$M_{\text{тв}} = 0,01 \cdot B \left( a_{\text{yh}} A^p + q_4 \frac{Q_{\text{н}}^p}{32680} \right) (1 - \eta_3), \quad (2.21)$$

где  $B$  – расход натурального топлива за рассматриваемый период, т/год (г/с);  $A^p$  – зольность топлива на рабочую массу, %;  $a_{\text{yh}}$  – доля золы топлива в уносе; при отсутствии данных замеров используют нормативные значения;  $\Gamma_{\text{yh}}$  – содержание горючих в уносе, %, при отсутствии данных замеров расчет  $M_{\text{тв}}$  ведется по формуле (2.21);  $q_4$  – потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, %, при отсутствии данных замеров используют нормативные значения;  $Q_{\text{н}}^p$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг; 32680 – теплота сгорания углерода, кДж/кг;  $\eta_3$  – степень улавливания твердых частиц в золоуловителе.

Количество летучей золы, входящее в суммарное количество уносимых в атмосферу твердых частиц, вычисляют по формуле

$$M_3 = 0,01 B a_{\text{yh}} A^p (1 - \eta_3). \quad (2.22)$$

Количество твердых частиц, образующихся в топке в результате механического недожога топлива и выбрасываемых в атмосферу в виде коксовых остатков при сжигании твердого топлива, определяют по формуле

$$M_{\text{к}} = M_{\text{тв}} - M_3. \quad (2.23)$$

Количество оксидов серы ( $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$ ) в пересчете на  $\text{SO}_2$  за любой промежуток времени  $M_{\text{so}_2}$ , т/год (г/с), определяют по формуле

$$M_{\text{so}_2} = 0,02 B S^p (1 - \eta'_{\text{so}_2}) \cdot (1 - \eta''_{\text{so}_2}) \cdot \left( 1 - \eta_{\text{so}_2}^c \frac{n_{\text{оч}}}{n_{\text{к}}} \right), \quad (2.23)$$

где  $B$  – расход натурального топлива за рассматриваемый период, т/год (г/с);  $S^p$  – содержание серы в топливе, %;  $\eta'_{\text{so}_2}$  – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в газоходах котла;  $\eta''_{\text{so}_2}$  – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе вместе с твердыми частицами;  $\eta_{\text{so}_2}^c$  – доля оксидов серы, улавливаемых в сероулавливающей установке;  $n_{\text{оч}}$ ,  $n_{\text{к}}$  – длительность работы сероулавливающей установки и котла соответственно, ч/год.

Для паровых котлов паропроизводительностью 30...75 т/ч и водогрейных котлов производительностью 30...50 Гкал/ч.

Количество оксидов азота в пересчете на диоксид азота  $M_{\text{NO}_x}$ , т/год (г/с), рассчитывают по эмпирической формуле

$$M_{\text{NO}_x} = BK_{\text{NO}_2} \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right) \beta_1 \left( 1 - \varepsilon_1 r \right) \beta_2 \beta_3 \varepsilon_2 \left( 1 - \eta_{\text{аз}} \frac{n_{\text{о}}}{n_{\text{к}}} \right) k_{\text{п}}, \quad (2.43)$$

где  $B$  – расход условного топлива за рассматриваемый период, т. усл. топл/год, т. усл. топл/ч;

$K_{\text{NO}_2}$  – коэффициент, характеризующий выход оксидов азота, кг/т условного топлива;

$q_4$  – потери тепла от механической неполноты сгорания топлива, %;

$\beta_1$  – коэффициент, учитывающий влияние на выход оксидов азота качества сжигаемого топлива;

$\beta_2$  – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок: для вихревых горелок  $\beta_2 = 1$ , для прямоточных  $\beta_2 = 0,85$ ;

$\beta_3$  – коэффициент, учитывающий вид шлакоудаления: при твердом шлакоудалении  $\beta_3 = 1$ ; при жидком  $\beta_3 = 1,6$ , за исключением котлов с жидким шлакоудалением, работающих на канско-ачинских углях, для которых  $\beta_3 = 1$ , т.к. температура в ядре горения не превышает 1500 °С;

$\varepsilon_1$  – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов на выход оксидов азота в зависимости от условий подачи их в топку;

$\varepsilon_2$  – коэффициент, характеризующий снижение выброса оксидов азота при подаче части воздуха помимо основных горелок (при двухступенчатом сжигании) при условии сохранения общего избытка воздуха за котлом;

$r$  – степень рециркуляции дымовых газов, %;

$\eta_{\text{аз}}$  – доля оксидов азота, улавливаемых в азотоочистной установке;

$n_{\text{о}}$ ,  $n_{\text{к}}$  – длительность работы азотоочистной установки и котла, ч/год;

$k_{\text{п}}$  – коэффициент пересчета; при расчете валовых выбросов

в г/с  $k_n = 0,278$ ; при расчете выбросов в т/год  $k_n = 10^{-3}$ .

Расчет количества выбросов СО выполняют на основании данных инструментальных замеров (см. раздел 2.1).

При их отсутствии оценка суммарного количества выбросов оксида углерода, т/год или г/с, может быть выполнена по соотношению

$$M_{CO} = 10^{-3} BC_{CO} \left( 1 - \frac{q_4}{100} \right), \quad (2.48)$$

где  $B$  – расход топлива, т/год (тыс. нм<sup>3</sup>/год) или г/с (нм<sup>3</sup>/с);  
 $C_{CO}$  – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т (кг/тыс. нм<sup>3</sup>) или г/кг (г/нм<sup>3</sup>), рассчитываемый по формуле

$$C_{CO} = q_3 R Q_n^p, \quad (2.49)$$

где  $q_3$  – потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, %;

$R$  – коэффициент, учитывающий долю потери тепла вследствие химической неполноты сгорания топлива, которая обусловлена наличием в продуктах неполного сгорания оксида углерода; принимается равным: для твердого топлива – 1,0; мазута – 0,65; газа – 0,5;

$Q_n^p$  – низшая теплота сгорания натурального топлива, МДж/кг, (МДж/нм<sup>3</sup>);

$q_4$  – потери тепла вследствие механической неполноты сгорания топлива, %.

Значения  $q_3$  и  $q_4$  принимают по эксплуатационным данным, при их отсутствии – по нормативным данным.

Максимальный разовый выброс бенз(а)пирена в атмосферу при сжигании всех видов топлива  $M_{БП}^p$ , г/с, рассчитывают по формуле

$$M_{БП}^p = V_{\Gamma} C_{БП} 10^{-6}, \quad (2.63)$$

где  $C_{БП}$  – концентрация бенз(а)пирена в дымовых газах, рассчитанная в зависимости от вида сжигаемого топлива, мкг/м<sup>3</sup>;

$V_{\Gamma}$  – объем дымовых газов котла при соответствующем значении  $\alpha_{yx}$ , м<sup>3</sup>/с.

Валовый (годовой) выброс бенз(а)пирена  $M_{БП}^{год}$ , т/год, вычисляют по формуле

$$M_{БП}^{год} = 1,1 \cdot 10^{-9} C_{БП}^{год} V_{\Gamma}' B^{год}, \quad (2.64)$$

где  $C_{БП}^{год}$  – среднегодовая концентрация бенз(а)пирена в уходящих газах, мкг/м<sup>3</sup>, равная

$$C_{БП}^{год} = \frac{C_1 B_1 + C_2 B_2 + \dots + C_i B_i}{B_1 + B_2 + \dots + B_i}, \quad (2.65)$$

где  $C_i$  – концентрация бенз(а)пирена в периоды нагрузок, для которых производят расчеты, мкг/м<sup>3</sup>;  $B_i$  – соответствующие  $C_i$  расходы топлива, т/ч (тыс. м<sup>3</sup>/ч);

$V_{\Gamma}'$  – объем дымовых газов от сжигания 1 кг или 1 м<sup>3</sup> топлива, м<sup>3</sup>/кг, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>:

для твердого топлива

$$V_{\Gamma}' = V_{\Gamma}^0 + 0,5 V_{\text{в}}^0; \quad (2.66)$$

для газа и мазута

$$V_{\Gamma}' = V_{\Gamma}^0 + 0,3 V_{\text{в}}^0, \quad (2.67)$$

где  $V_{\Gamma}^0$ ,  $V_{\text{в}}^0$  – соответственно теоретический объем продуктов сгорания и теоретически необходимый объем воздуха на горение при нормальных условиях, м<sup>3</sup>/кг или м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$B^{год}$  – годовой расход условного топлива, т у.т./год.

Концентрацию бенз(а)пирена в дымовых газах рассчитывают в зависимости от вида топлива.

*Для котлов, работающих на твердом топливе*

Концентрацию бенз(а)пирена в дымовых газах пылеугольных котлов  $C_{БП}^{тв}$ , мкг/м<sup>3</sup>, приведенную к  $\alpha_{yx} = 1,50$ , рассчитывают по формуле

$$C_{БП}^{тв} = 5 \cdot 10^{-3} A Q_n^p (100 - \eta_{ул} / 100) K_{оч}, \quad (2.70)$$

где  $A$  – коэффициент, определяемый по формуле

$$A = 1,62 \exp(-4,1 \alpha_{\text{пл}}^{\text{н}});$$

$Q_n^p$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$\eta_{ул}$  – степень улавливания бенз(а)пирена в золоуловителях, %, принимается по табл. 2.5 [2] или рассчитывается по формуле

$$\eta_{ул} = (0,7 \dots 0,8) \eta_{зу},$$

где  $\eta_{\text{зу}}$  – КПД золоуловителя;

$K_{\text{оч}}$  – коэффициент, учитывающий увеличение концентрации бенз(а)пирена в уходящих газах во время работы дробевых очисток поверхностей нагрева котла, принимаемый равным 1,5.

Форма отчетности: соответствующий раздел курсовой работы.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материала по темам 2.1–2.6 раздела 2.

Основная литература: [2].

Дополнительная литература: [4].

### **Практическая работа №2** **Расчет рассеивания вредных веществ в атмосфере**

Практическая работа проводится в интерактивной форме: тренинги в малых группах (2 часа).

Цель работы: научиться проводить расчет рассеивания вредных веществ в атмосфере.

Задание: согласно методике, изложенной в [2], произвести расчет рассеивания вредных веществ в атмосфере.

Порядок выполнения.

Максимальную приземную концентрацию вредных веществ для выброса дымовых газов с температурой  $t$  из одиночной дымовой трубы с круглым устьем,  $\text{мг/м}^3$ , определяют по формуле

$$C_m = \frac{AMFmn\eta}{h^2 \sqrt[3]{V\Delta T}}, \quad (3.4)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания загрязнителей в атмосфере,  $\text{с}^{2/3}\text{мгК}^{1/3}/\text{г}$ ;  $M$  – максимально разовое количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания взвешенных частиц в атмосфере: для газообразных веществ и мелкодисперсных аэрозолей со скоростью оседания наиболее крупных фракций  $3 \div 5$  м/с  $F = 1$ ; для золы после золоуловителей при среднем эксплуатационном коэффициенте улавливания  $\eta_{\text{зу}} \geq 90$  %  $F = 2$ ; при  $75$  %  $\leq \eta_{\text{зу}} < 90$   $F = 2,5$ ; при  $\eta_{\text{зу}} < 75$  % и при отсутствии очистки  $F = 3$ ;  $m, n$  – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газоздушной смеси из устья трубы;  $h$  – высота дымовой трубы, м;  $V$  – объемный расход выбрасываемых дымовых газов,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta T$  – разность температур выбрасываемых дымовых газов и окружающего атмосферного воздуха  $t_{\text{в}}$ , °С;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;  $n = 1$ , если в радиусе, равном 50 высотам трубы от источника, перепад отметок местности не превышает 50 м на 1 км; (для условий г. Братска  $\eta = 1,04$ ).

Приняты следующие значения коэффициента  $A$ : Бурятия, Читинская область – 250; районы южнее 50° северной широты, остальные районы Нижнего Поволжья и Кавказа, остальные территории Сибири и дальнего Востока, источники высотой менее 200 м – 200; европейская территория и Урал от 50° до 52° северной широты – 180; европейская территория и Урал севернее 50° северной широты (за исключением центра европейской территории) – 160; Московская, Тульская, Рязанская, Владимирская, Калужская и Ивановская области – 140.

Коэффициент  $m$  зависит от параметра  $f$ :

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \quad (3.5)$$

$$f = \frac{10^3 \varpi_0^2 D_0}{h^2 \Delta T}, \quad (3.6)$$

где  $\varpi_0$  – скорость выхода газов из устья трубы, м/с;  $D_0$  – диаметр устья дымовой трубы, м.

Безразмерный коэффициент  $n$  зависит от параметра  $V_m$ , равного

$$V_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V\Delta T}{h}}. \quad (3.7)$$

$$\text{При } \begin{array}{ll} V_m \leq 0,5 & n = 4,4 V_m; \\ 0,3 < V_m \leq 2 & n = 0,532 V_m^2 - 2,13 V_m + 3,13; \\ V_m > 2 & n = 1. \end{array} \quad (3.8)$$

При расчете  $\Delta T$  температуру окружающего воздуха принимают равной средней за самый холодный месяц для котельных и ТЭЦ, работающих по отопительному графику, и средней температуре самого жаркого месяца в полдень – в остальных случаях.

Объем дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу, вычисляют по формуле

$$V = BV_r \frac{t + 273}{273}, \quad (3.9)$$

где  $V_r$  – объем дымовых газов от сжигания 1 кг или 1 м<sup>3</sup> топлива, м<sup>3</sup>/кг, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Для определения скорости выхода газов из устья трубы используют выражение

$$\varpi_0 = \frac{4V}{\pi D_0^2}. \quad (3.10)$$

Расчет максимальной приземной концентрации по формулам (3.4)–(3.10) возможен только при известных геометрических характеристиках дымовой трубы, т.е. в поверочных расчетах.

При неблагоприятных метеоусловиях максимальная концентрация вредных веществ у земной поверхности достигается на оси факела выброса по направлению среднего за рассматриваемый период времени ветра на расстоянии  $X_m$ , м, от дымовой трубы, вычисляемого по формуле

$$X_m = (5 - F)dh / 4, \quad (3.11)$$

где  $d$  – безразмерный коэффициент; если  $f < 100$  может быть определен по одному из следующих выражений:

$$\text{при } \begin{array}{ll} V_m \leq 0,5 & d = 2,48 (1,0 + 0,28 \sqrt[3]{f}), \\ 0,5 < V_m \leq 2,0 & d = 4,95 V_m (1,0 + 0,28 \sqrt[3]{f}), \\ V_m > 2,0 & d = 7,0 \sqrt{V_m} (1,0 + 0,28 \sqrt[3]{f}). \end{array} \quad (3.12)$$

Значение опасной скорости ветра  $U_m$ , м/с, на уровне флюгера (обычно 10 метров от уровня земли), при котором имеет место наибольшее значение приземной концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, равно:

$$\text{при } \begin{array}{ll} V_m \leq 0,5 & U_m = 0,5; \\ 0,5 < V_m \leq 2,0 & U_m = V_m; \\ V_m > 2 & U_m = V_m (1,0 + 0,12 f^{1/2}). \end{array} \quad (3.13)$$

Максимальное значение приземной концентрации вредного вещества  $C_{mu}$ , мг/м<sup>3</sup>, при неблагоприятных метеоусловиях и скорости ветра  $U$ , м/с, отличающейся от опасной скорости ветра  $U_m$ , м/с, вычисляют по формуле

$$C_{mu} = rC_m, \quad (3.14)$$

где  $r$  – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от величины  $U_0 = U/U_m$ :

$$\begin{array}{ll} \text{при } U_0 > 1 & r = 3U_0 / (2U_0^2 - U_0 + 2); \\ \text{при } U_0 \leq 1 & r = 0,67U_0 + 1,67U_0^2 - 1,34U_0^3. \end{array}$$

*Примечание.* При проведении расчетов не используют значения скорости ветра  $U < 0,5$  м/с и  $U > U^*$  ( $U^*$  – значение скорости ветра, превышаемое в данной местности в среднем многолетнем режиме в 5 % случаев).

Расстояние от источника выброса  $X_{mu}$ , м, на котором при скорости ветра  $U$ , м/с, и неблагоприятных метеоусловиях приземная концентрация вредных веществ достигает максимального значения  $C_{mu}$ , мг/м<sup>3</sup>, рассчитывают по выражению

$$X_{mu} = pX_m, \quad (3.15)$$

где  $p$  – безразмерный коэффициент, определяемый в зависимости от величины  $U_0$ :

$$\text{при } \begin{array}{ll} U_0 \leq 0,25 & p = 3; \\ 0,25 \leq U_0 \leq 1,0 & p = 8,43 (1 - U_0)^5 + 1 \\ U_0 > 1. & p = 0,32 U_0 + 0,68. \end{array} \quad (3.16)$$

Приземные концентрации вредных веществ  $C$ , мг/м<sup>3</sup>, в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях  $X$ , м, от дымовой трубы при опасной скорости ветра  $U_m$ , м/с, вычисляют по формуле

$$C = C_m S_1, \quad (3.17)$$

где  $S_1$  – безмерный коэффициент, определяемый из следующих соотношений:



при  $\bar{X} = \frac{X}{X_m} \leq 1$   $S_1 = 3\bar{X}^4 - 8\bar{X}^3 + 6\bar{X}^2$  ;

при  $1 < \bar{X} \leq 8,0$   $S_1 = \frac{1,13}{0,13\bar{X}^2 + 1,0}$  ;

при  $\bar{X} > 8,0$  и  $F \leq 1,5$   $S_1 = \frac{\bar{X}}{3,58\bar{X}^2 + 35,2\bar{X} + 12,0}$  ;

при  $\bar{X} > 8$  и  $F > 1,5$   $S_1 = \frac{1}{0,1\bar{X}^2 + 2,47\bar{X} - 17,8}$  .

При других значениях скорости ветра приземные концентрации рассчитывают по формуле

$$C_u = C_{mu} S_1 . \quad (3.19)$$

При этом в уравнения (3.18) вместо  $X_m$  подставляют  $X_{mu}$ .

Значения приземных концентраций вредных веществ в атмосфере  $C_y$ , мг/м<sup>3</sup>, на расстоянии  $y$ , м, по перпендикуляру к оси выброса находят по соотношению

$$C_y = C S_2 , \quad (3.20)$$

где  $S_2$  – безразмерная величина, определяемая в зависимости от скорости ветра  $u$ , м/с, и соотношения  $y/x$  по значению аргумента  $t_y$ :

$$t_y = u y^2 / x^2 \text{ при } u \leq 5,$$

$$t_y = 5y^2 / x^2 \text{ при } u > 5,$$

$$S_2 = \frac{1}{(1 + 5t_y + 12,8t_y^2 + 17t_y^3 + 45,1t_y^4)^2} . \quad (3.21)$$

Для источников холодных выбросов (например, АЭС) при температурах выбрасываемых газов, близких к температуре окружающего воздуха, и параметре  $f \geq 100$  максимальную приземную концентрацию загрязняющего вещества вычисляют по формуле

$$C_m = \frac{AMFnD_0}{8h^{3/4}V} . \quad (3.22)$$

Коэффициенты  $A$ ,  $F$  и  $n$  определяют аналогично [см. уравнение (3.1)].

Параметр  $V_m$  рассчитывают по выражению

$$V_m = 1,3 \frac{\varpi_0 D_0}{h} . \quad (3.23)$$

Опасную скорость ветра  $U_m$  при  $V_m \leq 2$  находят по формулам (3.13), а при  $V_m > 2$  – из соотношения

$$U_m = 2,2 V_m . \quad (3.24)$$

Безразмерный коэффициент  $d$  в формуле (3.12) для определения места расположения максимума концентраций в данном случае равен

$$\text{при } V_m \leq 2 \quad d = 11,4 V_m ,$$

$$\text{при } V_m > 2 \quad d = 16,1 \sqrt{V_m} .$$

Для котельных и ТЭС расчеты максимальной приземной концентрации ведут по каждому вредному веществу в отдельности: золе или саже, оксидам азота, оксидам серы, монооксиду углерода, пентаоксиду ванадия (для мазутных котельных) и др. Полученные значения  $C_m$  должны сопоставляться с нормативными, в качестве которых служат предельно допустимые концентрации вредных веществ (ПДК).

Форма отчетности: соответствующий раздел курсовой работы.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материала по темам 2.7 раздела 2.

Основная литература: [1, 2].

Дополнительная литература: [4].

Практическая работа проводится в интерактивной форме: тренинги в малых группах (2 часа).

Цель работы: научиться проводить расчет высоты дымовой трубы; расчет ПДВ котельных и ТЭС.

Задание: согласно методике, изложенной в [2], произвести расчет высоты дымовой трубы; расчет ПДВ котельных и ТЭС.

Порядок выполнения.

Выбор высоты дымовой трубы производят исходя из требования обеспечения приземной концентрации каждого загрязняющего вещества ниже ПДК даже при неблагоприятных для рассеивания метеоусловиях.

Расчет минимально допустимой высоты дымовой трубы  $h$ , м, при наличии фоновой загазованности  $C_{\phi}$  от других источников такой же вредности, производят в несколько итераций.

Предварительное значение  $h$  определяют по каждому веществу, лимитирующему чистоту воздушного бассейна:

– по твердым частицам и оксиду углерода:

$$h_i = \sqrt{\frac{AM_i F \eta}{(\text{ПДК}_i - C_{\phi i})^2 \sqrt[3]{V \Delta T}}}; \quad (3.34)$$

– по оксидам серы и азота с учетом их суммарного воздействия

$$h_i = \sqrt{\frac{AF \eta \left( M_{\text{SO}_2} + \frac{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} M_{\text{NO}_2} \right)}{\left( \text{ПДК}_{\text{SO}_2} - C_{\phi \text{SO}_2} - \frac{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} C_{\phi \text{NO}_2} \right)^2 \sqrt[3]{V \Delta T}}}. \quad (3.35)$$

За начальное значение высоты дымовой трубы принимают наибольшее из рассчитанных по формулам (3.34), (3.35) значений. По найденному  $h = h_1$  выбирают экономически оптимальную скорость выхода газов  $w_0$ , и предварительное значение диаметра устья  $D_0$ . Затем определяют значения  $f$  и  $V_m$  и устанавливают в первом приближении коэффициенты  $m = m_1$  и  $n = n_1$ . Если  $m_1 n_1 \neq 1$ , то по  $m_1$  и  $n_1$  определяют второе приближение  $h = h_2$  по формуле

$$h_2 = h_1 \sqrt{m_1 n_1}. \quad (3.36)$$

При необходимости производят еще несколько итераций со сходимостью в пределах 0,1...0,5 м, при этом используют формулу

$$h_{i+1} = h_i \sqrt{m_i n_i / (m_{i-1} n_{i-1})}, \quad (3.37)$$

где  $m_i, n_i$  соответствуют высоте  $h_i$ , а  $m_{i-1}, n_{i-1}$  – величине  $h_{i-1}$ .

Полученное в результате расчетов значение  $h$  сравнивают с существующим типоразмером и выбирают большее рекомендуемое значение.

Расчет ПДВ котельных и ТЭС

Значения ПДВ, г/с, для выброса загрязняющего вещества из дымовой трубы котельной или ТЭС рассчитывают по формуле

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_{\phi})^2 \sqrt[3]{V \Delta T}}{AF m n}, \quad (3.31)$$

а для выброса холодных газов (например, на АЭС) –

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_{\phi}) h^{3/4} \cdot V}{AF n D_0}. \quad (3.32)$$

Нормативы ПДВ определяют по отдельным источникам для каждого загрязняющего вещества, содержащегося в выбросах.

Форма отчетности: соответствующий раздел курсовой работы.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам 2.8 раздела 2.

Основная литература: [1, 2].

Дополнительная литература: [4].

#### **Практическая работа №4** **Оценка экономического ущерба от загрязнения атмосферы и водоемов**

Цель работы: научиться оценивать экономический ущерб от загрязнения атмосферы и водоемов

Задание: согласно методике, изложенной в [2], произвести оценку экономического ущерба от загрязнения атмосферы и водоемов.

Порядок выполнения.

Величину экономической оценки предотвращенного ущерба от выбросов загрязняющих веществ рассчитывают по формуле

$$Y_{\text{пр}r}^a = Y_{\text{уд}r}^a (M_1^a - M_2^a) K_3^a J_d, \quad (5.2)$$

где  $Y_{\text{уд}r}^a$  – величина экономической оценки удельного ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (показатель удельного ущерба) для  $r$ -го экономического района РФ, руб/усл.т;  $M_1^a$ ,  $M_2^a$  – приведенная масса выбросов загрязняющих веществ на начало и конец расчетного периода в рассматриваемом регионе, усл.т;  $K_3^a$  – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха территорий экономических районов России, определяемый в соответствии с нормативами (для г. Братска  $K_3^a = 1,4$ );  $J_d$  – индекс-дефлятор по отраслям промышленности, устанавливаемый Минэкономики России на рассматриваемый период и доводимый Госкомэкологии России до территориальных природоохранных органов (в 1999 г.  $J_d = 50$ ).

Показатель удельного ущерба от выброса одной условной тонны загрязняющих веществ в атмосферный воздух  $Y_{\text{уд}r}^a$  определяют соотношением суммарной оценки величины нанесенного ущерба от выбросов за определенный период времени к приведенной массе выбросов, имевших место в тот же период времени в рассматриваемом  $r$ -м регионе (с учетом массы трансграничного переноса):

$$Y_{\text{уд}r}^a = \frac{\sum_{i=1}^N Y_i^a}{M_r^a}, \quad (5.3)$$

где  $Y_i^a$  – экономическая оценка нанесенного ущерба по  $i$ -му фактору от выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух в  $r$ -м регионе, тыс.усл.т/год;  $M_r^a$  – приведенная масса фактических выбросов загрязняющих веществ за отчетный период времени в  $r$ -м регионе, тыс.усл.т/год.

Приведенную массу загрязняющих веществ рассчитывают по формуле для  $k$ -го конкретного объекта или направления атмосфероохранной деятельности в регионе:

$$M_k^a = \sum_{i=1}^N m_i^a K_{3i}^a; \quad (5.4)$$

для  $r$ -го региона (района) в целом

$$M_r^a = \sum_{k=1}^k M_k^a, \quad (5.5)$$

где  $m_i^a$  – масса выброса в атмосферный воздух  $i$ -го загрязняющего вещества или группы веществ с одинаковым коэффициентом относительной эколого-экономической опасности, т/год;  $K_{3i}^a$  – коэффициент относительной эколого-экономической опасности  $i$ -го загрязняющего вещества или группы веществ;  $i$  – индекс загрязняющего вещества или группы загрязняющих веществ;  $N$  – количество учитываемых групп загрязняющих веществ.

Форма отчетности: соответствующий раздел курсовой работы.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материал по темам 5.1–5.3 раздела 5.

Основная литература: [1, 2].

Дополнительная литература: [4, 8].

**Практическая работа №5**  
**Природоохранные мероприятия.**  
**Расчет предотвращенного ущерба от загрязнения атмосферы**

Цель работы: научиться рассчитывать предотвращенный ущерб от загрязнения атмосферы.

Задание: согласно методике, изложенной в [2], произвести расчет предотвращенного ущерба от загрязнения атмосферы.

Порядок выполнения.

В настоящее время платежи за загрязнение окружающей среды регламентируются постановлениями Правительства РФ. Ущерб, наносимый выбросами вредных веществ в атмосферу, можно представить следующим выражением:

$$Y^a = K_3^a K_1^a K_2^a \sum_{i=1}^N m_i^a \cdot H_i^a, \quad (5.6)$$

где  $K_3^a$  – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние атмосферы);

$K_1^a$  – коэффициент, учитывающий плотность населения, для городов  $K_1^a = 1,2$ ;

$K_2^a$  – коэффициент, учитывающий особенности территорий; для особо охраняемых природных территорий, районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей, Байкальских природных территорий и зон экологического бедствия  $K_2^a = 2$ ;

$m_i^a$  – масса годового выброса  $i$ -го загрязняющего вещества в атмосферный воздух, т/год;

$N$  – количество учитываемых групп загрязняющих веществ;

$$Y^n = K_3^n K_1^n K_2^n \sum_{i=1}^N m_i^n \cdot H_i^n, \quad (5.7)$$

где  $K_3^n$  – коэффициент, учитывающий экологические факторы (состояние почвы);

$K_1^n$  – коэффициент, учитывающий условия размещения отходов:

при размещении отходов на специализированных полигонах и промышленных площадках, оборудованных в соответствии с установленными требованиями и расположенных в пределах промышленной зоны источника негативного воздействия,  $K_1^n = 0,3$ ;

при размещении в соответствии с установленными требованиями отходов, подлежащих временному накоплению и фактически использованных (утилизированных) в течение трех лет с момента размещения в собственном производстве в соответствии с технологическим регламентом или переданных для использования в течение этого срока,  $K_1^n = 0$ ;

$K_2^n$  – коэффициент, учитывающий особенности территорий; для особо охраняемых природных территорий, районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей, Байкальских природных территорий и зон экологического бедствия,  $K_2^n = 2$ ;

$m_i^n$  – годовая масса  $i$ -го размещаемого отхода, т/год;

$N$  – количество учитываемых групп отходов;

$H_i^n$  – нормативная плата за размещение  $i$ -го отхода, руб/т.

За счет снижения отходов и выбросов загрязнителей достигается социальный эффект – более комфортные условия жизни населения – и экономический – снижение обязательных платежей в бюджет.

Форма отчетности: соответствующий раздел курсовой работы.

Задания для самостоятельной работы:

Изучить теоретический материала по темам 5.1–5.3 раздела 5.

Основная литература: [1, 2].

Дополнительная литература: [4, 8].

## 9.2. Методические указания по выполнению контрольной работы

Контрольная работы проводится на основании рекомендаций и методических указаний, данных к практическим занятиям, пользуясь литературой [1-6]. Контрольная работа выполняется по выданному варианту задания преподавателем.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Пакет прикладных программ Microsoft Imagine Premium;
2. ОС Windows 7 Professional;
3. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level;
4. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security;
5. Adobe reader;
6. Система дистанционного обучения iLogos.

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР или ПЗ</i>
1	2	3	4
Лк	Лаборатория теплоэнергетических систем	-	-
ЛР	Лаборатория теплоэнергетических систем	лабораторные газоанализаторы: УГ-2; ГХП; Кане 400.	№№ 4,5
ЛР	Лаборатория теплоснабжения	1. действующая установка «лабораторный стенд БЖС-7»; 2. набор химических средств НХС-воздух; 3. лабораторный газоанализатор Кане 400; 4. действующая установка «Лабораторный стенд БЖ-8м»; 5. набор химико-аналитических средств НХС-вода; 6. прибор для анализа качества воды СОМ 100.	№№ 1,2,3
ПЗ	Лаборатория теплоэнергетических систем	-	№№ 1,2,3,4,5
кр	Лаборатория теплоэнергетических систем	-	-
СР	Читальный зал №3	Оборудование 15- CPU 5000/RAM 2Gb/HDD (Монитор TFT 19 LG 1953S-SF); принтер HP LaserJet P3005	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

<b>№ компетенции</b>	<b>Элемент компетенции</b>	<b>Раздел</b>	<b>Тема</b>	<b>ФОС</b>
ОК-7	Способность к самоорганизации и самообразованию	1. Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды	1.1. Влияние технического прогресса на взаимодействие человека и природы.	Экзаменационный билет
ПК-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве	1. Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды	1.2. Структура управления экологической политикой России.	Экзаменационный билет
			1.3. Международные соглашения по охране окружающей среды.	Экзаменационный билет
			2.1. Виды вредных воздействий теплоэнергетических систем на природу	Экзаменационный билет
		2. Выбросы теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду	2.2. Модель взаимодействия ТЭС и окружающей среды	Экзаменационный билет
			2.3. Условия образования и свойства загрязнителей	Экзаменационный билет
			2.4. Вредные воздействия вредных газопылевых выбросов на окружающую среду	Экзаменационный билет
			2.5. Парниковый эффект. Вторичные загрязнители атмосферы	Экзаменационный билет
			2.6. Санитарные нормы качества воздуха. ПДК вредных веществ в атмосфере. ПДВ вредных веществ ТЭС	Экзаменационный билет
			2.7. Методика расчета рассеивания в атмосфере выбросов ТЭС и котельных	Экзаменационный билет
			2.8. Выбор высоты дымовых труб. Основные конструкции дымовых труб	Экзаменационный билет
		3. Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных	3.1. Классификация методов снижения загрязняющих выбросов в атмосферу	Экзаменационный билет
			3.2. Снижение выбросов твердых частиц с продуктами сгорания. Физико-химические свойства летучей золы	Экзаменационный билет
			3.3. Основные показатели работы золоуловителя. Принцип действия и конструкции инерционных золоуловителей	Экзаменационный билет

		3.4. Достоинства и недостатки циклонов. Тканевые (рукавные) фильтры	Экзаменационный билет
		3.5. Принцип действия и конструкции мокрых золоуловителей, их достоинства и недостатки	Экзаменационный билет
		3.6. Принцип действия электрофильтра. Методы повышения эффективности очистки дымовых газов в электрофильтрах	Экзаменационный билет
		3.7. Снижение загрязнений летучей золой из золоотвалов	Экзаменационный билет
		3.8. Снижение выбросов соединений серы: переработка сернистых топлив перед сжиганием	Экзаменационный билет
		3.9. Сухие и мокрые методы сероочистки дымовых газов. Сравнение и выбор метода сероочистки	Экзаменационный билет
		3.10. Механизмы образования окислов азота при сжигании органических топлив	Экзаменационный билет
		3.11. Технологические и конструктивные методы снижения выбросов окислов азота	Экзаменационный билет
		3.12. Методы очистки дымовых газов от окислов азота	Экзаменационный билет
	4. Сточные воды теплоэнергетических систем, их очистка	4.1. Классификация и общая характеристика вредных загрязнителей сточных вод ТЭУ, их воздействие на водоемы и природу	Экзаменационный билет
		4.2. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами	Экзаменационный билет
		4.3. Классификация методов очистки сточных вод. Основные методы очистки сточных вод	Экзаменационный билет
	5. Экономические аспекты природоохранных мероприятий	5.1. Система контроля вредных выбросов и организация службы охраны окружающей среды	Экзаменационный билет
		5.2. Оценки ущерба наносимого народному хозяйству из-за загрязнения окружающей среды	Экзаменационный билет

			5.3. Технико-экономическое обоснование природоохранных мероприятий	Экзаменационный билет
--	--	--	--------------------------------------------------------------------	-----------------------

## 2. Экзаменационные вопросы

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела	
	Код	Определение			
1	2	3	4	5	
1.	ОК-7	Способность к самоорганизации и самообразованию	1. Влияние технического прогресса на взаимодействие человека и природы.	1. Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды	
			2. Структура управления экологической политикой России.		
			3. Международные соглашения по охране окружающей среды.		
2.	ПК-9	Способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве	4. Виды вредных воздействий теплоэнергетических систем на природу	2. Выбросы теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду	
			5. Модель взаимодействия ТЭС и окружающей среды		
			6. Условия образования и свойства загрязнителей		
			7. Вредные воздействия вредных газопылевых выбросов на окружающую среду		
			8. Парниковый эффект. Вторичные загрязнители атмосферы		
			9. Санитарные нормы качества воздуха. ПДК вредных веществ в атмосфере. ПДВ вредных веществ ТЭС		
			10. Методика расчета рассеивания в атмосфере выбросов ТЭС и котельных		
			11. Выбор высоты дымовых труб. Основные конструкции дымовых труб		
			12. Классификация методов снижения загрязняющих выбросов в атмосферу		3. Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных
			13. Снижение выбросов твердых частиц с продуктами сгорания. Физико-химические свойства летучей золы		
			14. Основные показатели работы золоуловителя. Принцип действия и конструкции инерционных золоуловителей		
			15. Достоинства и недостатки циклонов. Тканевые (рукавные) фильтры		
			16. Принцип действия и конструкции мокрых золоуловителей, их достоинства и недостатки		
			17. Принцип действия электрофильтра. Методы повышения эффективности очистки дымовых газов в электрофильтрах		
			18. Снижение загрязнений летучей золой из золоотвалов		
			19. Снижение выбросов соединений серы: переработка сернистых топлив перед сжиганием		
			20. Сухие и мокрые методы сероочистки дымовых газов. Сравнение и выбор метода сероочистки		
			21. Механизмы образования окислов азота при сжигании органических топлив		
			22. Технологические и конструктивные методы снижения выбросов окислов азота		



		23. Методы очистки дымовых газов от окислов азота	
		24. Классификация и общая характеристика вредных загрязнителей сточных вод ТЭУ, их воздействие на водоемы и природу	4. Экономические аспекты природо-охранных мероприятий
		25. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами	
		26. Классификация методов очистки сточных вод. Основные методы очистки сточных вод	
		27. Система контроля вредных выбросов и организация службы охраны окружающей среды	5. Экономические аспекты природо-охранных мероприятий
		28. Оценки ущерба наносимого народному хозяйству из-за загрязнения окружающей среды	
		29. Техничко-экономическое обоснование природоохранных мероприятий	

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ОК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные способы поиска и обработки информации;</li> <li>– основные методы организации самостоятельной работы;</li> </ul> <p>(ПК-9):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– основные принципы экологической безопасности на производстве;</li> <li>– основные принципы планирования экозащитных мероприятий;</li> <li>– основные принципы в области энерго- и ресурсосбережения;</li> </ul> <p><b>Уметь</b> (ОК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– работать с учебной и методической литературой;</li> </ul> <p>(ПК-9):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– производить оценку ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;</li> <li>– планировать экозащитные мероприятия;</li> <li>– планировать энерго- и ресурсосберегающие мероприятия на производстве;</li> </ul> <p><b>Владеть</b> (ОК-7):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками самостоятельной работы при поиске и обработке информации об охране окружающей среды.</li> </ul> <p>(ПК-9):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками практического применения средств измерения содержания вредных выбросов в атмосфере;</li> <li>– навыками внедрения</li> </ul>	<b>отлично</b>	<p>Оценка «отлично» выставляется в случае, если обучающийся глубоко и прочно усвоил программный материал и демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- всестороннее знание программного материала в области охраны окружающей среды;</li> <li>- умение правильного применения расчетных методик определения концентраций выбросов вредных веществ в атмосферу;</li> <li>- владеет всеми навыками, полученными в ходе изучения программного материала.</li> </ul>
	<b>хорошо</b>	<p>Оценка «хорошо» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-недостаточно полное знание программного материала в области охраны окружающей среды;</li> <li>- применение с несущественными ошибками основных расчетных методик определения концентраций выбросов вредных веществ в атмосферу;</li> <li>- владеет большей частью навыков, полученными в ходе изучения программного материала.</li> </ul>
	<b>удовлетворительно</b>	<p>Оценка «удовлетворительно» выставляется в случае, если обучающийся демонстрирует частичное знание программного материала в области охраны окружающей среды; неоднократно допускал ошибки в ответе</p>
	<b>неудовлетворительно</b>	<p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется в случае, если уровень владения программным материалом в области охраны окружающей среды не отвечает требованиям; все вышеуказанные разделы не усвоены.</p>

энерго-ресурсосберегающих технологий на производстве.	и	
-------------------------------------------------------	---	--

#### **4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности**

Дисциплина Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов направлена на приобретение знания характеристик выбросов промпредприятий и их влияния на окружающую среду, методов очистки сточных вод и газообразных выбросов промышленных предприятий, умения осуществлять выбор и расчет очистных сооружений для улавливания тепловых и технологических выбросов; выбирать схемы энергоснабжения, обеспечивающие рациональное использование природной воды и атмосферного воздуха; рассчитывать экономическую эффективность природоохранных мероприятий, а также практических навыков в проведении анализа сточных вод и газообразных выбросов, испытаниях и научных исследованиях очистных сооружений.

Изучение дисциплины Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов предусматривает:

- лекции,
- лабораторные занятия,
- практические занятия,
- контрольную работу,
- самостоятельную работу,
- экзамен.

В ходе освоения раздела 1 «Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды» студенты должны уяснить:

- в чем выражается и как протекает влияние технического прогресса на взаимодействие человека и природы;
- какая существует структура управления экологической политикой в России;
- какие существуют международные соглашения по охране окружающей среды.

В ходе освоения раздела 2 «Выбросы теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду» студенты должны уяснить:

- существующие виды вредных воздействий теплоэнергетических систем на природу и условия их образования;
- условия образования парникового эффекта и вторичных загрязнителей атмосферы;
- санитарные нормы качества воздуха: ПДК, ПДВ;
- методику расчета рассеивания в атмосфере выбросов ТЭС и котельных;
- методику выбора высоты дымовых труб; основные конструкции дымовых труб.

В ходе освоения раздела 3 «Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных» студенты должны уяснить:

- какими способами возможно снижение выбросов твердых частиц с продуктами сгорания;
- основные виды золоуловителей, их принципы действия и существующие конструкции;
- в чем заключается снижение загрязнений летучей золой из золоотвалов;
- механизмы очистки дымовых газов от соединений серы, окислов азота.

В ходе освоения раздела 4 «Сточные воды теплоэнергетических систем, их очистка» студенты должны уяснить:

- общие характеристики вредных загрязнителей сточных вод от теплоэнергетических источников, их воздействие на водоемы и природу;
- правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами;
- основные методы очистки сточных вод.

В ходе освоения раздела 5 «Экономические аспекты природоохранных мероприятий» студенты должны уяснить:

- как функционируют система контроля вредных выбросов и организация службы охраны окружающей среды;
- как рассчитывается оценка ущерба наносимого народному хозяйству из-за загрязнения окружающей среды;
- принципы технико-экономического обоснования природоохранных мероприятий.

Необходимо овладеть навыками и умениями по выбору золоулавливающих систем, методов подавления образования токсичных загрязнителей, способов очистки дымовых газов и сточных вод при работе теплоэнергетических объектов; научиться проводить оценку экономического ущерба от загрязнения атмосферы и технико-экономическое обоснование природоохранных мероприятий; пользоваться методами расчетов вредных выбросов теплоэнергетических систем и практической работы с экологическими нормативами.

В процессе изучения дисциплины рекомендуется на первом этапе обратить внимание на основные факторы образования загрязнителей от промышленных тепловых источников в атмосфере, последствия поражения такими загрязнителями флоры и фауны, методы предотвращения или снижения загрязнения воздушного бассейна.

При подготовке к экзамену рекомендуется особое внимание уделить следующим вопросам:

1. Виды вредных воздействий теплоэнергетических систем на природу;
2. Модель взаимодействия ТЭС и окружающей среды;
3. Условия образования и свойства загрязнителей;
4. Вредные воздействия вредных газопылевых выбросов на окружающую среду;
5. Парниковый эффект. Вторичные загрязнители атмосферы;
6. Санитарные нормы качества воздуха. ПДК вредных веществ в атмосфере. ПДВ вредных веществ ТЭС;
7. Методика расчета рассеивания в атмосфере выбросов ТЭС и котельных;
8. Выбор высоты дымовых труб. Основные конструкции дымовых труб;
9. Снижение выбросов твердых частиц с продуктами сгорания. Физико-химические свойства летучей золы;
10. Основные показатели работы золоуловителя. Принцип действия и конструкции инерционных золоуловителей;
11. Достоинства и недостатки циклонов. Тканевые (рукавные) фильтры;
12. Принцип действия и конструкции мокрых золоуловителей, их достоинства и недостатки;
13. Принцип действия электрофильтра. Методы повышения эффективности очистки дымовых газов в электрофильтрах;
14. Снижение выбросов соединений серы: переработка сернистых топлив перед сжиганием;
15. Сухие и мокрые методы сероочистки дымовых газов. Сравнение и выбор метода сероочистки;
16. Механизмы образования окислов азота при сжигании органических топлив;
17. Технологические и конструктивные методы снижения выбросов окислов азота;
18. Методы очистки дымовых газов от окислов азота;
19. Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами;
20. Система контроля вредных выбросов и организация службы охраны окружающей среды;
21. Оценки ущерба наносимого народному хозяйству из-за загрязнения окружающей среды;
22. Техничко-экономическое обоснование природоохранных мероприятий.

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний по содержанию основных способов и средств определения содержания в атмосферном воздухе загрязнителей от теплоэнергетических источников, определения рассеивания в атмосфере вредных выбросов, а также принципов работы золоуловителей.

В процессе выполнения практических работ происходит закрепление знаний в освоении основных методик расчета концентраций вредных выбросов в атмосферу от ТЭС, расчета высоты дымовой трубы, расчета предельно-допустимых выбросов, а также ущерба от загрязнения воздуха.

В процессе выполнения контрольной работы закрепляются знания, полученные на практических занятиях; также проводятся мероприятия по снижению выбросов вредных веществ в атмосферу, подсчитывается экономический эффект проведения таких мероприятий.

Самостоятельную работу необходимо начинать с изучения теоретического материала.

В процессе консультации с преподавателем необходимо выяснить все непонятные моменты.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературы.

Предусмотрено проведение аудиторных занятий в интерактивной форме (в виде лекции-дискуссии, лекции-беседы, лекции с разбором конкретных ситуаций, просмотр и обсуждение видеофильма) в сочетании с внеаудиторной работой.

## **АННОТАЦИЯ** **рабочей программы дисциплины**

### **Охрана окружающей среды при работе теплоэнергетических объектов**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является: подготовка обучающегося к самостоятельному решению теоретических и прикладных задач в области охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов при работе теплоэнергетических объектов.

Задачей изучения дисциплины является: приобретение знания характеристик выбросов промпредприятий и их влияния на окружающую среду, методов очистки сточных вод и газообразных выбросов промышленных предприятий, умения осуществлять выбор и расчет очистных сооружений для улавливания тепловых и технологических выбросов; выбирать схемы энергоснабжения, обеспечивающие рациональное использование природной воды и атмосферного воздуха; рассчитывать экономическую эффективность природоохранных мероприятий, а также практических навыков в проведении анализа сточных вод и газообразных выбросов, испытаниях и научных исследованиях очистных сооружений.

#### **2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: Лк – 24 час., ЛР – 12 час., ПЗ – 24 час., СР – 120 час.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 216 часов, 6 зачетных единиц.

2.2 Основные разделы дисциплины:

- 1 – Методические основы подхода к проблеме взаимодействия теплоэнергетических систем и окружающей среды;
- 2 – Выбросы теплоэнергетических систем и их влияние на окружающую среду;
- 3 – Снижение загрязняющих выбросов на ТЭС и в котельных;
- 4 – Сточные воды теплоэнергетических систем, их очистка;
- 5 – Экономические аспекты природоохранных мероприятий.

#### **3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ОК-7 – способность к самоорганизации и самообразованию;

ПК-9 – способность обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на производстве.

**4. Вид промежуточной аттестации:** экзамен

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.13.01 Теплоэнергетика и теплотехника от «01» октября 2015г. № 1081.

для набора 2018 года и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» для очной формы обучения от «12» марта 2018 г. №130 , заочной формы обучения от «12» марта 2018 г. №130.

**Программу составил:**

П.С. Панкратьев, доцент, к.т.н. \_\_\_\_\_

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры ПТЭ

от «13» декабря 2018 г., протокол №4

Заведующий кафедрой ПТЭ \_\_\_\_\_ А.А. Федяев

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий выпускающей кафедрой ПТЭ \_\_\_\_\_ А.А. Федяев

Директор библиотеки \_\_\_\_\_ Т.Ф. Сотник

Рабочая программа одобрена методической комиссией ЭиА факультета

от «28» декабря 2018 г., протокол №5

Председатель методической комиссии факультета ЭиА \_\_\_\_\_ А.Д. Ульянов

**СОГЛАСОВАНО:**

Начальник  
учебно-методического управления \_\_\_\_\_ Г.П. Нежевец

Регистрационный № \_\_\_\_\_

(методический отдел)