

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра химической технологии твердого топлива

Составитель
А. Ю. Игнатова

ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ

Методические материалы

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 15.04.01 Машиностроение
в качестве учебного электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензенты:

Неведров А. В., кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии твердого топлива.

Смирнов А. Н., председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 15.04.01 Машиностроение, доктор технических наук

Игнатова Алла Юрьевна

Промышленная экология: методические материалы [Электронный ресурс]: для обучающихся направления подготовки 15.04.01 Машиностроение, профиль 01 Сварка и родственные технологии, всех форм обучения / сост. А. Ю. Игнатова; КузГТУ. – Электрон. дан. – Кемерово, 2019. – Систем. требования: Pentium IV, Windows XP/Vista/7. – Загл. с экрана.

Методические указания для практических работ предназначены для ознакомления студентов с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной с выбросами вредных веществ в атмосферу, сбросами сточных вод в водоемы, в канализацию, определением размера платежей за воздействие на окружающую среду.

Методические указания к самостоятельной работе содержат темы реферативных работ, требования к их оформлению.

© КузГТУ, 2019

© А. Ю. Игнатова,
составление, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1	6
<i>РАСЧЕТ ПЛАТЕЖЕЙ ЗА ВЫБРОСЫ (СБРОСЫ) ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И ВОДОЕМЫ</i>	6
1. Цель и содержание работы	6
2. Общие положения.....	7
2. Методика расчета платы за выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферу и сбросы в водоем	8
3. Исходные данные и порядок расчетов	15
4. Требования к отчету	19
5. Контрольные вопросы.....	20
Список рекомендуемой литературы.....	21
Приложение.....	22
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2.....	26
<i>ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВЫБРОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ЭТИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ</i>	26
1. Цель и содержание работы	26
2. Теоретические положения	27
3. Методика расчета предельно допустимого выброса	31
и его рассеивания.....	31
4. Исходные данные для расчетов	36
5. Требования к отчету	37
6. Пример расчета	37
7. Контрольные вопросы.....	43
Список рекомендуемой литературы.....	44
Приложение.....	45
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3.....	46
<i>ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ДОПУСТИМОСТИ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	46
<i>В ВОДОЕМ</i>	46
1. Цель и содержание работы	46
2. Теоретические положения	46
3. Методика определения соответствия условий сброса сточных вод предприятия санитарным требованиям.....	49
4. Исходные данные для расчетов	56

5. Требования к отчету	57
6. Пример расчета	57
7. Контрольные вопросы.....	64
Список рекомендуемой литературы.....	65
Приложение 1	67
Приложение 2.....	68
Приложение 3.....	69
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4.....	70
<i>ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ДОПУСТИМОСТИ СБРОСА</i> <i>СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....</i>	<i>70</i>
<i>В ГОРОДСКУЮ КАНАЛИЗАЦИЮ</i>	<i>70</i>
1. Цель и содержание работы	70
2. Теоретические положения	70
3. Методика определения соответствия условий спуска.....	72
сточных вод в городскую канализацию	72
4. Условия практической работы	76
5. Требования к отчету	76
6. Пример расчета	77
7. Результаты расчетов допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию	80
8. Контрольные вопросы.....	81
Список рекомендуемой литературы.....	82
Приложение 1	83
Приложение 2.....	84
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5.....	85
<i>РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ.....</i>	<i>85</i>
<i>ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА В КОТЛОАГРЕГАТАХ</i> <i>КОТЕЛЬНОЙ</i>	<i>85</i>
1. Цель и содержание работы	85
2. Теоретические положения	85
3. Расчет выброса загрязняющих веществ при сжигании	105
топлива в котлоагрегатах котельной	105
4. Примеры расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании топлива в котельных	112
5. Требования к отчету	120
6. Контрольные вопросы.....	120
7. Список литературы.....	121

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6	122
<i>ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ УЩЕРБА ОТ ДЕГРАДАЦИИ 122</i>	
<i>ЗЕМЕЛЬ И ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ ХИМИЧЕСКИМИ</i>	
<i>ВЕЩЕСТВАМИ</i>	<i>122</i>
1. Цель и содержание работы	122
2. Общие положения.....	122
3. Расчет платы за ущерб от загрязнения земель химическими	
веществами	126
4. Расчет размера ущерба от деградации почв и земель.....	127
5. Исходные данные для расчетов	133
6. Контрольные вопросы.....	133
Список рекомендуемой литературы.....	134
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 1	135
<i>ПОДГОТОВКА РЕФЕРАТИВНЫХ РАБОТ ПО</i>	
<i>ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ</i>	<i>135</i>
1. Выбор тематики реферативной работы.....	135
2. Работа с литературными источниками.....	135
3. Структура реферативной работы	136
4. Оформление реферативной работы	136
5. Тематика реферативных работ	137
ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ.....	138
ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ	139

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

РАСЧЕТ ПЛАТЕЖЕЙ ЗА ВЫБРОСЫ (СБРОСЫ) ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И ВОДОЕМЫ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для знакомства студентов с порядком определения платы и ее размеров за загрязнение окружающей природной среды организациями, предприятиями, юридическими лицами, осуществляющими вредные выбросы в атмосферу и сбросы в водоемы.

Настоящие методические указания составлены на основании Закона Российской Федерации «Об охране окружающей среды», Постановления Правительства Российской Федерации от 28 августа 1992 г. № 632 «Об утверждении порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов и другие виды вредного воздействия», Постановления Правительства Российской Федерации от 5 августа 1992 г. № 552 «Об утверждении положения о составе затрат по производству и реализации продукции (работ и услуг), включаемых в себестоимость продукции (работ, услуг), и о порядке формирования финансовых результатов, учитываемых при налогообложении прибыли», «Инструктивно-методических указаний по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды», утвержденными министром охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 26 января 1993 г., Письма Минприроды РФ от 27.11.1992 «Базовые нормативы платы за выбросы, сбросы загрязняющих веществ в окружающую природную среду и размещение отходов».

Студенты по нижеприведенной методике определяют размеры платежей, осуществляемых промышленным предприятием за выбросы вредных веществ в атмосферу и сбросы в водоемы.

2. Общие положения

Плата за загрязнение представляет собой форму возмещения экономического ущерба от выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую природную среду, а также за размещение отходов на территории Российской Федерации. Она возмещает затраты на компенсацию вредного воздействия выбросов и сбросов загрязняющих веществ на окружающую природную среду, затраты на проектирование и строительство природоохранных объектов, а также стимулирует снижение или поддержание выбросов и сбросов в пределах нормативов и утилизацию отходов.

Плата за загрязнение окружающей природной среды (плата за загрязнение) взимается с предприятий, учреждений, организаций и других юридических лиц независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, на которой они основаны, включая совместные предприятия с участием юридических лиц и граждан, которым предоставлено право ведения производственно-хозяйственной деятельности на территории Российской Федерации (природопользователей).

Плата за загрязнение взимается с природопользователей, осуществляющих следующие виды воздействия на окружающую природную среду:

- выброс в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных и передвижных источников;
- сброс загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, а также любое подземное размещение загрязняющих веществ;
- размещение отходов.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 августа 1992 г. размер платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы определяется, как сумма платежей за загрязнение:

- в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы (выбросов, сбросов, размещения отходов);

- в пределах установленных лимитов (выбросов, сбросов, размещения отходов);
- за сверхлимитное загрязнение окружающей природной среды.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 5 августа 1992 г. устанавливаются следующие источники платежей за загрязнение окружающей природной среды:

- платежи в пределах допустимых нормативов выбросов, сбросов загрязняющих веществ осуществляются за счет себестоимости продукции (работ и услуг);
- платежи за превышение допустимых нормативов выбросов, сбросов загрязняющих веществ, размещение отходов (лимиты или временно согласованные нормативы выбросов, сбросов, размещения отходов, а также превышение лимитов или временно согласованных нормативов выбросов, сбросов, размещения отходов) осуществляются за счет прибыли, остающейся в распоряжении природопользователей.

Плановый годовой размер платежей за загрязнение (с разбивкой по кварталам) определяется природопользователем, утверждается руководителем предприятия и главным бухгалтером и согласовывается с территориальным органом Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ в установленные им сроки.

3. Методика расчета платы за выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в атмосферу и сбросы в водоем

Размер платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы определяется по формуле

$$П = П_n + П_l + П_{сл}, \quad (1)$$

где $П_n$ – плата за выбросы в атмосферу (сброс в водоем) загрязняющих веществ в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов (р.); $П_l$ – плата за выбросы в атмо-

сферу (сброс в водоем) загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов (р.); $П_{сл}$ – плата за сверхлимитные выбросы в атмосферу (сброс в водоем) загрязняющих веществ (р.).

Плата за выбросы загрязняющих веществ в размерах, не превышающих установленные природопользователю предельно допустимые нормативы выбросов, определяется по формуле

$$П_{н} = \sum_{i=1}^n C_{н_i} \cdot M_i \quad \text{при } M_i \leq M_{н_i}, \quad (2)$$

где i – вид загрязняющего вещества ($i = 1, 2 \dots n$); $C_{н_i}$ – дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т i -го загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов выбросов, (р.); M_i – фактический выброс (сброс) i -го загрязняющего вещества (т); $M_{н_i}$ – предельно допустимый выброс (сброс) i -го загрязняющего вещества (т).

Плата за выбросы загрязняющих веществ в атмосферу (сброс в водоем) в пределах установленных лимитов определяется по формуле

$$П_{л} = \sum_{i=1}^n C_{л_i} \cdot (M_i - M_{н_i}) \quad \text{при } M_{н_i} < M_i \leq (M_{н_i} + M_{л_i}), \quad (3)$$

где $C_{л_i}$ – дифференцированная ставка платы за выброс 1 т i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита (р.); $M_{л_i}$ – выброс i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита (т).

Плата за сверхлимитный выброс загрязняющих веществ в атмосферу (сброс в водоем) определяется по формуле

$$П_{сл} = 5 \cdot \sum_{i=1}^n C_{л_i} \cdot (M_i - M_{н_i} - M_{л_i}) \quad \text{при } M_i > (M_{н_i} + M_{л_i}). \quad (4)$$

3.1. Определение дифференцированных ставок за загрязнение окружающей природной среды

Дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т i -го загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов выбросов равна

$$C_{нi} = N_{бнi} \cdot K_{э} \quad (5)$$

Дифференцированная ставка платы за выброс 1 т i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита равна

$$C_{лi} = N_{блi} \cdot K_{э}, \quad (6)$$

где $N_{бнi}$ – базовый норматив платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т i -го загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов (р.); $N_{блi}$ – базовый норматив платы за выброс в атмосферу (сброс в водоем) 1 т загрязняющего вещества в пределах установленного лимита (р.); $K_{э}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в данном регионе (поверхностного водного объекта).

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости ($K_{э}$) состояния атмосферного воздуха, почвы и водных объектов на территории РФ вводятся для учета суммарного воздействия, оказываемого выбросами (сбросами, размещением отходов) загрязняющих веществ на данной территории.

$K_{э}$ рассчитаны по данным оценки лаборатории мониторинга природной среды и климата Госкомгидромета РФ. В их основу положен показатель степени загрязнения и деградации природной среды на территории экономических районов РФ в результате присущих этим районам выбросов в атмосферу и образующихся и размещаемых на их территории отходов.

$K_{э}$ состояния водных объектов по бассейнам основных рек РФ рассчитаны на основании данных о количестве сброшенных загрязненных сточных вод по бассейнам основных рек в разрезе республик, краев, областей и объеме стока по бассейнам основных рек в разрезе экономических районов РФ.

Значения $Kэ$ для различных регионов РФ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха и почвы территорий экономических районов Российской Федерации

Экономический район Российской Федерации	Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости ($Kэ$)	
	атмосферного воздуха	почвы
Северный	1,4	1,4
Северно-Западный	1,5	1,3
Центральный	1,9	1,6
Волго-Вятский	1,1	1,5
Центрально-Черноземный	1,5	2,0
Поволжский	1,9	1,9
Северно-Кавказский	1,6	1,9
Уральский	2,0	1,2
Западно-Сибирский	1,2	1,2
Восточно-Сибирский	1,4	1,1
Дальневосточный	1,0	1,1

$Kэ$ атмосферного воздуха, водных объектов и почвы могут увеличиваться решением органов исполнительной власти республик в составе РФ, краев и областей, г. Москвы и Санкт-Петербурга, автономных образований:

- для природопользователей, расположенных в зонах экологического бедствия, районах Крайнего Севера и местностях, приравненных к ним, на территории национальных парков, особо охраняемых и заповедных территориях, эколого-курортных регионах, а также на территориях, по которым заключены международные конвенции, – до 2 раз;
- для природопользователей, осуществляющих выбросы загрязняющих веществ в атмосферу городов и крупных промышленных центров, – на 20 %.

Значения $Kэ$ для города Кемерово приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха, водных объектов и почв г. Кемерово

Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости ($Kэ$)	Значение
атмосферного воздуха	1,44
водных объектов	1,22
почвы	1,20

3.2. Определение базовых нормативов платы за загрязнение окружающей среды

На основании Письма Минприроды РФ от 27.11.1992 при расчете платежей за выбросы, сбросы загрязняющих веществ устанавливаются два вида базовых нормативов платы:

- за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, другие виды вредного воздействия в пределах допустимых нормативов;
- за выбросы, сбросы загрязняющих веществ, размещение отходов, другие виды вредного воздействия в пределах установленных лимитов (временно согласованных нормативов).

Базовые нормативы платы за выбросы в атмосферу и сбросы в водоемы конкретных загрязняющих веществ определяются как произведение удельного экономического ущерба от выбросов и сбросов загрязняющих веществ на показатели относительной опасности конкретного загрязняющего вредного вещества для окружающей природой среды и здоровья населения и на коэффициенты индексации платы:

- для выбросов (сбросов) в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы:

$$Нбн_i = Эу \cdot A_i \cdot Kи_n, \quad (7)$$

- для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов

$$Нбл_i = Эу \cdot A_i \cdot Ку_l, \quad (8)$$

где $Эу$ – удельный экономический ущерб от выброса в атмосферу (сброса в водоем) 1 т i -го загрязняющего вещества (р.); A_i – показатели относительной опасности вещества, выбрасываемого в атмосферу (сбрасываемого в водоем); $Ку_n$ – коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы; $Ку_l$ – коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов.

Удельный экономический ущерб (в ценах 1990 г.) составляет:

- от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в пределах допустимого норматива выброса и лимита (временно согласованного выброса) $Эу = 3,3$ р./усл. т;
- от сбросов загрязняющих веществ в водные объекты в пределах допустимого норматива сброса и лимита (временно согласованного сброса) $Эу = 443,5$ р./усл. т.

Показатели относительной опасности веществ (A_i) рассчитываются на основе нормативных документов «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест», «Санитарные правила и охраны поверхностных вод от загрязнения».

$$A_i = \frac{1}{ПДК_i}, \quad (9)$$

где $ПДК_i$ для атмосферного воздуха принимается предельно допустимая концентрации среднесуточная ($ПДК_{сс}$); $ПДК_i$ для водных объектов принимается предельно допустимая концентрация в воде рыбохозяйственных водоемов ($ПДК_{рх}$); i – загрязняющее вещество.

Коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в

пределах допустимых нормативов Ku_H устанавливается в зависимости от уровня изменения цен на природоохранное строительство и по другим направлениям природоохранной деятельности по отношению к ценам 1991 года.

Коэффициент индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах установленных лимитов устанавливается в пятикратном размере по отношению к коэффициенту индексации платы для выбросов (сбросов) в пределах допустимых нормативов, т.е.

$$Ku_L = 5Ku_H.$$

3.3. Определение массы загрязнений, поступающих в окружающую среду

Масса i -го вещества выбрасываемого в атмосферу при непрерывном пылегазовом выбросе в год, т:

$$M_i = \frac{M \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \quad (10)$$

где M – масса выброса i -го вещества в атмосферу в секунду, г.

Предельно допустимый выброс в атмосферу i -го загрязняющего вещества (т/г) равен

$$M_{ni} = \frac{ПДВ_i \cdot 3600 \cdot 365 \cdot 24}{10^6}, \quad (11)$$

где $ПДВ_i$ – предельно допустимый выброс i -го вещества из стационарного источника, г/с.

Масса i -го вещества, сбрасываемого в водоем при непрерывном сбросе стока в год, т:

$$M_i = \frac{qC_{ст_i} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \quad (12)$$

где q – объем сброса стока в водоем, м³/с; $C_{ст_i}$ – концентрация i -го вещества в стоке, сбрасываемом в водоем, мг/л.

Предельно допустимый сброс в водоем i -го загрязняющего вещества (т/г) равен

$$M_{ni} = \frac{qC_{ст.пр_i} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 365}{10^6}, \quad (13)$$

где $C_{ст.пр_i}$ – максимально допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в стоке, сбрасываемом в водоем, мг/л.

4. Исходные данные и порядок расчетов

4.1. Общая ситуация

В городе К проектируется промышленное предприятие. В соответствии с принятой технологией на предприятии предусмотрен сброс вредных веществ со сточными водами в водоем (реку) ниже границы города и выброс вредных веществ в атмосферу через трубу. Необходимо определить размеры платежей за выбросы вредных веществ в атмосферу и сбросы в реку, которые должны осуществлять предприятие, и дать рекомендации по охране воздушного бассейна и охране и рациональному использованию водных ресурсов.

4.2. Исходные данные для расчетов

Наименование загрязняющего вещества в выбросе промышленного предприятия в атмосферу, его масса (г), предельно допустимый выброс (г/с) и его предельно допустимая концентрация принимаются из данных табл. 3.

Загрязняющими веществами, сбрасываемыми в водоем со сточными водами промышленного предприятия, по которым осуществляется начисление платежей, являются: свинец, цинк, бензол, нитрохлорбензол. Расход сточных вод ($\text{м}^3/\text{с}$), концентрация в них загрязняющих веществ (мг/л), максимально допустимая концентрация загрязняющих веществ в сточных водах (мг/л) и предельно допустимая концентрация этих веществ в воде водных объектов принимаются из табл. 4.

Выброс (сброс) i -го загрязняющего вещества в пределах установленного лимита ($M_{л_i}$) принимается в процентах (a) от значения предельно допустимого выброса (сброса).

$$M_{л_i} = \frac{a \cdot M_{н_i}}{100}. \quad (14)$$

Значение коэффициента a принимается равным 30–50 %.
Значения $Kэ$ приведены в табл. 2.

4.3. Порядок расчета

Расчет выброса одного загрязняющего вещества в атмосферу и платежей за этот выброс

1. Определяется масса вещества, выбрасываемого в атмосферу в год (M_i , т) (10). Наименование вещества и масса его выброса (M , г/с) принимается из табл. 3.

2. Определяется предельно допустимый выброс в атмосферу загрязняющего вещества в год (Mn_i , т) по уравнению (11). Предельно допустимый выброс в атмосферу этого вещества ($ПДВ$, г/с) принимается из табл. 3.

3. Определяется временно согласованный выброс в атмосферу загрязняющего вещества (14). Значение коэффициента a в уравнении принимается равным 50 %.

4. Определяется показатель относительной опасности загрязняющего вещества, выбрасываемого в атмосферу (A_i), по уравнению (9). Значение $ПДК$ этого вещества приведены в табл. 5.

5. Определяется значение базового норматива платы за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в размерах, не превышающих допустимые нормативы ($Нбн_i$, р./т) (7). Значение коэффициента индексации платы принимается соответствующим утвержденному на данный момент и задается преподавателем.

6. Определяется значение базового норматива платы за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в пределах установленных лимитов ($Нбл_i$, р./т) (8).

7. Определяется дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу загрязняющего вещества в пределах допустимых нормативов ($Сн_i$, р./т) (5). Значение коэффициента экологической ситуации и экологической значимости атмосферы $Kэ$ принимается по табл. 2.

8. Определяется дифференцированная ставка платы за выброс в атмосферу загрязняющего вещества в пределах установленных лимитов ($Сл_i$, р./т) (6).

9. Определяются платежи за выброс загрязняющего вещества в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы выбросов ($Мн$, р./т) (2). Сначала проверяется условие $M_i \leq M_{n_i}$. Если это условие выполняется, то весь выброс в атмосферу не превышает предельно допустимых нормативов, а выброс в пределах установленных лимитов и сверхлимитный выброс равны нулю, т.е. $Пл = 0$ и $Пс = 0$. Если $M_i > M_{n_i}$, то часть выброса находится в пределах допустимых нормативов, а часть превышает их. В этом случае значение M_i в (2) принимается равным $M_i = M_{n_i}$.

10. Определяются платежи за выброс загрязняющего вещества в атмосферу в пределах установленных лимитов (3). Сначала проверяется условие $(M_i - M_{n_i}) \leq Мл_i$. Если это условие выполняется, то выброс в атмосферу, превышающий предельно допустимые нормативы, является выбросом в пределах установленных лимитов, а сверхлимитный выброс равен нулю, т.е. $Пс = 0$. Если $(M_i - M_{n_i}) > Мл_i$, то часть общего выброса находится в пределах допустимых нормативов, часть – в пределах установленных лимитов, а часть выброса является сверхлимитной. В этом случае значение $(M_i - M_{n_i})$ в (3) принимается равным $(M_i - M_{n_i}) = Мл_i$.

11. Определяются платежи за сверхлимитный выброс загрязняющего вещества в атмосферу (4). Эти платежи определяются при выполнении условия $M_i > (M_{n_i} + Мл_i)$.

12. Определяются суммарные платежи за выброс вредного вещества в атмосферу (1).

Расчет сбросов нескольких загрязняющих веществ в водоем со сточными водами и платежей за эти сбросы

1. Определяются массы загрязняющих веществ в год (M_i , т), сбрасываемых в водоем со сточной водой, по которым начисляются платежи (12). Наименование веществ, расход сточной воды

(q , м³/с) и концентрация в ней загрязняющих веществ ($C_{ст_i}$, мг/л) приведены в табл. 4.

2. Определяются предельно допустимые сбросы в водоем загрязняющих веществ ($M_{н_i}$, т/г) (13). Максимально допустимые концентрации загрязняющих веществ в стоке ($C_{ст.пр_i}$, мг/л) приведены в табл. 4.

3. Определяются временно согласованные сбросы в водоем загрязняющих веществ (14). Значение коэффициента « a » в уравнении принимается равным 50 %.

4. Определяются показатели относительной опасности загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоем (A_i) (9). Значение ПДК этих веществ в воде водоема приведены в табл. 5.

5. Определяются значения базового норматива платы за сбросы загрязняющих веществ в водоем в размерах, не превышающих допустимые нормативы ($Нб_{н_i}$, р./т) (7). Значение коэффициента индексации платы принимается соответствующим утвержденному на данный момент и задается преподавателем.

6. Определяются значения базового норматива платы за сбросы загрязняющих веществ в водоем в пределах установленных лимитов ($Нб_{л_i}$, р./т) (8).

7. Определяются дифференцированные ставки платы за сбросы в водоем загрязняющих веществ в пределах допустимых нормативов ($С_{н_i}$, р./т) (5). Значение $K_{э}$ водоема принимается по табл. 2.

8. Определяются дифференцированные ставки платы за сбросы в водоем загрязняющих веществ в пределах установленных лимитов ($С_{л_i}$, р./т) (6).

9. Определяются платежи за сбросы в водоем загрязняющих веществ в размерах, не превышающих предельно допустимые нормативы сбросов ($П_{н}$, р./год) (2). Сначала для каждого загрязняющего вещества проверяется условие $M_i \leq M_{н_i}$. Если это условие выполняется, то весь сброс загрязняющего вещества в водоем не превышает предельно допустимых нормативов, а сброс его в пределах установленных лимитов и сверхлимитный сброс равны нулю, т. е. $П_{л} = 0$ и $П_{с} = 0$. Если $M_i > M_{н_i}$, то часть сброса нахо-

дится в пределах допустимых нормативов, а часть превышает их. В этом случае значение M_i (2) принимается равным $M_i = M_{n_i}$.

10. Определяются платежи за сбросы загрязняющих веществ в водоем в пределах установленных лимитов (3). Сначала для каждого загрязняющего вещества проверяется условие $(M_i - M_{n_i}) \leq M_{л_i}$. Если это условие выполняется, то сброс его в водоем, превышающий предельно допустимые нормативы, является сбросом в пределах установленных лимитов, а сверхлимитный сброс равен нулю, т.е. $Пс = 0$. Если $(M_i - M_{n_i}) > M_{л_i}$, то часть общего сброса находится в пределах допустимых нормативов, часть – в пределах установленных лимитов, а часть сброса является сверхлимитной. В этом случае значение $(M_i - M_{n_i})$ (3) принимается равным $(M_i - M_{n_i}) = M_{л_i}$.

11. Определяются платежи за сверхлимитные сбросы загрязняющих веществ в водоем (4). Эти платежи определяются при выполнении условия $M_i > (M_{n_i} + M_{л_i})$.

12. Определяются суммарные платежи за сбросы загрязняющих веществ в водоем (1).

5. Требования к отчету

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- * наименование и вариант работы;
- * исходные данные для расчетов;
- * методика расчетов с результатами вычислений;
- * сводная расчетная таблица (табл. 6);
- * общее заключение по результатам работы.

В общем заключении должно быть указано, из каких видов платежей складываются суммарные платежи за загрязнение окружающей среды. Если на предприятии имеются выбросы вредных веществ в пределах установленных лимитов или за сверхлимитные выбросы, то в заключении должны быть приведены мероприятия по снижению вредных выбросов до допустимых нормативов. Примерный перечень природоохранных мероприятий приведен в приложении.

Таблица 6

Сводная расчетная таблица

Вредные вещества в выбросах	Платежи за выбросы, р./год			
	<i>Пн</i>	<i>Пл</i>	<i>Псл</i>	<i>П</i>
I. Сбросы в водоем:				
цинк				
свинец				
бензол				
нитрохлорбензол				
II. Выбросы в атмосферу				
Всего				

6. Контрольные вопросы

1. Что представляет собой плата за загрязнение окружающей среды и для каких целей она взимается с природопользователей?

2. За какие виды воздействия на окружающую природную среду взимается плата с природопользователей?

3. Из каких источников предприятия осуществляют платежи за загрязнение окружающей среды?

4. Из каких видов платежей складываются суммарные платежи за выбросы вредных веществ в атмосферу и сброс в водоемы?

5. С какой целью при расчете дифференцированных ставок платы применяют коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха, почвы и водных объектов на территории Российской Федерации?

6. Как определяется коэффициент относительной опасности вещества?

7. На какие категории подразделяется масса выбросов вредных веществ в окружающую среду.

8. Какие природоохранные мероприятия необходимо проводить на предприятиях?

Список рекомендуемой литературы

1. Протасов В. Ф. Экология, здоровье и природопользование в России / В. Ф. Протасов, А. В. Молчанов. – Москва: Финансы и статистика, 2005. – 345 с.
2. Стадницкий Г. В. Экология: учеб. пособие для химико-технологических вузов / Г. В. Стадницкий, А. И. Родионов. – Москва: Высш. шк., 2008. – 456 с.
3. Кирпатовский И.П. Охрана природы. Справочник. – Москва: Химия, 2008. – 234 с.
4. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды. – Москва, 1993. – 56 с.

Примерный перечень природоохранных мероприятий

1. Охрана и рациональное использование водных ресурсов

1.1. Строительство головных и локальных очистных сооружений для сточных вод предприятий с системой их транспортировки.

1.2. Внедрение систем оборотного и бессточного водоснабжения всех видов.

1.3. Осуществление мероприятий для повторного использования сбросных и дренажных вод, улучшения их качества, не вызывающие побочного негативного воздействия на другие природные среды и объекты: аккумулирующие емкости, отстойники сооружения и устройства для аэрации вод, биологические инженерные очистные сооружения, биологические каналы экраны.

1.4. Строительство опытных установок и цехов, связанных с методами очистки сточных вод, и переработкой жидких отходов и кубовых остатков.

1.5. Реконструкция или ликвидация накопителей отходов.

1.6. Создание и внедрение автоматической системы контроля за составом и объемом сброса сточных вод.

2. Охрана воздушного бассейна

2.1. Установка газопылеулавливающих устройств, предназначенных для улавливания и обезвреживания вредных веществ из газов, отходящих от технологических агрегатов и из вентиляционного воздуха перед выбросом в атмосферу.

2.2. Строительство опытно-промышленных установок и цехов по разработке методов очистки отходящих газов от вредных выбросов в атмосферу.

2.3. Оснащение двигателей внутреннего сгорания нейтрализаторами для обезвреживания отработавших газов, создание станций (служб) регулировки двигателей автомобилей с целью

снижения токсичности отработавших газов, систем снижения токсичности отработавших газов, создание и внедрение присадок к топливам, снижающих токсичность и дымность отработавших газов и др.

2.4. Создание автоматических систем контроля за загрязнением атмосферного воздуха, оснащение стационарных источников выброса вредных веществ в воздушный бассейн приборами контроля, строительство, приобретение и оснащение лабораторий по контролю за загрязнением атмосферного воздуха.

2.5. Установка устройств по дожигу и другим методам доочистки хвостовых газов перед непосредственным выбросом в атмосферу.

2.6. Оснащение установками для утилизации веществ из отходящих газов.

2.7. Приобретение, изготовление и замена топливной аппаратуры при переводе на сжигание других видов топлива или улучшение режимов сжигания топлива.

3. Использование отходов производства и потребления

3.1. Строительство мусороперерабатывающих и мусоросжигательных заводов, а также полигонов для складирования бытовых и промышленных отходов.

3.2. Приобретение и внедрение установок, оборудования и машин для переработки, сбора и транспортировки бытовых отходов с территории городов и других населенных пунктов.

3.3. Строительство установок, производств, цехов для получения сырья или готовой продукции из отходов производства.

4. Научно-исследовательские работы

4.1. Разработка экспресс-методов определения вредных примесей в воздухе, воде, почве.

4.2. Разработка нетрадиционных методов и высокоэффективных систем и установок для очистки отходящих газов промышленных предприятий, утилизации отходов.

4.3. Разработка технологических процессов, оборудования,

приборов и реагентов, обеспечивающих глубокую переработку сырья с утилизацией образующихся отходов.

4.4. Совершенствование методов обезвреживания твердых бытовых отходов с целью предотвращения попадания в природные среды тяжелых металлов и ксенобиотиков.

4.5. Проектно-изыскательские и опытно-конструкторские работы по созданию природоохранного оборудования, установок, сооружений, предприятий и объектов, прогрессивной природоохранной технологии методов и средств защиты природных объектов от негативного воздействия.

5. Экологическое просвещение, подготовка кадров

Работа по экологическому образованию кадров, подготовка и переподготовка лиц, связанных с управлением природопользованием и охраной окружающей природной среды, использование средств массовой информации для экологического просвещения населения, проведение конференций, слетов, конкурсов среди учащейся молодежи.

Таблица 4

Данные для расчета выброса загрязняющего вещества в атмосферу и платежей за этот выброс

Номер варианта	Загрязнитель	Масса M , г	$ПДВ$, г/с	$ПДК$, мг/м ³
1	Азота диоксид	80	50	0,085
2	Аммиак	85	55	0,2
3	Ангидрид сернистый	90	60	0,05
4	Анилин	95	65	0,03
5	Бензин	100	70	1,3
6	Бензол	105	75	0,8
7	Хлорид водорода	110	80	0,2
8	Диметиламин	120	85	0,005
9	Дихлорэтан	125	90	1,0

Номер варианта	Загрязнитель	Масса M , г	$ПДВ$, г/с	$ПДК$, мг/м ³
10	Капролактам	130	95	0,06
11	Кислота серная	140	100	0,1
12	Кислота уксусная	145	105	0,06
13	Ксилол	150	110	0,2
14	Нитробензол	160	115	0,008
15	Сероуглерод	170	120	0,005
16	Сероводород	180	125	0,008
17	Толуол	190	130	0,6
18	Фенол	200	135	0,01
19	Хлор	82	140	0,03
20	Хлорбензол	80	145	0,01

Таблица 5

Предельно допустимые концентрации вредных веществ
в воде водных объектов хозяйственно-питьевого
и культурно-бытового назначения

Наименование загрязнения	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация
Свинец	Санитарно-токсикологический	0,1
Цинк	Общесанитарный	1,0
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5
Нитрохлорбензол	Санитарно-токсикологический	0,05

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВЫБРОСА ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ ЭТИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной с выбросом вредных веществ в атмосферу из стационарных источников (труб).

Газовые выбросы промышленных предприятий содержат вредные вещества различной степени токсичности. В случае неэффективной работы газоочистного оборудования или его отсутствия эти вещества загрязняют атмосферный воздух и оказывают вредное воздействие на здоровье людей, животных, состояние растительности и окружающей среды в целом.

Для обеспечения допустимых уровней загрязнения атмосферного воздуха населенных мест установлены нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ и нормативы предельно допустимых выбросов стационарными и передвижными источниками.

Студенты, по нижеприведенной методике, определяют для стационарного источника выбросов максимально возможную концентрацию вредного вещества в атмосферном воздухе, проводят расчет рассеивания этого вещества в воздухе, определяют значение предельно допустимого выброса (*ПДВ*) и рассчитывают высоту источника выброса, при которой концентрация вредного вещества в воздухе не превышает *ПДК* (предельно допустимой концентрации).

2. Теоретические положения

2.1. Основные положения закона об охране атмосферного воздуха

Основой мероприятий по охране атмосферного воздуха является Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха» от 04.05.1999 № 96-ФЗ.

Для оценки качества атмосферного воздуха законом устанавливаются нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ и уровней вредных физических воздействий на атмосферу. Эти нормативы должны отвечать интересам охраны здоровья людей и охраны окружающей среды. Нормативы предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и уровней вредных физических воздействий на него являются едиными для всей территории Российской Федерации.

С целью охраны атмосферного воздуха устанавливаются нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками загрязнений, а также нормативы предельно допустимых вредных физических воздействий. Эти нормативы устанавливаются для каждого стационарного источника выбросов или для иного вредного воздействия на атмосферный воздух, а также для каждой модели транспортных или иных передвижных средств и установок.

Нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих атмосферу веществ и предельно допустимых вредных физических воздействий на нее устанавливаются на уровне, при котором выбросы загрязняющих веществ и вредные физические воздействия от конкретного и других источников в данном районе с учетом перспективы его развития не приведут к превышению нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и предельно допустимых уровней вредных физических воздействий.

Выброс загрязняющих веществ в атмосферу стационарным источником загрязнения допускается в каждом случае на основании разрешения, выдаваемого специально уполномоченным на то

государственным органом. В разрешении предусматриваются нормативы предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ, а также другие требования, обеспечивающие охрану атмосферного воздуха.

Предприятия, учреждения и организации, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, обязаны проводить организационно-хозяйственные, технические и иные мероприятия для обеспечения выполнения условий и требований, предусмотренных в разрешениях на выброс, принимать меры по снижению выбросов, обеспечивать бесперебойную работу и поддержание в исправном состоянии сооружений и аппаратуры для очистки выбросов и контроля за ними, а также осуществлять постоянный учет количества и состава загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу.

Осуществление мероприятий по охране атмосферного воздуха не должно приводить к загрязнению почв, вод и других природных объектов.

В случаях нарушения условий и требований, предусмотренных разрешениями, а также когда возникает угроза здоровью населения, выброс загрязняющих веществ должен быть приостановлен или запрещен по решению органа, осуществляющего государственный контроль за охраной атмосферного воздуха, вплоть до прекращения деятельности отдельных промышленных установок, цехов, предприятий и учреждений.

При получении предупреждения о возможном повышении концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в связи с ожидаемыми неблагоприятными условиями предприятия, учреждения и организации обязаны проводить специально разработанные по согласованию с органами, осуществляющими государственный контроль за охраной атмосферного воздуха, мероприятия по снижению выбросов таких веществ в атмосферу.

При размещении, проектировании и вводе в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, сооружений и других объектов, при совершенствовании существующих и внедрении новых технологических процессов и оборудования необходимо обеспечивать соблюдение нормативов вредных воздействий на атмосферный воздух. При этом должны предусматриваться ути-

лизация, обезвреживание вредных веществ и отходов или иное исключение выбросов загрязняющих веществ, выполнение других требований по охране окружающей среды, исходя из того, чтобы совокупность выбросов, а также вредных воздействий от проектируемых, действующих и планируемых к строительству в будущем предприятий, сооружений и других объектов не привели к превышению нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и нормативов предельно допустимых уровней вредных физических воздействий на него.

Запрещается ввод в эксплуатацию новых и реконструированных предприятий, сооружений и других объектов, не удовлетворяющих требованиям по охране атмосферного воздуха. Предприятия, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу, независимо от времени ввода их в действие должны быть оснащены сооружениями, оборудованием и аппаратурой для очистки выбросов в атмосферу и средствами контроля за количеством и составом выбрасываемых загрязняющих веществ.

Добыча полезных ископаемых, взрывные работы, размещение и эксплуатация терриконов, отвалов, свалок должны проводиться с соблюдением правил по предотвращению и сокращению загрязнения атмосферного воздуха способами, согласованными с органами, осуществляющими государственный контроль за охраной атмосферного воздуха.

Размещение в населенных пунктах терриконов, отвалов, складирование промышленных отходов, производственного, бытового мусора и других отходов, являющихся источниками загрязнения атмосферного воздуха пылью, вредными газообразными и дурно пахнущими веществами, а также сжигание указанных отходов на территории предприятий, учреждений, организаций и населенных пунктов запрещаются, кроме случаев, когда сжигание осуществляется с использованием специальных установок при соблюдении требований по охране атмосферного воздуха.

2.2. Правила установления предельно допустимых выбросов (ПДВ) и временно согласованных (ВСВ) вредных веществ в атмосфере

Предельно допустимый выброс (ПДВ) является научно-техническим нормативом, устанавливаемым для каждого конкретного источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ от него и всей совокупности источников города или другого населенного пункта с учетом их рассеивания и превращения в атмосфере, а также перспектив развития предприятия не создадут приземной концентрации, превышающей установленные нормативы качества окружающей среды. При этом под нормативами качества окружающей среды принимаются предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест.

В тех случаях, когда на данном предприятии или группе предприятий, расположенных в одном районе, величины ПДВ по причинам объективного характера не могут быть достигнуты в настоящее время, по согласованию с органами Госкомгидромета должно планироваться поэтапное, с указанием продолжительности каждого этапа, снижение выбросов от действующих предприятий до величин, обеспечивающих соблюдение ПДК. При этом величины временно согласованных выбросов (ВСВ) должны устанавливаться с учетом значений величин выбросов, достигнутых предприятиями с наилучшей (в части охраны природной среды) технологией данного производства.

Величины ПДВ и ВСВ устанавливаются для отдельных источников в граммах в секунду и в тоннах в год.

В случае невозможности установления для источников ВСВ на уровне передовых производств уполномоченные органы должны предусмотреть в установленном порядке уменьшение объема производства, закрытие или вывод соответствующих предприятий или объектов, или изменение их профиля.

Наряду с установлением ПДВ и ВСВ для одиночных источников, в результате суммирования устанавливаются значения ПДВ и ВСВ для предприятий и комплексов в целом.

При установлении *ПДВ* и *ВСВ* для источников должны учитываться фоновые концентрации загрязнений в атмосферном воздухе, фактически созданные остальными источниками своего и других предприятий города и промышленного района. Фоновые концентрации устанавливаются по данным наблюдений сети Общегосударственной службы контроля за состоянием атмосферы либо определяются расчетным путем.

Величины *ПДВ* и *ВСВ* утверждаются в установленном порядке специально уполномоченными государственными органами. Пересмотр их производится в случае изменения мощности, технологии производства, режима работы предприятия, но не реже одного раза в пять лет.

Величины *ПДВ* и *ВСВ* определяются путем расчета загрязнения атмосферы вредными выбросами из отдельного источника или группы источников, определения расчетной концентрации этих загрязнений в приземном слое атмосферы и сопоставления полученных данных с предельно допустимыми концентрациями примесей в атмосферном воздухе населенных пунктов. Результаты проводятся по временной Методике нормирования промышленных выбросов в атмосферу, разработанной Государственным комитетом по гидрометеорологии и контролю природной среды.

Результаты расчетов и предложения по достижению установленных нормативов качества окружающей среды оформляются в виде тома «Охрана окружающей среды и предложения по предельно допустимым выбросам (*ПДВ*) и временно согласованным выбросам (*ВСВ*) для предприятий» (том *ПДВ* и *ВСВ*).

3. Методика расчета предельно допустимого выброса и его рассеивания

3.1. Расчет рассеивания выбросов из одиночного источника

Величина максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m (мг/м³) для выброса нагретой газовой смеси из одиночного (точечного) источника с круглым устьем при не-

благоприятных метеорологических условиях на расстоянии x_m от источника определяется по формуле

$$C_m = 0,001 \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{(V_1 \cdot \Delta T)}} + 2C_f, \quad (1)$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, $\text{с}^{2/3} \cdot \text{град}^{1/3}$; M – количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу из источника выбросов, кг/с; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость осаждения вредных веществ в атмосферном воздухе; m и n – безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; H – высота источника выброса над уровнем земли, м; ΔT – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси T_G и температурой окружающего атмосферного воздуха T_B , °С; C_f – фоновая концентрация загрязняющих веществ в атмосфере, мг/м³; V_1 – объемный расход газовой смеси, м³/с, определяемый по формуле

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \omega_0, \quad (2)$$

где D – диаметр источника выброса, м; ω_0 – средняя скорость газовой смеси на выходе из устья источника выброса, м/с.

Коэффициент A принимается для неблагоприятных метеорологических условий, при которых концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе от источника выбросов достигают максимального значения. Для зоны Сибири значение коэффициента $A = 200$.

Величины M и V_1 определяются расчетом в технологической части проекта или принимаются в соответствии с действующими для данного производства (процесса) нормативами.

Величины безразмерного коэффициента F принимаются:

■ для газообразных вредных веществ (сернистого газа, сероуглерода и т.п.) и мелкодисперсных аэрозолей (пыли, золы и т.п., скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю) $F = 1$;

■ для пыли и золы (кроме указанных в предыдущем пункте):

• если коэффициент очистки газовых выбросов равен не менее 90 %, $F = 2$;

• если коэффициент очистки газовых выбросов равен от 75 до 90 %, $F = 2,5$;

• если коэффициент очистки газовых выбросов равен менее 75 %, $F = 3,0$.

Вне зависимости от эффективности пылеулавливания значение коэффициента F принимается равным 3, также при расчетах рассеивания пыли в атмосфере для производств, в которых выбросы пыли сопровождаются выделениями водяного пара в количестве, достаточном для того, чтобы в течение года наблюдалась его интенсивная конденсация сразу же после выхода в атмосферу, а также коагуляция влажных пылевых частиц (например, глиноземное производство).

Безразмерный коэффициент m в уравнении (1) определяется по формуле

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

в зависимости от величины параметра f , вычисляемого по уравнению

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}. \quad (4)$$

Безразмерный коэффициент n в уравнении (1) определяется по формулам (5)–(7) в зависимости от параметра v_m , вычисляемого по формуле (8):

$$\text{при } v_m \leq 0,3 \quad n = 3; \quad (5)$$

$$\text{при } 0,3 < v_m \leq 2 \quad n = 3 - \sqrt{(v_m - 0,3)(4,36 - v_m)}; \quad (6)$$

$$\text{при } v_m > 2 \quad n = 1, \quad (7)$$

$$\text{где } v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}}. \quad (8)$$

Максимальная приземная концентрация вредных веществ C_m при неблагоприятных метеорологических условиях достигается на оси факела выброса (по направлению среднего ветра за рассматриваемый период) на расстоянии x_m от источника выброса.

Величина x_m определяется по формуле

$$x_m = d \cdot H. \quad (9)$$

Коэффициент d в уравнении (9) определяется в зависимости от значения коэффициента v_m :

$$\text{при } v_m \leq 2 \quad d = 4,95 \cdot v_m (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}); \quad (10)$$

$$\text{при } v_m > 2 \quad d = 7 \sqrt{v_m} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}). \quad (11)$$

Величины приземных концентраций вредных веществ C в атмосфере по оси факела выброса на различных расстояниях от источника выброса определяются по формуле

$$C = S_1 \cdot C_m. \quad (12)$$

Безразмерный коэффициент S_1 определяется в зависимости от отношения x/x_m по формулам

$$\text{при } \frac{x}{x_m} \leq 1 \quad S_1 = 3\left(\frac{x}{x_m}\right)^4 - 8\left(\frac{x}{x_m}\right)^3 + 6\left(\frac{x}{x_m}\right)^2; \quad (13)$$

$$\text{при } 1 < \frac{x}{x_m} \leq 8 \quad S_1 = \frac{1,13}{0,13\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 1}. \quad (14)$$

При $x/x_m > 8$ и $F = 1$ величина S_1 определяется по формуле

$$S_1 = \frac{\frac{x}{x_m}}{3,58\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 - 35,2\left(\frac{x}{x_m}\right) + 120}, \quad (15)$$

при $x/x_m > 8$ и $F = 2; 2,5$ или 3 величина S_1 определяется по формуле

$$S_1 = \frac{1}{0,1\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + 2,47\left(\frac{x}{x_m}\right) - 17,8}. \quad (16)$$

3.2. Определение предельно допустимого выброса

Предельно допустимый нагретый выброс вредного вещества в атмосферу ПДВ, г/с, из одиночного источника (трубы), при котором обеспечивается не превышающая ПДК концентрация его в приземном слое воздуха, определяется по формуле

$$\text{ПДВ} = \frac{\text{ПДК} \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n}. \quad (17)$$

3.3. Определение минимальной высоты одиначного источника выброса

Высота одиначного источника выброса (трубы) H , при которой обеспечивается не превышающее $ПДК$ значение максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m , если установлены величины M , ω_0 , v_1 , D и ΔT , определяется по формуле

$$H = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D}{8 \cdot v_1 \cdot ПДК} \right)^{3/4}. \quad (18)$$

4. Исходные данные для расчетов

Промышленным предприятием осуществляется выброс газозоудной смеси, содержащей вредную примесь, в атмосферу из одиначного источника (трубы). Параметры источника выброса, расход газозоудной смеси, содержание в смеси вредной примеси и ее $ПДК$ в атмосферном воздухе населенных пунктов для различных вариантов расчетов приведены в приложении. Необходимо:

- определить:
 - предельно допустимый выброс примеси в атмосферу – $ПДВ$;
 - максимальную приземную концентрацию примеси – C_m ;
 - расстояние от источника выброса, на котором достигается максимальная концентрация, – x_m ;
 - величины приземных концентраций вредного вещества – C на расстояниях от источника выброса, определяемые соотношениями

$$x / x_m = 0,25; x / x_m = 0,5; x / x_m = 1,5; x / x_m = 3,0; x / x_m = 5,0;$$
- построить графическую зависимость приземной концентрации примеси от расстояния от источника выброса;
- результаты расчетов свести в таблицу.

Примечания:

- коэффициент A принимается для всех вариантов расчетов равным $A = 200$;
- коэффициент F принимается для всех вариантов расчетов равным $F = 1$;
- температура окружающего атмосферного воздуха принимается для всех вариантов расчетов $T_B = 27$ °С.

5. Требования к отчету

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- * наименование и вариант работы;
- * исходные данные для расчетов;
- * методика расчетов с результатами вычислений;
- * рисунок, отражающий графическую зависимость концентрации загрязняющего вещества от расстояния от источника выбросов;
- * сводная расчетная таблица;
- * общее заключение по результатам работы.

6. Пример расчета

Газовоздушная смесь, содержащая вредную примесь (двуокись азота, $ПДК = 0,085$ мг/м³) в количестве $M = 160$ г/с, выбрасывается из трубы высотой $H = 60$ м. Средняя скорость газовоздушной смеси на выходе из устья трубы равна $\omega_0 = 6$ м/с. Диаметр выходного отверстия трубы равен $D = 2$ м. Температура газовоздушной смеси на выходе из трубы равна $T_T = 167$ °С. Температура окружающего атмосферного воздуха равна $T_B = 27$ °С.

1. Определение максимальной приземной концентрации вредного вещества C_m .

Объем газовоздушной смеси, выбрасываемый из источника, уравнение (2):

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \omega_0 = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 6 = 18,84 \text{ мГ/м}^3.$$

Разность между температурой выбрасываемой газовой смеси и температурой окружающего воздуха:

$$\Delta T = T_r - T_b = 167 - 27 = 140^\circ \text{C}$$

Значение параметра f , уравнение (4):

$$f = 10^3 \cdot \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = 10^3 \cdot \frac{6^2 \cdot 2}{60^2 \cdot 140} = 0,143.$$

Коэффициент m , уравнение (3):

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,143} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{0,143}} = 1,129.$$

Коэффициент v_m , уравнение (8):

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{18,84 \cdot 140}{60}} = 4,31.$$

$v_m > 2$, следовательно, коэффициент n в уравнении (1) равен $n = 1$.

Максимальная приземная концентрация вредного вещества, уравнение (1):

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} = \frac{200 \cdot 160 \cdot 1 \cdot 1,129 \cdot 1}{60^2 \cdot \sqrt[3]{18,84 \cdot 140}} = 0,763 \text{ мГ/м}^3.$$

Коэффициент A в уравнении (1) в расчетах принят для зоны Сибири равным $A = 200$. Двуокись азота является газообразным веществом, скорость упорядоченного осаждения которого прак-

тически равна нулю. Поэтому значение коэффициента F в уравнении (1) в расчетах принято равным $F = 1$.

2. Определение расстояния от источника выброса (трубы) по оси факела, на котором достигается максимальная приземная концентрация вредного вещества.

Коэффициент d при значении $v_m > 2$, уравнение (11):

$$d = 7\sqrt{v_m} (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) = 7 \cdot \sqrt{4,31} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,143}) = 16,66.$$

Расстояние, на котором достигается максимальная приземная концентрация, уравнение (9):

$$x_m = d \cdot H = 16,66 \cdot 60 = 1000 \text{ м.}$$

3. Определение приземных концентраций вредного вещества на различных расстояниях от источника выбросов в атмосферу (трубы).

Величины приземных концентраций вредного вещества в атмосфере на различных расстояниях x от источника выбросов, см. уравнение (12). Расчет проводится для следующих значений отношения заданного значения расстояния к значению, при котором достигается максимальная приземная концентрация: $x/x_m = 0,25$; $x/x_m = 0,5$; $x/x_m = 1,5$; $x/x_m = 3,0$; $x/x_m = 5,0$.

В данном примере этим отношениям соответствуют следующие расстояния от источника выбросов: 250, 500, 1500, 3000, 5000 м.

Приземные концентрации для значений отношения $x/x_m \leq 1$:

$$x/x_m = 0,25.$$

Коэффициент S_1 , уравнение (13):

$$S_1 = 3\left(\frac{x}{x_m}\right)^4 - 8\left(\frac{x}{x_m}\right)^3 + 6\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 = 3 \cdot 0,25^4 - 8 \cdot 0,25^3 + 6 \cdot 0,25^2 = 0,262$$

Приземная концентрация, уравнение (12):

$$C = S_1 \cdot C_m = 0,262 \cdot 0,763 = 0,20 \text{ мг / м}^3.$$

$$x / x_m = 0,5; S_1 = 0,687; C = 0,524 \text{ мг / м}^3.$$

Приземные концентрации для значений отношения $x / x_m > 1$:

$$x / x_m = 1,5.$$

Коэффициент S_1 , уравнение (14):

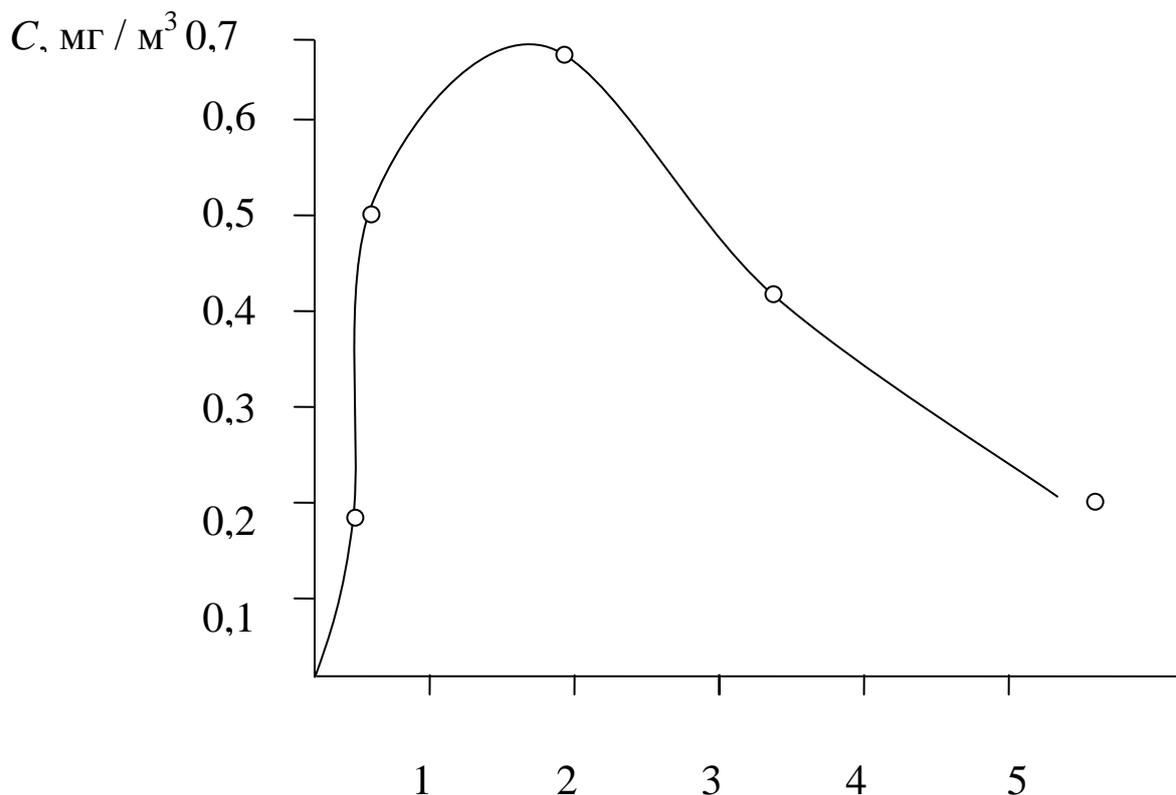
$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \left(\frac{x}{x_m} \right)^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13 \cdot 1,5^2 + 1} = 0,874.$$

Приземная концентрация, уравнение (12):

$$C = S_1 \cdot C_m = 0,874 \cdot 0,763 = 0,667 \text{ мг / м}^3,$$

$$x / x_m = 3,0; S_1 = 0,52; C = 0,397 \text{ мг / м}^3,$$

$$x / x_m = 5,0; S_1 = 0,266; C = 0,203 \text{ мг / м}^3.$$



Зависимость концентрации вредного вещества в приземном слое атмосферы от расстояния от источников выбросов

4. Определение предельно допустимого выброса вредного вещества в атмосферу ПДВ, г/с, из одиночного источника (трубы).

$$ПДВ = \frac{ПДК \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}{A \cdot F \cdot m \cdot n} = \frac{0,085 \cdot 60^2 \cdot \sqrt[3]{18,84 \cdot 140}}{200 \cdot 1,0 \cdot 1,129 \cdot 1,0} = 18,72 \text{ г/с.}$$

5. Определение минимальной высоты источника выброса (трубы), при которой обеспечивается не превышающее ПДК значение максимальной приземной концентрации вредного вещества.

ПДК вредной примеси в газовой смеси (двуокиси азота) составляет $0,085 \text{ мг/м}^3$. Максимальная концентрация примеси в приземном слое атмосферы равна $C_m = 0,763 \text{ мг/м}^3$, т.е. больше ПДК. Следовательно, условия выброса газовой смеси в атмосферу через трубу высотой 60 м не соответствуют санитарным требованиям. Добиться данного соответствия можно увеличением высоты трубы.

Высота одиночного источника выброса (трубы) H , при которой обеспечивается не превышающее ПДК значение максимальной приземной концентрации вредных веществ C_m , если установлены величины M , ω_0 , V_1 , D и ΔT , определяется по формуле

$$H_p = \left(\frac{A \cdot M \cdot F \cdot D}{8 \cdot V_1 \cdot \text{ПДК}} \right)^{3/4} = \left(\frac{200 \cdot 160 \cdot 1,0 \cdot 2,0}{8 \cdot 18,84 \cdot 0,085} \right)^{3/4} = 594,2 \text{ м.}$$

Результаты расчетов предельно допустимого выброса вредных веществ в атмосферу

Наименование показателей	Обозначение	Единицы измерения	Значения
1. Параметры источника выбросов			
• высота	H	м	60
• диаметр	D	м	2
• скорость газовой смеси в устье выброса	ω_0	м/с	6
• объем газовой смеси	V_1	м ³ /с	18,84
• высота, при которой обеспечивается не превышающая	H_p	м	594,2

Наименование показателей	Обозначение	Единицы измерения	Значения
<i>ПДК</i> максимальная концентрация вредного вещества			
2. Параметры газовой смеси			
• загрязняющее вещество			двуокись азота
• <i>ПДК</i>	<i>ПДК</i>	мг/м ³	0,085
• количество выбрасываемой примеси	<i>M</i>	г/с	160
• предельно допустимый выброс	<i>ПДВ</i>	г/с	18,72
• максимальная концентрация в приземном слое	<i>C_m</i>	мг/м ³	0,763
• расстояние, на котором достигается максимальная концентрация	<i>x_m</i>	м	1000

7. Контрольные вопросы

1. Как называются нормативы качества атмосферного воздуха?

2. Какое условие принимается за основу при установлении для стационарного источника выбросов норматива предельно допустимого выброса (*ПДВ*)?

3. На основании какого документа разрешается выброс загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников?

4. Какие меры применяются к предприятию, имеющему выбросы в атмосферу, в случаях, когда возникает угроза здоровью населения и окружающей среде?

5. Какие мероприятия по охране атмосферного воздуха должны осуществляться при размещении, вводе в действие новых или реконструируемых действующих предприятий?

6. Какое санитарно-гигиеническое требование должно выполняться при вводе в эксплуатацию новых и реконструируемых предприятий, сооружений и других объектов, при совершенство-

вании существующих и внедрении новых технологических процессов и оборудования?

7. Какие мероприятия должны осуществляться на предприятиях, деятельность которых связана с выбросами загрязняющих веществ в атмосферу?

8. В каких случаях устанавливаются нормативы временно согласованных выбросов (*ВСВ*) вредных веществ в атмосферу?

9. Какие требования предъявляются к предприятию при установлении норм *ПДВ*?

10. Какие данные принимаются за основу при установлении нормативов *ВСВ*?

11. Каким образом устанавливаются нормативы *ПДВ* и *ВСВ*?

Список рекомендуемой литературы

1. Голицын, А. Н. Основы промышленной экологии : учебник. – Москва : ИПРО, 2012. – 240 с.

2. Кирпатовский, И. П. Охрана природы : справочник. – Москва : Химия, 1980. – 376 с.

3. Охрана окружающей среды : учеб. для вузов / сост.: А. С. Степановских. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 559 с.

4. Челноков, А. А. Основы промышленной экологии : учеб. пособие / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко. – Москва : Высш. шк., 2011. – 343 с.

Данные для выполнения работы
«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО ВЫБРОСА
ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРУ И РАСЧЕТ
РАСSEИВАНИЯ ЭТИХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ»

Номер варианта	Загрязнитель		Выброс		Источник выброса		
	наименование	ПДК, мг/м ³	масса М, г/с	температура T _г , °С	скорость ω ₀ , м/с	высота Н, м	диаметр D, м
1	Азота дву-окись	0,085	160	250	6,0	160	1,5
2	Аммиак	0,2	155	245	6,1	162	1,6
3	Ангидрид сернистый	0,05	150	240	6,2	164	1,7
4	Анилин	0,03	145	235	6,3	166	1,8
5	Бензин	1,3	140	230	6,4	168	1,9
6	Бензол	0,8	135	225	6,5	170	2,0
7	Водород хлористый	0,2	130	220	6,6	172	2,1
8	Диметиламин	0,005	125	215	6,5	174	2,2
9	Дихлорэтан	1,0	120	210	6,4	176	2,3
10	Капролактам	0,06	115	205	6,3	178	2,4
11	Кислота сер-ная	0,1	110	200	6,2	180	2,5
12	Кислота уксусная	0,06	105	195	6,1	182	2,6
13	Ксилол	0,2	100	190	6,0	184	2,7
14	Нитробензол	0,008	98	185	5,9	188	2,8
15	Сероуглерод	0,005	96	180	5,8	190	2,9
16	Сероводород	0,008	94	175	5,7	192	3,0
17	Стирол	0,003	92	170	5,6	194	2,9
18	Толуол	0,6	90	165	5,4	196	2,8
19	Трихлор-этилен	1,0	88	160	5,3	198	2,7
20	Фенол	0,01	86	155	5,2	200	2,6
21	Формальдегид	0,003	84	150	5,1	222	2,5
22	Хлор	0,03	82	145	5,0	224	2,4
23	Хлорбензол	0,01	80	140	4,9	226	2,5
24	Циклогексанол	0,06	78	135	4,8	228	2,4
25	Цинка окись	0,05	76	130	4,7	230	2,3

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ДОПУСТИМОСТИ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ВОДОЕМ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной со сбросом сточных вод в поверхностные водоемы. Сточные воды промышленных предприятий после их полной или частичной очистки содержат остаточные количества нерастворенных и растворенных загрязнений. В случае неэффективной работы очистных сооружений или же при их отсутствии загрязнения, попадающие в водоем со сточными водами, могут сделать воду этого водоема непригодной для различных целей водопользования и в первую очередь для питьевого и хозяйственно-бытового использования. Для сохранения качества воды поверхностных водоемов разработаны расчетные методы определения соответствия условий сброса сточных вод в водоем санитарным нормам.

Студенты по нижеприведенной методике определяют, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать сточные воды, чтобы на подходе к первым пунктам водопользования степень загрязнения воды не нарушала нормальные условия водопользования и не угрожала здоровью населения.

2. Теоретические положения

2.1. Загрязнение воды в водных объектах

Водоемы и водотоки (водные объекты) считаются загрязненными, если показатели состава и свойств воды в них изменились под прямым или косвенным влиянием производственной деятельности и стали частично или полностью непригодными для одного из видов водопользования.

Критерием загрязненности воды является ухудшение ее качества вследствие изменения ее органолептических свойств (цвета, запаха) и появления веществ, вредных для человека, животных, птиц, кормовых и промысловых организмов, а также повышение температуры воды, изменяющее условия для нормальной жизнедеятельности организмов. Качество воды оценивается показателями, характеризующими содержание в ней вредных веществ.

Основное нормативное требование к качеству воды в водных объектах – соблюдение установленных экологических стандартов, оценивающих состояние окружающей среды. Экологическими стандартами, оценивающими санитарное состояние водных объектов, являются предельно допустимые концентрации примесей (ПДК) в воде.

ПДК примеси (вредного вещества) в воде водного объекта – это такой нормативный показатель, который исключает неблагоприятное влияние на организм человека и возможность ограничения или нарушения нормальных условий хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и других видов водопользования. Иными словами, ПДК – это такая концентрация, при превышении которой вода становится непригодной для одного или нескольких видов водопользования.

2.2. Нормативы качества воды для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

Нормативы состава и свойств воды водных объектов, которые должны быть обеспечены при спуске в них сточных вод, устанавливаются применительно к отдельным категориям водопользования у мест расположения ближайших к выпуску сточных вод пунктов водопользования.

Водопользование различают двух категорий:

* к первой категории относится использование водного объекта в качестве источника централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности;

* ко второй категории относится использование водного объекта для купания, спорта и отдыха населения, а также использование водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

Ближайшие к месту выпуска сточных вод пункты водопользования первой и второй категории определяются органами и учреждениями санитарно-эпидемиологической службы с обязательным учетом официальных данных о перспективах использования водного объекта для питьевого водоснабжения и культурно-бытовых нужд населения.

Состав и свойства водных объектов должны соответствовать нормативам (не превышать ПДК) в створе, расположенном на водотоках в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т.д.), а на непроточных водоемах и водохранилищах – в одном километре в обе стороны от пункта водопользования.

2.3. Производственные ограничения на сброс сточных вод в водные объекты

Независимо от нормативных требований к качеству воды в водном объекте существуют производственные ограничения на сброс сточных вод, которые предприятия обязаны неукоснительно выполнять.

Запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды:

* которые могут быть устранены путем рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного водоснабжения, или устройствами бессточных производств;

* содержащие ценные отходы, которые могут быть утилизированы на данном или другом предприятии;

* содержащие производственное сырье, реагенты, полупродукты и конечные продукты производства в количествах, превышающих установленные нормативы технологических потерь;

* содержащие вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации;

* воды, которые с учетом их состава и местных условий могут быть использованы для орошения в сельском хозяйстве при соблюдении санитарных требований.

Особенно недопустим сброс в водные объекты кубовых остатков и технологических отходов.

2.4. Технологические условия сброса сточных вод в водные объекты

Место выпуска сточных вод должно быть расположено ниже по течению реки от границы данного населенного пункта и всех мест его водопользования с учетом возможного обратного течения при нагонных ветрах и при изменении режима ГЭС.

Условия спуска сточных вод в водоемы определяются с учетом:

* 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;

* качества воды водоемов и водотоков выше места проектируемого сброса сточных вод.

2.5. Методика определения соответствия условий сброса сточных вод предприятия санитарным требованиям

Контроль и управление качеством воды в водных объектах предусматривают решение следующих задач:

- проверку достаточной степени разбавления сточных вод, для того чтобы в пункте водопользования примеси рассеивались до неопасных концентраций;

- определение требуемой степени очистки (обеззараживания) сточных вод;

- прогнозирование качества воды на заданную перспективу.

Загрязнение водоема сточными водами может неблагоприятно сказаться на:

- * нарушении общего санитарного режима водоема;
- * изменении органолептических свойств водоема.

Соответственно в зависимости от свойств загрязняющих веществ определение степени необходимой очистки сточных вод ведется по каждому показателю состава и свойств воды водоемов.

Основное уравнение смешения сточных вод, сбрасываемых в водоем, с природными водами имеет вид

$$q \cdot C_{ст} + Q \cdot C_p = (q + \gamma \cdot Q) \cdot C_{п.вод}, \quad (1)$$

где Q – расход воды в реке, м³/с; q – расход сточных вод, поступающих в реку, м³/с; $C_{ст}$ – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в стоке, мг/л; C_p – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в реке выше сброса в нее сточных вод (фоновая концентрация), мг/л; $C_{п.вод}$ – концентрация загрязнения (данного вредного вещества) в реке перед расчетным пунктом водопользования (в общем случае в 1 км выше по течению реки), мг/л; γ – коэффициент смешения, показывающий, какая часть расхода воды в водоеме смешивается со сточными водами в расчетном створе.

Величина q определяется хозяйственной или проектной организацией на основе замеров или технологических расчетов.

Величина Q определяется проектной организацией на основе специальных местных гидрологических изысканий или данных гидрометеорологической службы. Величина C_p определяется на основе специально организуемых исследований.

3.1. Проверка достаточной степени разбавления

Решая уравнение (1) относительно, $C_{п.вод}$, имеем

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q}. \quad (2)$$

Формула (2) позволяет прогнозировать санитарное состояние воды при всех заданных параметрах, входящих в нее. Про-

гноз осуществляется путем сравнения $C_{п.вод}$ с установленной для данного вещества предельно допустимой концентрацией $C_{пдк}$. Если значение $C_{п.вод}$ меньше $C_{пдк}$, то прогноз благоприятен и разбавления сточных вод достаточно. В противном случае, когда $C_{п.вод} > C_{пдк}$, необходимо принять меры по уменьшению концентрации загрязнения (данного вредного вещества) в реке перед расчетным пунктом водопользования за счет проведения следующих мероприятий:

- * уменьшения количества сточных вод, сбрасываемых в водоем;
- * снижения концентрации загрязнения в сточных водах за счет их разбавления чистой водой;
- * снижения концентрации загрязнения в сточных водах либо за счет дополнительных систем очистки, либо совершенствования технологических процессов.

При поступлении со стоком в водный объект нескольких веществ с одинаковым лимитирующим показателем вредности сумма отношений концентрации каждого из веществ в водном объекте ($C_{1п.вод}$, $C_{2п.вод}$, ... $C_{Nп.вод}$) к соответствующим ПДК не должна превышать единицы:

$$\frac{C_{1п.вод}}{C_{1пдк}} + \frac{C_{2п.вод}}{C_{2пдк}} + \dots + \frac{C_{Nп.вод}}{C_{Nпдк}} \leq 1. \quad (3)$$

Если данное условие не выполняется, то в сточной воде должно быть уменьшено содержание одного или нескольких загрязняющих веществ.

3.2. Определение необходимой степени очистки сточных вод от загрязняющего химического вещества

Чтобы определить, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать сточные воды от загрязняющего химического вещества, чтобы на подходе к первым пунктам водопользования степень загрязнения воды не нарушала нормальные условия водопользования и не угрожала здоровью населения,

необходимо определить максимальную концентрацию загрязняющего химического вещества в сточной воде $C_{ндк}$, при которой после сброса стока в реку в речной воде не будет превышен допустимый предел загрязнения, т.е. выполняется условие $C_{п.вод} \leq C_{ндк}$. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$C_{ст.пр} = \frac{\gamma \cdot Q}{q} (C_{ндк} - C_p) + C_{ндк}, \quad (4)$$

где $C_{ндк}$ – предельно допустимая концентрация химического вещества в речной воде.

Величина $C_{ндк}$ определяется по литературным (справочным) данным или на основе специально организуемых исследований, если такие данные отсутствуют.

Значение максимальной концентрации химического вещества в сточной воде $C_{ндк}$, при котором не будут превышены допустимые пределы загрязнения воды в реке, определенное расчетом для нового или существующего объекта и положенное в основу проектирования очистных сооружений, приобретает значение контрольной величины на период эксплуатации этих сооружений и кладется в основу лимита, предельно допустимого для данного объекта, сброса в водоем загрязнений.

Необходимая степень очистки сточных вод от данного химического вещества, %, определяется по формуле

$$\Xi = \frac{C_{ст} - C_{ст.пр}}{C_{ст}} \cdot 100. \quad (5)$$

Величина коэффициента обеспеченности смешения для проточных (незарегулированных) водоемов определяется по методу Фролова–Родзиллера

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q}{q} \beta}. \quad (6)$$

Коэффициент β в уравнении (6) определяется по формуле

$$\beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}, \quad (7)$$

где L – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до места ближайшего пункта водопользования; α – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, который, в свою очередь, определяется по формуле

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{q}}, \quad (8)$$

где E – коэффициент турбулентной диффузии; ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоем; при выпуске у берега он равен 1, при выпуске в стрежень реки он равен 1,5; φ – коэффициент извилистости реки, он равен отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до створа ближайшего пункта водопользования ($L\phi$) к расстоянию до того же пункта по прямой (Ln), т. е.:

$$\varphi = \frac{L\phi}{Ln}. \quad (9) \square$$

Коэффициент турбулентной диффузии, для равнинных рек определяется по формуле

$$E = \frac{V_{ср} \cdot H_{ср}}{200}, \quad (10)$$

где $V_{ср}$ – средняя скорость течения на участке между выпуском сточных вод и створом пункта водопользования; $H_{ср}$ – средняя глубина водоема на том же участке.

3.3. Определение необходимой степени очистки сточных вод от взвешенных веществ

Санитарные требования ограничивают лишь степень увеличения содержания взвешенных веществ в воде водоемов. Поэтому расчетная формула (4) принимает вид

$$C_{ст.пр} = \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1 \right) C_{доб} + C_p, \quad (11)$$

где $C_{доб}$ – допустимое увеличение содержания взвешенных веществ, принимается равным 0,25 мг/л для водоемов рыбохозяйственного назначения и 0,75 мг/л для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Остальные обозначения прежние.

3.4. Определение необходимой степени очистки сточных вод от органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению

Вредные вещества, содержащиеся в промышленных сточных водах, способны подвергаться окислению в природных водах, что связано с потреблением растворенного в воде кислорода. Такими веществами являются преимущественно органические соединения. Перерасход кислорода может приводить к его дефициту в воде и явлению эвтрофикации, которое заключается в бурном развитии в водоеме водорослей и другой водной растительности вследствие загрязнения водоема сточными водами, содержащими органические загрязнения и биогенные вещества (азотные, фосфорные и калийные). Зная химический состав и количество примесей в воде, рассчитывают потребность в кислороде на окисление и определяют степень угрозы эвтрофикации, т. е. устанавливают, насколько опасны те или иные стоки, для того, чтобы ограничить их сток. Для этого используют показатель, называемый «биохимическое потребление кислорода» (БПК), обязатель-

но контролируемый санитарными лабораториями предприятий в сточных, природных и оборотных водах.

БПК – количество кислорода, израсходованное в определенный промежуток времени на аэробное биохимическое окисление (разложение) нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде. БПК определяют для различных отрезков времени, например, за 5 суток (БПК₅), за 20 суток (БПК₂₀), а также независимо от времени – на полное окисление органики (БПК_{полн}). Размерность БПК в миллиграммах O₂/л.

Согласно ГОСТам БПК определяется как количество кислорода, потребляемое при биохимическом окислении содержащихся в воде веществ в аэробных условиях.

Максимально допустимое значение БПК в стоке, сбрасываемом в реку, с учетом биохимического процесса самоочищения воды от органических веществ, уже имеющихся в водоеме выше места выпуска сточных вод, определяют по формуле

$$C_{ст.пр} = \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_{ст} \cdot t}} \left(C_{пр.д} - C_p \cdot 10^{K_p \cdot t} \right) + \frac{C_{пр.д}}{10^{-K_{ст} \cdot t}}, \quad (12)$$

где $C_{ст.пр}$ – концентрация органических веществ (в БПК_{полн}), которая должна быть достигнута в процессе очистки сточных вод; C_p – концентрация органических веществ (в БПК_{полн}) в воде водоема до места выпуска сточных вод; $C_{пр.д}$ – предельно допустимое содержание органических веществ (в БПК_{полн}) в створе ближайшего пункта водопользования; $K_{ст}$ и K_p – константы потребления кислорода соответственно органическими веществами сточных вод и воды реки (при спуске в реку бытовых и ряда промышленных сточных вод эти константы могут быть приняты одинаковыми $K_{ст} = K_p = 0,1$); t – время продвижения воды водоема вместе с разбавленными в ней сточными водами от места выпуска сточных вод до пункта водопользования (в сутках).

$$t = \frac{L_{сп}}{V_{сп}}. \quad (13)$$

Если вычисленная величина $C_{ст.пр}$ (т. е. концентрация сточных вод, при которых выполняются санитарные требования в отношении БПК) окажется меньше, чем БПК сточных вод, намеченных к спуску (или поступающих в водоем), то необходима очистка сточных вод по крайней мере до $C_{ст.пр}$.

3.4. Определение необходимой степени очистки сточных вод от веществ, придающих воде цветность и запах

В случае когда имеются анализы сточных вод с указанием степени разбавления, при которой окраска и запах природных вод исчезают, достаточно сравнения величины разбавления, указанной в анализе, с расчетной величиной разбавления, которое возможно у створа ближайшего пункта водопользования, чтобы решить вопрос необходимости очистки сточных вод в отношении запаха и окраски перед спуском их в водоем.

Расчетная кратность разбавления сточных вод n определяется по формуле

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}, \quad (14)$$

где обозначения прежние.

Если вычисленная величина n (разбавление сточных вод, при которой выполняются санитарные требования в отношении окраски и запаха) окажется меньше, чем кратность разбавления, при которой исчезают окраска и запах и которая определена лабораторными исследованиями, то необходимо либо разбавление сточных вод, либо их дополнительная очистка от загрязнений, обуславливающих цветность и запах воды.

3. Исходные данные для расчетов

В городе К проектируется химический завод. Спуск сточных вод этого предприятия намечается в реку Н ниже границы города. При санитарном обследовании водоема обнаружено, что ниже намеченного спуска сточных вод на расстоянии 5 км находится

населенный пункт И, который использует воду реки Н для питьевых и культурно-бытовых целей.

Данные по составу сточных вод химического завода приведены в прил. 1 для различных вариантов расчета.

Данные по составу воды реки Н выше выпуска сточных вод приведены в прил. 2 для различных вариантов расчета.

Значения предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в речной воде приведены в прил. 3.

Примечания:

1. Выпуск сточных вод проектируется в стрежень реки, поэтому значение коэффициента ξ в уравнении (8) для всех вариантов расчета принимается равным $\xi = 1,5$.

2. Значение коэффициента извилистости реки φ в уравнении (8) для всех вариантов расчета принимается равным $\varphi = 1,0$.

3. Константы потребления кислорода соответственно органическими веществами сточных вод и воды реки в уравнении (12) для всех вариантов расчета принимаются равными

$$K_{ст} = K_p = 0,1.$$

4. Допустимое количество взвешенных веществ, которое можно добавить на каждый литр воды водоема, для всех вариантов расчетов принимается равным $C_{доб} = 0,75$ мг/л.

4. Требования к отчету

Результаты практической работы оформляются в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- * наименование и вариант работы;
- * исходные данные для расчетов;
- * методика расчетов с результатами вычислений;
- * сводная расчетная таблица;
- * общее заключение по результатам работы.

5. Пример расчета

Исходные данные для расчета:

- данные по расходу и составу сточных вод:

- расход сточной воды $q = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$;
- окраска жидкости – бурая, исчезает при разведении 1:15;
- запах сточной жидкости – специфический, исчезает при разведении 1:15;
- хлоридов – 1000 мг/л, сульфатов – 450 мг/л, свинца – 31 мг/л, бензола – 15,1 мг/л, нитрохлорбензола – 0,51 мг/л, цинка – 6,1 мг/л, взвешенных веществ – 50 мг/л, БПК – 190 мг $\text{O}_2/\text{л}$;
- данные по расходу и составу речной воды выше места выпуска в реку сточных вод:
 - расход воды в реке – 60 $\text{м}^3/\text{с}$;
 - средняя скорость течения – 0,3 м/с;
 - средняя глубина – 1,2 м;
 - хлоридов – 100 мг/л, сульфатов – 45 мг/л, свинца – 0,01 мг/л, бензола – 0,01 мг/л, нитрохлорбензола – 0,001 мг/л, цинка – 0,1 мг/л, взвешенных веществ – 1,5 мг/л, БПК – 1,0 мг $\text{O}_2/\text{л}$.

Определение условий спуска сточных вод завода для химических загрязняющих веществ.

Для определения возможности сброса стока в реку необходимо определить концентрацию химических примесей в речной воде у ближайшего пункта водопользования, т.е. у пункта В, и сравнить полученные данные с соответствующими значениями ПДК.

1. Определение коэффициента смешения γ :

1.1. Коэффициент турбулентной диффузии (уравнение 10):

$$E = \frac{V_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{200} = \frac{0,3 \cdot 1,2}{200} = 0,0018 .$$

1.2. Коэффициент α (уравнение 8):

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot 3 \sqrt{\frac{E}{q}} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 3 \sqrt{\frac{0,0018}{0,4}} = 0,248,$$

где $\xi = 1,5$ при выпуске сточных вод в стрежень реки, а $\varphi = 1,0$.

1.3. Коэффициент β (уравнение 7):

$$\alpha \cdot \sqrt[3]{L} = 0,248 \cdot \sqrt[3]{4000} = 3,94.$$

$$\beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}} = e^{-3,94} = 0,0197,$$

где $L = 4000$ м – расстояние от места выпуска сточных вод до створа, расположенного на 1 км выше по течению реки границы пункта В.

1.4. Коэффициент γ (уравнение 6):

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q}{q} \beta} = \frac{1 - 0,0197}{1 + \frac{60}{0,4} \cdot 0,0197} = 0,14.$$

2. Концентрация примесей в речной воде у ближайшего пункта водопользования (уравнение 2):

* хлоридов

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_{р}}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0,4 \cdot 1000 + 0,14 \cdot 60 \cdot 100}{0,4 + 0,14 \cdot 60} = 147,6 \text{ мг/л};$$

* сульфатов

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_{р}}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0,4 \cdot 450 + 0,14 \cdot 60 \cdot 45}{0,4 + 0,14 \cdot 60} = 64,4 \text{ мг/л};$$

* свинца

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_{р}}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0,4 \cdot 31 + 0,14 \cdot 60 \cdot 0,01}{0,4 + 0,14 \cdot 60} = 1,4 \text{ мг/л};$$

* бензола

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_{р}}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0,4 \cdot 15,1 + 0,14 \cdot 60 \cdot 0,01}{0,4 + 0,14 \cdot 60} = 6,1 \text{ мг/л};$$

* нитрохлорбензола

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0,4 \cdot 0,51 + 0,14 \cdot 60 \cdot 0,001}{0,4 + 0,14 \cdot 60} = 0,024 \text{ мг/л};$$

* цинка

$$C_{п.вод} = \frac{q \cdot C_{ст} + \gamma \cdot Q \cdot C_p}{q + \gamma \cdot Q} = \frac{0,4 \cdot 6,0 + 0,14 \cdot 60 \cdot 0,1}{0,4 + 0,14 \cdot 60} = 0,37 \text{ мг/л}.$$

Сравнение полученных значений $C_{п.вод}$ со значениями ПДК для соответствующих примесей.

Если расчетные значения концентрации примеси в речной воде перед первым пунктом водопользования ($C_{п.вод}$) меньше ПДК этой примеси, то санитарные требования по сбросу данной примеси со стоком в реку выполняются, а дополнительная очистка стока этой примеси не требуется.

Если концентрация $C_{п.вод}$ примеси больше соответствующего ПДК, то санитарные требования к сбросу данной примеси со сточными водами не выполняются и необходима дополнительная очистка стока от этой примеси, а следовательно, должна быть определена необходимая степень очистки.

Определение необходимой степени очистки сточных вод от загрязняющих химических веществ.

Определение требуемой степени очистки проводится для тех примесей, концентрация которых в речной воде у ближайшего пункта водопользования превышает ПДК. В рассматриваемом примере такими примесями являются свинец и бензол.

1. Максимально допустимая концентрация примесей в стоке (уравнение 4):

• свинца

$$\begin{aligned} C_{ст.пр} &= \frac{\gamma \cdot Q}{q} (C_{пдк} - C_p) + C_{пдк} = \\ &= \frac{0,14 \cdot 60}{0,4} (0,1 - 0,01) + 0,1 = 20,89 \text{ мг/л}; \end{aligned}$$

- бензола

$$C_{ст.нр} = \frac{\gamma \cdot Q}{q} (C_{ндк} - C_p) + C_{ндк} =$$

$$= \frac{0,14 \cdot 60}{0,4} (0,5 - 0,01) + 0,5 = 10,79 \text{ мг/л.}$$

4. Необходимая степень очистки сточных вод (уравнение 5):

- от свинца

$$\Xi = \frac{C_{ст} - C_{ст.нр}}{C_{ст}} 100 = \frac{31 - 20,89}{31} 100 = 33 \text{ \%};$$

- от бензола

$$\Xi = \frac{C_{ст} - C_{ст.нр}}{C_{ст}} 100 = \frac{15,1 - 10,79}{15,1} 100 = 28 \text{ \%}.$$

Определение условий спуска и необходимой степени очистки сточных вод завода для взвешенных веществ.

Максимальное количество взвешенных веществ, которое может быть сброшено в реку, определяется по уравнению (11):

$$C_{ст.нр.} = \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1 \right) C_{доб} + C_p = \left(\frac{0,14 \cdot 60}{0,4} + 1 \right) 0,75 + 1,5 = 18 \text{ мг/л,}$$

где $C_{доб} = 0,75$ мг/л – допустимое количество взвешенных веществ, которое можно добавить на каждый литр водоема.

Максимально допустимое содержание в стоке взвешенных веществ $C_{ст.нр} = 18$ мг/л меньше фактического содержания, равного 50 мг/л. Следовательно, сточные воды перед сбросом в реку должны подвергаться очистке от взвешенных веществ. Степень очистки должна составлять:

$$\Xi = \frac{C_{ст} - C_{ст.нр}}{C_{ст}} \cdot 100 = \frac{50 - 18}{50} 100 = 64 \text{ \%} .$$

Определение условий сброса и необходимой степени очистки сточных вод завода от органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению.

Для определения возможности сброса в реку органических веществ со сточными водами необходимо определить *БПК* речной воды у ближайшего пункта водопользования, т. е. у пункта В, и сравнить полученное значение с соответствующим *ПДК*. Если расчетное значение *БПК* речной воды больше *ПДК*, то санитарные требования к сбросу органических веществ со сточными водами не выполняются и необходима дополнительная очистка стока от органических примесей, для чего должна быть определена необходимая степень очистки.

1. Время продвижения воды водоема вместе с разбавленными в ней сточными водами от места выпуска сточных вод до пункта водопользования (уравнение 13):

$$t = \frac{L_{cp}}{V_{cp}} = \frac{4000}{0,3 \cdot 3600} \cong 4 \text{ ч, принято равным } 0,17 \text{ сут.}$$

2. Максимальное значение *БПК* сточных вод (уравнение 12):

- значение выражения

$$10^{-K_{cm} \cdot t} = 10^{-K_p \cdot t} = 10^{-0,1 \cdot 0,17} = 1,04;$$

- значение *БПК*

$$\begin{aligned} C_{ст.пр.} &= \frac{\gamma \cdot Q}{q \cdot 10^{-K_{cm} \cdot t}} \left(C_{пр.д} - C_p \cdot 10^{K_p \cdot t} \right) + \frac{C_{пр.д}}{10^{-K_{cm} \cdot t}} = \\ &= \frac{0,14 \cdot 60}{0,4 \cdot 1,04} (6 - 1,6 \cdot 1,04) + \frac{6}{1,04} = 93,22 \text{ мг/л,} \end{aligned}$$

где константы скорости окисления органических веществ в сточных водах и в речной воде приняты равными $K_{cm} = K_p = 0,1$.

Максимально допустимое *БПК* сточных вод $C_{ст.пр} = 93,22$ мг/л меньше фактического *БПК* сточных вод, равного 190 мг/л. Следовательно, сточные воды перед сбросом в реку должны подвергаться очистке от органических загрязнений. Степень очистки должна составлять:

$$\Xi = \frac{C_{ст} - C_{ст.пр}}{C_{ст}} 100 = \frac{190 - 93,22}{190} 100 = 50,9 \%$$

Определение условий спуска и необходимой степени очистки сточных вод для веществ, придающих цветность и запах.

Для определения условий спуска в реку со сточными водами веществ, придающих воде цветность и запах, необходимо определить расчетное значение степени разбавления стока речной водой, которое возможно у створа ближайшего пункта водопользования, и сравнить полученное значение с экспериментально определенной степенью разбавления, при которой исчезают окраска и запах природных вод. Если расчетное значение разбавления стока меньше экспериментального, то санитарные требования по сбросу в реку веществ, придающих воде цветность и запах, не выполняются. В этом случае необходима очистка сточных вод от примесей, придающих воде цветность и запах.

Расчетная кратность разбавления сточных вод (уравнение 14):

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q} = \frac{0,14 \cdot 60 + 0,4}{0,4} = 22.$$

Расчетное значение n (разбавление сточных вод, при которых выполняются санитарные требования в отношении окраски и запаха) больше кратности разбавления сточных вод, равной 1:15, при которой исчезают окраска и запах, определенные лабораторными исследованиями. Следовательно, очистка стока от веществ, придающих воде цветность и запах, не требуется.

Общее заключение

На основании проведенных расчетов по определению условий спуска сточных вод проектируемого химического завода для данных расчетных пунктов водопользования можно сделать вывод: сточные воды перед спуском в водоем должны подвергаться очистке в отношении взвешенных веществ и органических веществ, подвергаемых биохимическому окислению. Кроме того, необходимо обезвреживание сточных вод в отношении свинца и бензола.

СВОДНАЯ РАСЧЕТНАЯ ТАБЛИЦА

Показатели загрязнения	Единицы измерения	Состав и свойства речной воды		Состав и свойства сточных вод		Требуемая степень очистки стоков
		в расчетном створе	ПДК	фактическое значение	максимально допустимое значение	
Хлориды	мг/л	147,6	500	1000	> 1000	–
Сульфаты	мг/л	64,4	350	450	> 450	–
Свинец	мг/л	1,4	0,1	31	20,89	33,0
Бензол	мг/л	6,1	0,5	15,1	10,79	28,0
Нитрохлорбензол	мг/л	0,024	0,05	0,51	> 0,51	–
Цинк	мг/л	0,37	1,0	6,1	> 6,1	–
БПК	мг/л		6,0	190	93,22	50,9
Взвешенные вещества	мг/л	–	–	50	18	64,0
Цветность	разбавление		–	1:15	1:22	–
Запах	разбавление		–	1:15	1:22	–

6. Контрольные вопросы

1. Какие водоемы являются загрязненными?
2. Что является критериями загрязнения воды?
3. Какой показатель является экологическим стандартом, оценивающим санитарное состояние водных объектов?
4. Какое основное требование предъявляется к качеству воды в водных объектах?

5. В каких местах устанавливаются нормативы состава и свойств воды водных объектов, которые должны быть обеспечены при спуске в них сточных вод?

6. На каком расстоянии от пункта водопользования устанавливаются нормативные требования к качеству воды на проточных водоемах (реках)?

7. Какие производственные сточные воды запрещается сбрасывать в водные объекты?

8. Решение каких задач предусматривает контроль и управление качеством воды в водных объектах?

9. Как определяется соответствие условий сброса сточных вод в водный объект санитарным требованиям?

10. В каком случае условия сброса сточных вод в водоем соответствуют санитарным условиям?

11. Какие меры должны быть приняты при несоответствии условий сброса сточных вод в водоем санитарным требованиям?

12. За счет проведения каких мероприятий может быть снижена концентрация загрязнения в реке?

13. Содержание каких химических веществ в воде и какие свойства воды характеризует показатель, называемый биохимическим потреблением кислорода (БПК)?

14. Как определяется необходимая степень очистки сточных вод от загрязнений, содержание которых в сточных водах, выбрасываемых в водоем, не соответствует санитарным требованиям?

Список рекомендуемой литературы

1. Голицын, А. Н. Основы промышленной экологии: учебник. – Москва: ИПРО, 2007. – 240 с.

2. Кирпатовский, И. П. Охрана природы: справочник. – Москва: Химия, 2008. – 376 с.

3. Новиков, Ю. В. Экология, окружающая среда и человек: учеб. пособие. – Москва: ФАИР – ПРЕСС, 2007. – 320 с.

4. Охрана окружающей среды: учеб. для вузов / сост.: А. С. Степановских. – Москва: ЮНИТИ – ДАНА, 2007. – 559 с.

5. Семин, В. А. Основы рационального водопользования и охраны водной среды: учеб. пособие. – Москва: Высш. шк., 2011. – 320 с.

6. Челноков, А. А. Основы промышленной экологии: учеб. пособие / А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко. – Москва: Высш. шк., 2011. – 343 с.

7. Яковлев, С. В. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С. В. Яковлев, А. Я. Карелин. – Москва: Стройиздат, 2010. – 511 с.

Данные для расчета: расход и состав воды в реке

Номер варианта	Расход воды, м ³ /с	Скорость течения, м/с	Глубина реки, м	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Свинец, мг/л	Бензол, мг/л	Нитро-хлорбензол, мг/л	Цинк, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	БПК, мг/л
1	61	0,31	1,21	100	50	0,010	0,01	0,001	0,10	1,5	1,0
2	62	0,32	1,22	120	60	0,011	0,02	0,002	0,12	2,0	1,2
3	63	0,33	1,23	130	70	0,012	0,03	0,003	0,14	2,5	1,4
4	64	0,34	1,24	140	80	0,013	0,04	0,004	0,16	3,0	1,6
5	65	0,35	1,25	150	90	0,014	0,05	0,005	0,18	3,5	1,8
6	66	0,36	1,26	160	100	0,015	0,06	0,006	0,20	4,0	2,0
7	67	0,37	1,27	170	110	0,016	0,07	0,007	0,22	4,5	2,2
8	68	0,38	1,28	180	120	0,017	0,08	0,008	0,24	5,0	2,4
9	69	0,39	2,29	190	130	0,018	0,09	0,009	0,26	5,5	2,6
10	70	0,40	1,30	200	140	0,019	0,10	0,010	0,28	6,0	2,8
11	71	0,41	1,31	210	150	0,020	0,11	0,011	0,30	6,5	3,0
12	72	0,42	1,32	220	160	0,021	0,12	0,012	0,32	7,0	3,2
13	73	0,43	1,33	230	170	0,022	0,13	0,013	0,34	7,5	3,4
14	74	0,44	1,34	240	180	0,023	0,14	0,014	0,36	8,0	3,6
15	75	0,45	1,35	250	190	0,024	0,15	0,015	0,38	8,5	3,8
16	76	0,46	1,36	260	200	0,025	0,16	0,016	0,40	9,0	4,0
17	77	0,47	1,37	270	210	0,026	0,17	0,017	0,42	9,5	4,2
18	78	0,48	1,38	280	220	0,027	0,18	0,018	0,44	10,0	4,4
19	79	0,49	1,39	290	230	0,028	0,19	0,019	0,46	10,5	4,6
20	80	0,50	1,40	300	240	0,029	0,20	0,020	0,48	11,0	4,8
21	81	0,51	1,41	310	250	0,030	0,21	0,021	0,50	11,5	5,0
22	82	0,52	1,42	320	260	0,031	0,22	0,022	0,52	12,0	5,2
23	83	0,53	1,43	330	270	0,032	0,23	0,023	0,54	12,5	5,4
24	84	0,54	1,44	340	280	0,033	0,24	0,024	0,56	13,0	5,6
25	85	0,55	1,45	350	290	0,034	0,25	0,025	0,58	13,5	5,8

Данные для расчета: расход и состав производственных сточных вод

Номер расчета	Расход, м ³ /с	Хлориды, мг/л	Сульфаты, мг/л	Свинец, мг/л	Бензол, мг/л	Нитрохлорбензол, мг/л	Цинк, мг/л	БПК, мг/л	Взвешенные вещества, мг/л	Кратность разбавления, при которой исчезает запах	Кратность разбавления, при которой исчезает цветность
1	0,41	1000	500	35	15	0,30	6,0	190	50	10	10
2	0,42	1100	600	36	16	0,35	6,5	200	55	10	10
3	0,43	1200	700	37	17	0,40	7,0	210	60	10	10
4	0,44	1300	800	38	18	0,45	7,5	220	65	10	10
5	0,45	1400	900	39	19	0,50	8,0	230	70	10	10
6	0,46	1500	1000	40	20	0,55	8,5	240	75	11	11
7	0,47	1600	1100	41	21	0,60	9,0	250	80	11	11
8	0,48	1700	1200	42	22	0,65	9,5	260	85	11	11
9	0,49	1800	1300	43	23	0,70	10,0	270	90	11	11
10	0,50	1900	1400	44	24	0,75	10,5	280	95	11	11
11	0,51	2000	1500	45	25	0,80	11,0	290	100	12	12
12	0,52	2100	1600	46	26	0,85	11,5	300	105	12	12
13	0,53	2200	1700	47	27	0,90	12,0	310	110	12	12
14	0,54	2300	1800	48	28	0,95	12,5	320	115	12	12
15	0,55	2400	1900	49	29	1,00	13,0	330	120	12	12
16	0,56	2500	2000	50	30	1,05	13,5	340	125	13	12
17	0,57	2600	2100	51	31	1,10	14,0	350	130	13	13
18	0,58	2700	2200	52	32	1,15	14,5	360	135	13	13
19	0,59	2800	2300	53	33	1,20	15,0	370	140	13	13
20	0,60	2900	2400	54	34	1,25	15,5	380	145	13	13
21	0,61	3000	2500	55	35	1,30	16,0	390	150	14	13
22	0,62	3100	2600	56	36	1,35	16,5	400	155	14	14
23	0,63	3200	2700	57	37	1,40	17,0	410	160	14	14
24	0,64	3300	2800	58	38	1,45	17,5	420	165	14	14
25	0,65	3400	2900	59	39	1,50	18,0	430	170	14	14

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде
водных объектов
хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения

Наименование загрязнения	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л
Хлориды		500
Сульфаты		350
Свинец (Pb ²⁺)	Санитарно-токсикологический	0,1
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5
Нитрохлорбензол	Санитарно-токсикологический	0,05
Цинк	Общесанитарный	1,0
БПК		6,0

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ (РАСЧЕТ) ДОПУСТИМОСТИ СБРОСА СТОЧНЫХ ВОД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ГОРОДСКУЮ КАНАЛИЗАЦИЮ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с нормированием деятельности промышленных предприятий, связанной со сбросом сточных вод в городскую канализацию. Сточные воды промышленных предприятий после их полной или частичной очистки содержат остаточные количества нерастворенных и растворенных загрязнений. После сброса в городскую канализацию производственные сточные воды в смеси с бытовыми стоками поступают на городские очистные сооружения. Значительное загрязнение производственных сточных вод может привести к нарушению работы городских очистных сооружений, а, следовательно, к загрязнению водоема, в который сбрасывается смесь очищенных городских и производственных стоков.

Для обеспечения условий эффективной работы городских очистных сооружений и сохранения качества воды поверхностных водоемов разработаны расчетные методы определения соответствия условий сброса сточных вод в городскую канализацию санитарным нормам.

Студенты по нижеприведенной методике определяют, до какой степени следует очищать, обезвреживать или обеззараживать производственные сточные воды, чтобы после их сброса в городскую канализацию, смесь городских и производственных сточных вод не нарушала эффективной работы городских очистных сооружений.

2. Теоретические положения

При расположении промышленных предприятий в городах или вблизи них, а также при решении о совместной очистке сточных вод группы промышленных предприятий и близлежащего

жилого массива загрязненные производственные сточные воды могут сбрасываться в городскую водоотводящую сеть. Очистка смеси бытовых и производственных сточных вод в этом случае осуществляется на единых очистных сооружениях. В связи с тем, что в сточных водах промышленных предприятий могут содержаться специфические загрязнения, их спуск в городскую водоотводящую сеть ограничен комплексом требований, установленных «Правилами приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов» (М., АКХ, 2004).

Производственные сточные воды, подлежащие сбросу в городскую канализацию и очистке совместно с бытовыми сточными водами населенного пункта, **не должны:**

- * превышать расходы сточных вод и содержание взвешенных, всплывающих веществ, установленные для конкретного промышленного предприятия;
- * нарушать работу сетей и сооружений;
- * содержать вещества, которые способны засорять трубы канализационной сети или отлагаться на стенках труб;
- * оказывать разрушающее действие на материал труб и элементы сооружений канализации;
- * содержать горючие примеси и растворенные газообразные вещества, способные образовывать взрывоопасные смеси в канализационных сетях и сооружениях;
- * содержать вредные вещества в концентрациях, препятствующих биологической очистке сточных вод или сбросу их в водоем (с учетом эффективности очистки);
- * иметь температуру выше 40 °С;
- * иметь рН ниже 6,5 и выше 9,0;
- * содержать вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) в воде водоемов соответствующего вида водопользования;
- * содержать опасные бактериальные загрязнения;
- * иметь ХПК, превышающую БПК_{полн} более чем в 1,5 раза.

Запрещается спускать в городскую канализацию концентрированные маточные и кубовые растворы.

Производственные сточные воды, не удовлетворяющие указанным условиям, а также содержащие вещества, не удаляемые на городских очистных сооружениях, и вещества, для которых в настоящее время отсутствуют данные об эффективности их удаления, должны подвергаться на промышленных предприятиях очистке до концентрации, которая с учетом разбавления в городской канализации и воде водоема обеспечит в пунктах водопользования качество воды, соответствующее требованиям «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Органы ЖКХ совместно с комитетом по охране окружающей среды и органами санитарно-эпидемиологической службы должны требовать от всех промышленных предприятий максимального сокращения сброса производственных сточных вод в городскую канализацию за счет применения рациональных технологических процессов, частичного или полного водооборота, повторного использования сточных вод, извлечения и использования в них ценных веществ.

3. Методика определения соответствия условий спуска сточных вод в городскую канализацию

Методика имеет целью обеспечение устойчивых качественных показателей работы городских очистных сооружений, предупреждение и устранение загрязнения городскими сточными водами водных объектов, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, культурно-бытовых нужд населения и рыбохозяйственных целей. Она предназначена для использования органами жилищно-коммунального хозяйства, которые по согласованию с комитетом по охране окружающей среды и органами санитарно-эпидемиологической службы дают разрешение на сброс промышленных стоков в городскую канализацию.

Допустимая концентрация загрязняющих веществ в очищенном стоке после городских очистных сооружений, сбрасываемом в водоем, определяется условием, что концентрации загрязнений в речной воде не должны превышать их ПДК в створе, расположенном на водотоках (реках) в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хо-

зяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т. д.), а на непроточных водоемах и водохранилищах – в одном километре в обе стороны от пункта водопользования. Решение этой задачи осуществляется по уравнению

$$C_{oc} = (n-1)(C_{ндк} - C_v) + C_{ндк}, \quad (1)$$

где $C_{ндк}$ – ПДК загрязняющего вещества в воде водоема, в который осуществляется сброс городских очищенных сточных вод, мг/л; C_v – фактическая концентрация того же вещества в воде водного объекта до сброса в него городских очищенных сточных вод, мг/л; n – кратность разбавления очищенных сточных вод в расчетном створе водного объекта (реки), расположенном в одном километре выше ближайшего по течению пункта хозяйственно-питьевого водопользования.

Кратность разбавления очищенных сточных вод речной водой n в расчетном створе определяется по формуле

$$n = \frac{\gamma \cdot Q_p + Q_{oc}}{Q_{oc}}, \quad (2)$$

где Q_p – расход воды в реке, м³/с; Q_{oc} – расход городских очищенных сточных вод, сбрасываемых в реку, м³/с; γ – коэффициент смешения сточных вод с водой реки в расчетном створе.

Величина Q_{oc} определяется по уравнению

$$Q_{oc} = Q_{псв} + Q_{гсв}, \quad (3)$$

где $Q_{псв}$ – расход производственных сточных вод промышленного предприятия, сбрасываемых в городскую канализацию, м³/с; $Q_{гсв}$ – расход городских (бытовых) сточных вод, поступающих на городские очистные сооружения, м³/с.

Величина коэффициента обеспеченности смешения γ для проточных (незарегулированных) водоемов определяется по методу Фролова–Родзиллера

$$\gamma = \frac{1-\beta}{1+\frac{Qp}{Qoc}\beta} . \quad (4)$$

Коэффициент β определяется по уравнению

$$\beta = e^{-\alpha\sqrt[3]{L}} , \quad (5)$$

где L – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до расчетного створа водного объекта расположенного в одном километре выше ближайшего по течению пункта хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, α – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения, определяется по формуле

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{Qoc}} , \quad (6)$$

где ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска сточных вод в водоем; при выпуске у берега он равен 1, при выпуске в стрежень реки он равен 1,5; φ – коэффициент извилистости реки, он равен отношению расстояния по фарватеру от места выпуска сточных вод до створа ближайшего пункта водопользования ($L\varphi$) к расстоянию до того же пункта по прямой (L):

$$\varphi = \frac{L\varphi}{L} . \quad (7)$$

E – коэффициент турбулентной диффузии, который для равнинных рек определяется по формуле

$$E = \frac{v_{ср} \cdot H_{ср}}{200} , \quad (8)$$

где $v_{ср}$ – средняя скорость течения на участке между выпуском сточных вод и створом пункта водопользования, м/с; $H_{ср}$ – средняя глубина водоема на том же участке, м.

Допустимая концентрация загрязнений в смеси бытовых и промышленных сточных вод, поступающей на городские очистные сооружения

$$C_{см} = \frac{100 \cdot C_{ос}}{100 - A}, \quad (9)$$

где A – эффективность удаления загрязнения на городских очистных сооружениях, %.

Величина расчетного показателя загрязнения смеси бытовых и производственных сточных вод $C_{см}$, определенная расчетом, приобретает значение контрольной величины на период эксплуатации городских очистных сооружений и кладется в основу лимита – предельно допустимого для данного предприятия сброса в городскую канализацию загрязнения.

Допустимая концентрация загрязнений в промышленных сточных водах, сбрасываемых в городскую канализацию:

$$C_{д.псв} = \frac{C_{см} \cdot (Q_{гсв} + Q_{псв}) - C_{гсв} \cdot Q_{гсв}}{Q_{псв}}, \quad (10)$$

где $C_{гсв}$ – содержание загрязнений в городских сточных водах, мг/л.

Если полученное значение допустимого содержания загрязнений $C_{д.псв}$ в производственном стоке меньше фактического значения $C_{псв}$, т. е. выполняется условие $C_{д.псв} < C_{псв}$, то условия сброса производственных сточных вод в городскую канализацию соответствуют санитарным требованиям. Если $C_{д.псв} > C_{псв}$, то санитарные требования к сбросу сточных вод в канализацию не выполняются и необходима их предварительная очистка.

Эффективность очистки производственных сточных вод перед сбросом в канализацию определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_{псв} - C_{д.псв}}{C_{псв}} \cdot 100. \quad (11)$$

4. Условия практической работы

В городе К проектируется химический завод. Спуск сточных вод в количестве с этого предприятия намечается в городскую канализацию. В эту же канализацию поступают городские сточные воды города К. Смесь городских и промышленных сточных вод поступает на городские очистные сооружения, где подвергается биологической очистке. Очищенный сток сбрасывается в реку Н ниже границы города. При санитарном обследовании водоема обнаружено, что ниже намеченного спуска сточных вод на расстоянии 5 км находится населенный пункт В, который использует воду реки Н для питьевых целей и культурно-бытовых целей.

Данные по составу сточных вод химического завода приведены в приложении 1 для различных вариантов расчета.

Данные по составу воды реки Н выше выпуска сточных вод приведены в приложении 2 для различных вариантов расчета.

Примечания:

1. Выпуск очищенных сточных вод проектируется в стрелу реки, поэтому значение коэффициента ξ в уравнении (8) для всех вариантов расчета принимается равным $\xi = 1,5$.

2. Значение коэффициента извилистости реки φ в уравнении (8) для всех вариантов расчета принимается равным $\varphi = 1,0$;

5. Требования к отчету

Результаты практической работы должны быть оформлены в виде отчета, в котором должны быть изложены:

- * наименование и вариант работы;
- * исходные данные для расчетов;
- * методика расчетов с результатами вычислений;

- * сводная расчетная таблица;
- * общее заключение по результатам работы.

6. Пример расчета

Исходные данные для расчета:

- расход сточных вод завода (производственных сточных вод) $Q_{псв} = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход городских сточных вод $Q_{гсв} = 6 \text{ м}^3/\text{с}$;
- расход речной воды в реке $Q_p = 60 \text{ м}^3/\text{с}$;
- средняя скорость течения $v_{ср} = 0,3 \text{ м/с}$;
- средняя глубина реки $H_{ср} = 1,2 \text{ м}$;
- сточные воды завода содержат анилин:
- содержание анилина в сточной воде завода $C_{псв} = 50 \text{ мг/л}$;
- содержание анилина в речной воде выше места выпуска очищенных сточных вод $C_v = 0,01 \text{ мг/л}$;
- содержание анилина в городских сточных водах $C_{гсв} = 3 \text{ мг/л}$;
- ПДК анилина в воде водоема хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения $C_{пдк} = 0,1 \text{ мг/л}$;
- эффективность очистки сточных вод от анилина на городских очистных сооружениях $A = 90 \%$.

Определение допустимой концентрации загрязняющих веществ в очищенном стоке после городских очистных сооружений, сбрасываемом в водоем.

1. Определение коэффициента смешения γ :

1.1. Коэффициент турбулентной диффузии (уравнение 8)

$$E = \frac{v_{ср} \cdot H_{ср}}{200} = \frac{0,3 \cdot 1,2}{200} = 0,0018$$

1.2. Расход очищенных сточных вод, сбрасываемых в реку городскими очистными сооружениями (уравнение 3)

$$Q_{oc} = Q_{ncsv} + Q_{гсв} = 0,4 + 6 = 6,4 \text{ м}^3/\text{с}$$

1.3. Коэффициент α (уравнение 6)

$$\alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{Q_{oc}}} = 1,5 \cdot 1,0 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,0018}{6,4}} = 0,098.$$

где $\xi = 1,5$ при выпуске сточных вод в стрежень реки, а $\varphi = 1,0$.

1.4. Коэффициент β (уравнение 5)

Вычисляется значение выражения в числителе уравнения

$$\alpha \cdot \sqrt[3]{L} = 0,098 \cdot \sqrt[3]{4000} = 1,56$$

Вычисляется значение коэффициента β

$$\beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}} = e^{-1,56} = 0,312$$

где $L = 4000$ м – расстояние от места выпуска сточных вод до створа, расположенного на 1 км выше по течению реки границы пункта В.

1.5. Коэффициент γ (уравнение 4)

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q_p}{Q_{oc}} \beta} = \frac{1 - 0,312}{1 + \frac{60}{6,4} \cdot 0,312} = 0,173$$

Определение кратности разбавления очищенных сточных вод речной водой (уравнение 2)

$$n = \frac{\gamma \cdot Q_p + Q_{oc}}{Q_{oc}} = \frac{0,173 \cdot 60 + 6,4}{6,4} = 2,62$$

Допустимая концентрация примеси в очищенном стоке, сбрасываемом в реку после очистных сооружений (уравнение 1):

$$\begin{aligned} C_{oc} &= (n - 1)(C_{ндк} - C_v) + C_{ндк} = \\ &= (2,62 - 1)(0,1 - 0,01) + 0,1 = 0,25 \text{ мг/л} \end{aligned}$$

Допустимая концентрация загрязнений в смеси бытовых и промышленных сточных вод, поступающей на городские очистные сооружения (уравнение 9):

$$C_{см} = \frac{100 \cdot C_{oc}}{100 - A} = \frac{100 \cdot 0,25}{100 - 90} = 2,5 \text{ мг/л}$$

Допустимая концентрация загрязнений в промышленных сточных водах, сбрасываемых в городскую канализацию (уравнение 10):

$$C_{д.псв} = \frac{C_{см} \cdot (Q_{ггс} + Q_{ппс}) - C_{гсв} \cdot Q_{ггс}}{Q_{ппс}} = \frac{2,5(6,0 + 0,4)}{0,4} = 32,5 \text{ мг/дм}^3.$$

Сравнение полученного значения $C_{д.псв}$ с фактическим значением содержания анилина в производственных сточных водах $C_{псв}$.

Фактическое содержание анилина в производственных сточных водах завода составляет $C_{псв} = 50$ мг/л. Расчетное значение допустимого содержания анилина составляет $C_{д.псв} = 32,5$ мг/л, т. е. меньше фактического значения. Следовательно, сброс сточных вод в городскую канализацию с таким содержанием анилина недопустим, так как может нарушить эффективную работу городских очистных сооружений и привести к загрязнению речной воды выше допустимых норм. Поэтому перед сбросом в городскую канализацию производственные сточные воды должны быть подвергнуты дополнительной очистке от анилина. Эффективность очистки должна составлять

$$\varepsilon = \frac{C_{псв} - C_{д.псв}}{C_{псв}} \cdot 100 = \frac{50 - 32,5}{50} \cdot 100 = 35 \%$$

7. Результаты расчетов допустимости сброса сточных вод промышленного предприятия в городскую канализацию

Наименование показателей	Обозначение	Единицы измерения	Значение
1. Загрязнитель			Анилин
2. ПДК анилина	$C_{пдк}$	мг/л	0,1
3. Содержание анилина:			
• в речной воде	C_v	мг/л	0,01
• в городских сточных водах	$C_{гсв}$	мг/л	3,0
• в производственном стоке	$C_{псв}$	мг/л	50
• в очищенном стоке, сбрасываемом в реку	$C_{ос}$	мг/л	0,25
• в смеси городских и производственных сточных вод, направляемой на городские очистные сооружения	$C_{см}$	мг/л	2,5
4. Допустимое содержание анилина в производственном стоке	$C_{д.псв}$	мг/л	32,5
5. Требуемая степень очистки производственного стока от анилина	ε	%	35

Общее заключение

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод: сточные воды перед сбросом в городскую канализацию должны подвергаться очистке.

8. Контрольные вопросы

1. В каких случаях может осуществляться сброс производственных сточных вод в городскую канализацию?

2. К каким последствиям может привести значительное загрязнение производственных сточных вод, сбрасываемых в городскую канализацию?

3. Какие требования, предъявляются к производственным сточным водам, подлежащим сбросу в городскую канализацию?

4. Какие меры применяются к производственным сточным водам, подлежащим сбросу в канализацию, в случае, когда не выполняются предъявляемые к ним требования?

5. До какой концентрации должна осуществляться очистка производственных сточных вод, подлежащих сбросу в городскую канализацию?

6. Как определяется соответствие сброса производственных сточных вод в городскую канализацию?

7. В каком месте по течению реки определяется соответствие условий сброса сточных вод предприятия санитарным требованиям?

8. Какое требование должно выполняться при соответствии условий сброса сточных вод в реку санитарным нормам?

9. Как определяются необходимая степень очистки сточных вод от загрязнений, содержание которых в сточных водах, сбрасываемых в канализацию, не соответствует санитарным требованиям?

Список рекомендуемой литературы

1. Николайкин, Н. И. Экология: учебник для вузов. – Москва: Дрофа, 2008. – 622 с.
2. Стадницкий, Г. В., Родионов, А.И. Основы экологии: учеб. пособие для вузов / Г. В. Стадницкий, А. И. Родионов. – Санкт-Петербург: Химиздат, 2005. – 88 с.
3. Яковлев, С. В. Водоотводящие системы промышленных предприятий / С. В. Яковлев, А. Я. Карелин. – Москва: Изд-во Ассоциации Строительных вузов, 2006. – 704 с.

Приложение 1

ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
«Определение (расчет) допустимости сброса сточных вод
промышленного предприятия в городскую канализацию»

Номер варианта	Расход, м ³ /с				
	городских сточных вод $Q_{гсв}$	производст- венных стоков $Q_{псв}$	речной воды Q_p	скорость воды в реке v_{cp} , м/с	глубина реки H_{cp} , м
1	5,0	0,40	60	0,30	1,20
2	5,2	0,41	64	0,31	1,22
3	5,4	0,42	68	0,32	1,24
4	5,6	0,43	72	0,33	1,26
5	5,8	0,44	76	0,34	1,28
6	6,0	0,45	80	0,35	1,30
7	6,2	0,46	84	0,36	1,32
8	6,4	0,47	88	0,37	1,34
9	6,6	0,48	92	0,38	1,36
10	6,8	0,49	96	0,39	1,38
11	7,0	0,50	100	0,40	1,40
12	7,2	0,51	104	0,41	1,42
13	7,4	0,52	108	0,42	1,44
14	7,6	0,53	112	0,43	1,46
15	7,8	0,54	116	0,44	1,48
16	8,0	0,55	120	0,45	1,50
17	8,2	0,56	124	0,46	1,52
18	8,4	0,57	128	0,47	1,54
19	8,6	0,58	132	0,48	1,56
20	8,8	0,59	136	0,49	1,58
21	9,0	0,60	140	0,50	1,60
22	9,2	0,61	144	0,51	1,62
23	9,4	0,62	148	0,52	1,64
24	9,6	0,63	152	0,53	1,66
25	9,8	0,64	156	0,54	1,68

Приложение 2

**ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ
«Определение (расчет) допустимости сброса сточных вод
промышленного предприятия в городскую канализацию»**

Вариант расчета	Загрязняющее вещество	ПДК, мг/дм ³	Концентрация, мг/л			Эффективность очистки <i>A</i> , %
			в стоке предприятия <i>C_{псв}</i> , мг/дм ³	в городском стоке <i>C_{гсв}</i> , мг/дм ³	в речной воде <i>C_в</i> , мг/дм ³	
1	Анилин	0,1	5	0,2	0,05	90
2	Метанол	3,0	40	0,5	0,1	90
3	Формальдегид	0,05	10	0,01	0,01	80
4	Капролактам	1,0	20	1,0	0,01	90
5	Бутиловый спирт	1,0	50	5,0	0,01	90
6	Бутилацетат	0,1	10	1,0	0,01	40
7	Кадмий	0,01	6	0,003	0,01	60
8	Никель	0,1	10	0,04	0,02	50
9	Свинец	0,1	5	0,03	0,03	50
10	Цинк	1,0	15	0,4	0,3	70
11	Стирол	0,1	8	0,02	0,01	90
12	Фенол	0,01	2	0,002	0,001	90
13	Медь	1,0	14	0,5	0,2	80
14	Хром (Cr ⁶⁺)	0,1	4	0,05	0,03	80
15	Железо (Fe ³⁺)	0,5	10	0,4	0,3	80
16	Анилин	0,1	5	0,2	0,01	90
17	Метанол	3,0	40	0,5	0,1	90
18	Формальдегид	0,05	10	0,1	0,01	80
19	Капролактам	1,0	20	0,2	0,5	90
20	Бутиловый спирт	1,0	50	0,3	0,01	90
21	Бутилацетат	0,1	10	0,03	0,01	80
22	Кадмий	0,01	6	0,003	0,01	60
23	Никель	0,1	10	0,04	0,02	50
24	Свинец	0,1	5	0,03	0,03	50
25	Цинк	1,0	15	0,4	0,3	70

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ СЖИГАНИИ ТОПЛИВА В КОТЛОАГРЕГАТАХ КОТЕЛЬНЫХ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для ознакомления студентов с расчетом выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельных.

2. Теоретические положения

2.1. Выбросы загрязняющих веществ

Бытовые и производственные энергопотребности удовлетворяются следующими видами энергии:

- тепловой (технологические процессы, отопление, кондиционирование воздуха),
- электрической (привод машин, электроаппаратуры, освещение),
- электромагнитной (радиосвязь, телефонная связь, телевидение, приборы).

Наиболее универсальная – электрическая энергия, обеспечивающая потребность в электромагнитной и в значительном количестве в тепловой энергии. До настоящего времени большая часть энергопотребления покрывается за счет непосредственного сжигания органического топлива в печах.

Предприятия, вырабатывающие электроэнергию на базе органического топлива, называются *тепловыми электростанциями* (ТЭС). При сжигании топлива химическая энергия превращается в тепловую энергию пара, которая затем в паровой турбине переходит в механическую энергию, а турбогенератор делает ее уже электрической. Тепловой КПД обычной ТЭС весьма низкий – 37–39 %. Почти 2/3 тепловой энергии и остатков бывшего топлива в буквальном смысле вылетают в трубу, нанося вред окружающей

среде.

На производство электроэнергии тепловыми электростанциями расходуется менее четверти всех добываемых горючих ископаемых, остальная часть расходуется в основном на получение промышленной и бытовой тепловой энергии. Предприятия, вырабатывающие как электрическую, так и тепловую энергию, называются *теплоэлектроцентралями* (ТЭЦ). Электрическая энергия ТЭЦ подается в электросеть, а тепловая – в теплопроводы.

При сжигании органического топлива в топках промышленных и коммунальных котлоагрегатах и теплогенераторах производится тепловая энергия (водяной пар или горячая вода на отопление или горячее водоснабжение). Котельные установки, предназначенные для снабжения паром предприятий, принято называть *производственными* котельными; в случае, когда котельная вырабатывает пар и нагревает воду для предприятия и нужд отопления, ее называют *производственно-отопительной*; и когда котельная установка сооружается лишь для потребностей отопления и горячего водоснабжения, ее называют *отопительной*. Представленные котельные могут быть различной мощности: различают котельные с паропроизводительностью до 30 т/ч и выше 30 т/ч.

Тепловые электростанции и теплоэлектроцентрали, вырабатывающие электрическую и тепловую энергию на базе сжигания органических видов топлива, оказывают значительное отрицательное воздействие на окружающую среду. С дымовыми газами электростанций в воздушный бассейн выбрасывается большое число твердых и газообразных загрязнителей, среди которых такие вредные вещества как *зола, оксиды углерода, серы и азота*.

Помимо этого, в воздушный бассейн попадает огромное количество *диоксида углерода и водяных паров*.

Объемы вредных выбросов ТЭС в атмосферу для примера можно характеризовать данными материального баланса угольной ТЭС мощностью 2400 МВт, работающей на угле типа донецкого антрацитового штыба.

На такой ТЭС в час сжигается до 1060 т угля (калорийностью порядка 22,7 МДж/кг, зольностью 23 %, сернистостью 1,7 %), из топок котлов удаляется 34,5 т/ч шлака и из бункеров

электрофильтров (очищающих дымовые газы от золы на 99 %) – 193,5 т /ч уловленной золы. Уловленная зола и шлак в количестве 228 т/ч попадают в золоотвал электростанции, засоряя и загромождая огромные территории. При этом часовой выброс дымовых газов составляет около 8 млн. м³, содержащих 2350 т углекислого газа, 251 т водяных паров, 34 т сернистого ангидрида, 9,3 т оксидов азота, 2 т летучей золы (при эффективности золоуловителей 99 %).

При сжигании твердого, жидкого и газообразного топлива вся его масса превращается в отходы, причем количество продуктов сгорания в несколько раз превышает массу использованного топлива за счет включения азота и кислорода (в 5 раз – при сжигании газа, в 4 раза – угля).

Существенное влияние на состав образующихся вредных веществ при сжигании топлива оказывают: 1) его вид; 2) режим горения.

На тепловых электростанциях используется твердое, жидкое и газообразное топливо.

В качестве *твердого топлива* в теплоэнергетике используют угли (бурые, каменные, антрацитовый штыб), горючие сланцы и торф.

Горючая часть топлива включает органическую, состоящую из углерода, водорода, кислорода, органической серы, и неорганическую части (в состав горючей части топлива ряда месторождений входит пиритная сера FeS₂).

Негорючая (минеральная) часть топлива состоит из влаги и золы. Основная часть минеральной составляющей топлива переходит в процессе сжигания в летучую золу, уносимую дымовыми газами. Другая часть в зависимости от конструкции топки и физических особенностей минеральной составляющей топлива может превращаться в шлак.

Зольность отечественных углей колеблется в широких пределах (10–55 %). Соответственно изменяется и запыленность дымовых газов, достигая для высокозольных углей 60–70 г/м³.

Химический состав золы твердого топлива достаточно разнообразен. Обычно зола состоит из *оксидов кремния, алюминия, титана, калия, натрия, железа, кальция, магния*. Кальций в золе

может присутствовать в виде свободного *оксида*, а также в составе *силикатов, сульфатов* и других соединений.

Более детальные анализы минеральной части твердых топлив показывают, что в золе в небольших количествах могут быть и другие элементы, например, *германий, бор, мышьяк, ванадий, марганец, цинк, уран, серебро, ртуть, фтор, хлор*. Микропримеси перечисленных элементов распределяются в различных по размерам частиц фракциях летучей золы неравномерно, и обычно их содержание увеличивается с уменьшением размеров этих частиц.

В составе золы твердых видов топлива могут присутствовать радиоактивные изотопы калия, урана и бария. Эти выбросы практически не влияют на радиационную обстановку в районе ТЭС, хотя их общее количество может превышать выбросы радиоактивных аэрозолей на АЭС той же мощности.

Твердое топливо может содержать серу в следующих формах: колчедана Fe_2S и пирита FeS_2 , в составе молекул органической части топлива и в виде сульфатов в минеральной части. Соединения серы в результате горения превращаются в оксиды серы, причем около 99 % составляет сернистый ангидрид SO_2 .

Сернистость углей в зависимости от месторождения составляет 0,3–6,0 %. Сернистость горючих сланцев достигает 1,4–1,7 %, торфа – 0,1 %.

В качестве *жидкого топлива* в теплоэнергетике применяются мазут, сланцевое масло, дизельное топливо.

В состав золы мазута входят пентаоксид ванадия (V_2O_5), а также Ni_2O_3 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO и другие оксиды. Зольность мазута не превышает 0,3 %. При полном его сгорании содержание твердых частиц в дымовых газах составляет около $0,1 \text{ г/м}^3$, однако это значение резко возрастает в период очистки поверхностей нагрева котлов от наружных отложений. В жидком топливе отсутствует пиритная сера (FeS_2). Сера в мазуте находится преимущественно в виде органических соединений, элементарной серы и сероводорода. Ее содержание зависит от сернистости нефти, из которой он получен.

В мазуте, сжигаемом в котельных и на ТЭЦ, содержится много сернистых соединений. После его сгорания образуется ди-

оксид серы, являющийся причиной выпадения так называемых кислотных дождей. Предотвратить вредное воздействие кислоты на здоровье людей, жизнь животных и растительный мир, особенно при сверхнормативной ее концентрации, можно при введении эффективных технологических схем по обессериванию мазутов. При переработке высокосернистой нефти только 5–15 % серы переходит в дистилляционные продукты; остальная часть серы остается в мазуте, сжигание которого в больших количествах на установках НПЗ и крупных ТЭЦ, расположенных вблизи них, связано с большой концентрацией сернистых соединений в отходящих дымовых газах.

Топочные мазуты в зависимости от содержания в них серы подразделяются на малосернистые – содержание серы $S^p < 0,5 \%$, сернистые $S^p = 0,5–2,0 \%$ и высокосернистые $S^p > 2,0 \%$.

Дизельное топливо по содержанию серы делится на две группы: первая – до 0,2 % и вторая – до 0,5 %. В сланцевом масле содержание серы не более 1 %.

Газообразное топливо представляет собой наиболее «чистое» органическое топливо, так как при его полном сгорании из токсичных веществ образуются только оксиды азота. При неполном сгорании в выбросах присутствует оксид углерода (СО).

ТЭС на природном газе значительно экологически чище угольных, мазутных и сланцевых, но нельзя забывать о вреде, который наносит природе добыча газа и прокладка тысячекилометровых трубопроводов, особенно в северных районах страны, где сосредоточены месторождения газа (ущерб тайге, тундре, оленеводству).

Среди загрязняющих веществ, характерных для объектов газовой промышленности, обычно выделяют сероводород H_2S . Природные газы могут быть бессернистыми или содержать значительные количества сероводорода. Добыча и переработка сероводородсодержащих газов, токсичность и летучесть компонентов которых выше, чем у нефти, сопровождается выделением больших количеств H_2S в атмосферу и является более опасной по загрязнению воздуха и других экологических объектов по сравнению с природным газом, свободным от сероводорода. В процессе переработки газов, содержащих H_2S , происходит разрушение и

износ оборудования, в результате чего выделяются в окружающую среду в опасных объемах сероводород и сопутствующие ему токсичные сернистые, азотные и другие соединения.

Природные газы различаются содержанием сероводорода. Например, природные газы Оренбургского месторождения содержат 4-6 % сероводорода, астраханского – 25 %. В Канаде эксплуатируются газовые месторождения с содержанием сероводорода до 50 %. Газы нефтепереработки могут содержать от 0,5 до 15 % сероводорода.

Требования к степени очистки зависят от назначения газа. При очистке газа, выбрасываемого в атмосферу, содержание сероводорода должно соответствовать ПДК. При очистке технологических газов содержание сероводорода регламентируется требованиями процессов дальнейшей переработки. Сероводород, выделяемый при очистке, перерабатывают в элементарную серу или серную кислоту. Методы очистки от сероводорода можно разделить на две основные группы: сорбционные методы и методы каталитического окисления. Наибольшее распространение получил метод хемосорбции, обеспечивающий степень очистки до 99,9 %.

При сжигании органического топлива различают 4 режима горения:

- нейтральное (стехиометрическое или полное сгорание топлива при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$),
- окислительное (полное сгорание при небольшом избытке воздуха $\alpha > 1$),
- восстановительное (неполное сгорание при недостатке воздуха $\alpha < 1$),
- смешанное (окислительно-восстановительное, характерное для горения твердого топлива при неравномерном взаимодействии поверхностей его частиц с воздухом, когда $\alpha > 1$).

Перечисленные факторы влияют на выброс всех вредных веществ, содержащихся в дымовых газах – золы, оксидов азота, углерода, серы, оксидов ванадия (в основном выделяется пентаоксид ванадия V_2O_5).

Диоксид углерода и пары воды – основные по массе отходы производства – поступают в атмосферу, включаются в природные

циклы и поглощаются растительностью в процессе синтеза органических соединений и регенерации кислорода. В этом качестве эти отходы нельзя признать вредными. Однако масштабы использования органического топлива и соответственно выброса диоксида углерода по некоторым оценкам превышают регенерационные возможности растительного мира. В результате в атмосфере наблюдается возрастание удельного веса диоксида углерода (углекислого газа) CO_2 . Влияние CO_2 выражается не только в токсическом действии на живые организмы, но и в способности поглощать инфракрасные лучи. Одна из основных проблем состоит в том, чтобы определить масштабы и временные рамки климатических изменений в результате накопления тепла за счет CO_2 . До сих пор еще остается неясным, в какой степени климатические изменения связаны с поглощением инфракрасного излучения в атмосфере. Все усилия по определению возможного воздействия на климат при увеличении содержания CO_2 в атмосфере связаны с выяснением дальнейших изменений, которые будут наблюдаться при достижении концентрации диоксида углерода 0,06 % (об.) (в настоящее время в земной атмосфере содержание CO_2 составляет 0,03–0,034 % (об.)). Трудно предсказать, когда будет достигнуто это значение. Если считать, что выбросы CO_2 и в дальнейшем будут постоянно возрастать, то эта концентрация будет достигнута около 2050 г. Если расходование углерода сохранится на современном уровне, то установление концентрации CO_2 в атмосфере на уровне 0,06 % (об.) можно ожидать только к 2200 г. Если же удастся постоянно сокращать потребление природного топлива, то это состояние наступит около 3000 г.

Проблема обогащения атмосферы диоксидом углерода не должна рассматриваться изолированно, так как в кругообороте CO_2 участвуют и синергические, и антагонистические факторы. К синергическим факторам относится влияние таких газов, как диоксид серы SO_2 , оксид азота (I) N_2O , фторхлоруглеводороды (фреоны), метан CH_4 и озон O_3 . Водяные пары должны быть исключены из этого рассмотрения, так как, несмотря на локальные различия в распределении над поверхностью планеты, их общая доля в атмосфере практически остается постоянной и не вносит заметного вклада в нагревание земной поверхности. Другие газы,

поглощающие ИК-излучение, вносят приблизительно 50 % по сравнению с общим количеством тепла, накапливаемого за счет диоксида углерода. При оценке так называемого парникового эффекта, вызванного деятельностью человека, необходимо учитывать влияние и этого фактора.

Действие пыли и аэрозолей противоположно действию газов, накапливающих тепло, так как первые уменьшают количество солнечного света, падающего на поверхность Земли.

Недавно учеными было установлено, что углекислый газ, выбрасываемый в больших количествах ТЭС, интенсивно разрушает и озоновую оболочку Земли.

Зола, оксиды серы, азота и многие другие компоненты дымовых газов являются вредными веществами, превышение концентрации которых над санитарными нормами в воздушном бассейне недопустимо.

Количество *твердых веществ* ($\text{ПДК}_{\text{м.р.}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$), выбрасываемых в атмосферу, определяется зольностью топлива, полной сгорания горючей массы, глубиной золоочистки.

При горении сера, присутствующая в органическом топливе, превращается в *диоксид серы* ($\text{ПДК}_{\text{м.р.}} = 0,5 \text{ мг/м}^3$), количество которого определяется сернистостью используемого топлива. Наибольшую сернистость имеют топлива европейской части (подмосковные и украинские бурые угли, донецкий, кизеловский, инский каменные угли, эстонские горючие сланцы, мазуты и нефти Татарии и Башкирии). Сибирские угли имеют небольшое содержание серы. Бессернистым топливом является природный газ большинства месторождений, за исключением Оренбургского, месторождений Средней Азии и нижней Волги.

Проблема загрязнения атмосферы сернистым ангидридом приобретает еще большую остроту в связи с трансграничным переносом примесей. Потoki сернистого ангидрида, измеряемые миллионами тонн в год, пересекают государственные границы, особенно на территории Европы и Северной Америки. В наиболее неблагоприятном положении оказались страны, расположенные на Востоке и Северо-Востоке Европы, в связи с преобладанием западных потоков воздушных масс в этом регионе. Страдают леса и озера Скандинавских стран (Норвегия, Швеция). Так на

территорию Советского Союза ежегодно попадает 5–10 млн. т, а уходит на Запад 1,5–2 млн. т.

Оксиды азота ($\text{ПДК}_{\text{м.р.}} = 0,085 \text{ мг/м}^3$) образуются при горении за счет окисления азота воздуха только при высоких температурах и за счет азота в топливе, находящегося в сложных органических соединениях, входящих в состав угля и в молекулярном состоянии. В оксид азота (II) NO переходит 10–30 % топливного азота. На выходе из дымовой трубы диоксид азота (NO_2) составляет 10–15 %, остальные 85–90 % составляет в основном NO. Далее при движении дымового факела в атмосфере количество диоксида азота увеличивается до 60–70 %. Диоксид азота токсичнее, чем оксид. Если выбросы от автотранспорта производятся на уровне земли, то выбросы энергетических предприятий осуществляются на высоте более 100–300 м. Это способствует не только дальнему переносу примесей, но и попаданию их в верхние слои атмосферы, в частности в озоновый слой, расположенный на высоте 18–26 км.

В результате сложных реакций в диапазоне температур 700–800 °С при недостаточном количестве кислорода, подаваемого в зону горения, в дымовых газах образуется полициклический углеводород *бенз(а)пирен* $\text{C}_{20}\text{H}_{16}$ ($\text{ПДК}_{\text{м.р.}} = 0,1 \text{ мг/100 м}^3$), обладающий канцерогенными свойствами. Агрегатное состояние бенз(а)пирена в дымовых газах – аэрозольное. Канцерогенными веществами являются химические вещества, воздействие которых на человека вызывает рак и другие опухоли.

При неполном сгорании жидкого топлива в дымовых газах образуются крупнодисперсные, липучие частицы сажи, состоящие преимущественно из углерода. Сажа способна адсорбировать бенз(а)пирен, в результате чего ее частицы приобретают канцерогенные свойства.

К вредным воздействиям ТЭС следует отнести и выбросы *теплоты*, приводящие к тепловому загрязнению окружающей среды. Энергетический баланс угольной ТЭС складывается таким образом, что потребителю отдается только 30–35 % энергии, полученной при сжигании топлива. Примерно 10 % теплоты уходит в атмосферу с дымовыми газами, а более 50 % отводится в процессе охлаждения конденсаторов турбин либо водой, забираемой

из рек или водоемов, либо в градирнях. Происходящее при этом тепловое загрязнение водоемов при недостаточности защитных мер способно нарушить условия обитания водной флоры и фауны, привести к развитию в водоемах нежелательных биологических процессов (разрастанию сине-зеленых водорослей и т. п.). Тепловые выбросы ТЭС воздействуют на окружающую среду, меняя микроклимат в районе ее размещения, а при больших концентрациях мощности могут привести к изменению циркуляции воздушных масс, их температуры и влажности.

Таким образом, участие энергетических предприятий (ТЭС, котельных) в загрязнении окружающей среды продуктами сгорания, твердыми отходами и низкопотенциальным теплом значительно.

1.2. Охрана атмосферного воздуха

Загрязнение воздушного бассейна объектами теплоэлектроэнергетики связано в основном с выбросами дымовых газов, образующихся при сжигании органического топлива в котлах электростанций. В связи с этим для снижения вредного воздействия энергетики на воздушный бассейн может быть использовано как минимум три пути:

1) уменьшение количества и улучшение качества органического топлива, сжигаемого для производства электроэнергии и теплоты;

2) подавление образования и улавливание вредных компонентов дымовых газов и сокращение благодаря этому выброса электростанциями вредных веществ в атмосферу;

3) уменьшение концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы.

В результате рассеивания вредных выбросов высокими трубами электростанций, более рационального их размещения, усиления контроля за выбросами и экологическое управление режимами энергетических предприятий с использованием экологически чистых топлив.

Уменьшение количества и улучшение качества сжигаемого топлива

Снижение объема вредных выбросов в атмосферу в первую очередь может быть обеспечено за счет сокращения количества и улучшения качества сжигаемого топлива.

Глобальным направлением в этой области является всемерное *повышение коэффициента полезного действия* (КПД) электростанций и соответствующего снижения удельных расходов топлива.

Для усиления этого процесса необходимо не только все более совершенствовать оборудование, но и интенсифицировать демонтаж и реконструкцию устаревшего оборудования, доля которого в энергосистемах страны с каждым годом увеличивается.

Основное новое направление в повышении КПД топливоиспользования на электростанциях в настоящее время связывается с развитием парогазовых установок (ПГУ). Как известно, достигнутый в настоящее время КПД тепловых электростанций находится на уровне, близком к 40 %. Отечественные и зарубежные оценки показывают, что при сжигании природного газа КПД ПГУ может быть доведен до 50–56 %, т. е. экономия топлива и соответственно снижение выбросов при использовании таких установок могут составить 27,5–40 % по сравнению с обычными ТЭС.

Важным природоохранным мероприятием является и *повышение качества используемого топлива*. С позиций охраны воздушного бассейна преимущества имеют те виды топлива, которые содержат меньше нежелательных примесей, в первую очередь золы, серы и азота. Поэтому во избежание излишнего загрязнения воздушного бассейна преимущество по возможности должно отдаваться малозольным и малосернистым топливам. Наиболее чистым органическим топливом является природный газ. При его сжигании не выделяются твердые частицы и практически отсутствуют выбросы сернистых соединений.

В связи с этим переориентация газомазутных электростанций на сжигание преимущественно природного газа и сокращение доли высокосернистого мазута может привести к не менее ощутимому результату, чем установка на электростанциях, сжи-

гающих высокосернистые топлива, дорогостоящих сероочистных сооружений.

Отечественные топочные мазуты вырабатываются в основном из сернистой нефти и содержат до 3,5 % серы. Концентрация серы в продуктах сгорания таких мазутов недопустимо велика, что особенно неблагоприятно при расположении ТЭС вблизи или в черте городов со значительным фоном загрязнения атмосферы. По имеющимся оценкам для мазутных ТЭС наиболее целесообразным путем сокращения выбросов диоксида серы с экономической и социальной точек зрения является обогащение топлива в процессе его производства на нефтеперерабатывающих заводах со снижением содержания серы до 1 % и менее. Народно-хозяйственные затраты в этом случае оказываются в 1,3–2 раза ниже, чем при установке на электростанциях сероочистных сооружений. При этом упрощается эксплуатация электростанций и возрастает надежность электро- и теплоснабжения потребителей.

Дополнительного уменьшения выбросов оксидов серы можно достичь повышением доли использования малосернистых твердых топлив.

С экологической точки зрения важное значение имеют *обогащение и переработка твердого топлива*, повышающие его качества, в том числе снижающие содержание в нем золы и серы. Расчеты показывают, что при снижении зольности 1 млн. т угля на 1 % можно сократить выброс золы примерно на 10 тыс. т.

За рубежом, особенно в США и ФРГ, осуществляются *газификация* твердого топлива и получение на этой базе транспортабельного газообразного топлива с высокой удельной теплотой сгорания.

Получение энергетического газа из твердого топлива представляет интерес и для нашей страны, например, в связи с освоением месторождений углей Канско-Ачинского бассейна. Среди методов газификации твердого топлива представляет интерес *термохимический способ* переработки топлива на электростанциях, позволяющий получить очищенный газ для сжигания в котлах и в виде побочных продуктов серу, бензол, толуол и др. Создание оптимальной технологии переработки топлива по этому методу позволит получить при его реализации в энергетике дополни-

тельный экономический эффект за счет извлечения побочной продукции.

Методы подавления и улавливания вредных компонентов дымовых газов на электростанциях

Для охраны воздушного бассейна наиболее важными являются мероприятия, сокращающие выбросы с дымовыми газами электростанций твердых частиц (золы), оксидов серы и азота.

Количество твердых частиц золы и недожога топлива (под недожогом топлива имеется в виду механический недожог, т. е. твердые частицы несгоревшего топлива), образующихся в топках котлов и уносимых из топки дымовыми газами, пропорционально количеству сжигаемого топлива, его зольности и степени шлакоулавливания. Последняя составляет 5–10 % при твердом и 15–30 % при жидком шлакоудалении. Для котлов с механизированными слоевыми топками этот показатель значительно выше 80 %.

Количество летучей золы, выбрасываемой в атмосферу энергетическими установками, определяется эффективностью очистки газов в золоуловителях, устанавливаемых за котлами. В нашей стране и за рубежом взят курс на максимально возможную очистку газов от золы. Например, в Англии предусматривается очистка дымовых газов от золы на 99,2, а в ФРГ на 99,5 %. У нас принято, что КПД золоуловителей должен быть для электростанций, сжигающих зольные топлива, – 99,5 %.

По принципам действия золоуловители разнообразны: электрофильтры, мокрые инерционные, сухие инерционные.

Наиболее дешевы *мокрые золоуловители*. Ими оснащена половина электростанций страны. Такие аппараты относительно компактны, работают устойчиво, обеспечивая степень очистки газов 95–97 %. Основные трудности эксплуатации этих аппаратов связаны с износом футеровки, а также с обеспечением надлежащего качества орошающей воды.

Наиболее надежны и удобны в эксплуатации *сухие инерционные* золоуловители. Однако область их применения ограничивается сравнительно низкой эффективностью, особенно для мелкодисперсных частиц.

Несмотря на то, что методы обеспыливания дымовых газов в настоящее время наиболее разработаны, действующие и вновь устанавливаемые аппараты во многих случаях не удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям. В настоящее время средняя по стране эффективность золоочистки находится на уровне 95 %. Новые энергетические котлы оснащаются электрофильтрами эффективностью 99 % и выше.

Большинство применяемых золоуловителей избирательно улавливают относительно крупные фракции золы, тогда как именно в мелких фракциях концентрируются тяжелые металлы и другие токсичные компоненты. Установлено, что по дисперсному составу зола в известной мере копирует угольную пыль, и поэтому степень помола угля непосредственно влияет на очистку газа, так как крупная зола лучше улавливается. Таким образом, уже на этапе топливоподготовки можно предусматривать мероприятия, обеспечивающие снижение выброса золы.

При сжигании мазута дополнительные загрязнители поступают в атмосферу в виде сажи, которые наносят существенный ущерб окружающей среде, поскольку являются носителями кислот и канцерогенов. Поэтому, несмотря на сравнительно небольшое количество выбрасываемой золы, на электростанциях, работающих на мазуте, необходимо применение золоулавливающих установок специальных типов. За рубежом для этих целей используются электрофильтры, сухие инерционные аппараты, скрубберы мокрой очистки и тканевые фильтры с эффективностью улавливания твердых частиц 80–99 %. Для отечественных мазутных котлов имеются специальные золоулавливающие установки (батареи циклоны, электрофильтры и др.) для очистки дымовых газов при высоких температурах (350–400 °С).

Тепловые электростанции, работающие на твердом топливе, складывают свои *золошлаковые отходы* на специально построенных золоотвалах. Строительство золоотвалов требует значительных отводов земель. В настоящее время площадь золоотвалов у нас составляет около 40 тыс. га, запасы золошлаковых отходов, составляющие почти 1,3 млрд. т (ежегодно на ТЭС образуется около 100 млн. т отходов). Золоотвалы представляют определенную опасность для окружающей природной среды, поскольку за-

грязнят почву, грунтовые воды в связи с пылением и инфильтрацией.

Летучая зола отличается повышенным абразивным воздействием на механизмы и силикозным – на организм человека из-за большого количества диоксида кремния.

Особенно неблагоприятно проявляется пыление золоотвалов в районах с большими скоростями ветра. В этих условиях золоотвал может послужить источником загрязнения территории площадью в несколько сот квадратных километров. По этим причинам мероприятия, направленные на уменьшение и нейтрализацию вредного воздействия пыления золоотвалов, важнейшие при их эксплуатации.

Имеются различные способы пылеподавления золоотвалов. Наиболее распространенным является увлажнение их поверхности. В частности, на золоотвалах устраивают дождевание. В особо тяжелых случаях предпринимаются попытки поддержания в секциях золоотвалов более высокого уровня воды путем подачи в них осветленной воды. В тех случаях, когда обводнение золоотвала невозможно, его засыпают привозным грунтом. В целях предотвращения пыления заполненных секций золоотвалов осуществляется их консервация, включающая отсыпку растительного слоя земли, посев смеси луговых трав, подкормку минеральными удобрениями и полив в течение 2 лет до образования сомкнутого травяного покрова. Такого рода консервация выполнена на ряде золоотвалов в центральной полосе России с умеренно влажным климатом, где не требуется полива.

Утилизация золошлаковых отходов в народном хозяйстве – это важное природоохранное мероприятие, приносящее существенный экономический эффект. В то же время утилизация золошлаковых отходов в нашей стране находится на уровне 10 % ежегодных отходов, что совершенно недостаточно. Основными направлениями их использования является: известкование кислых почв – 3,3 млн. т, добавки в бетоны и растворы – 3,2 млн. т, обвалование дамб золоотвалов – 2,6 млн. т и др.

В настоящее время имеются отработанные технологии использования золы и золошлаков для производства различных строительных материалов: бетонов, в том числе ячеистых, глино-

земного керамзита, иглопористого гравия, шлакоблоков и др.

В дальнейшем предполагается увеличить использование отходов для производства строительных материалов (цемента, кирпича), в сельском хозяйстве для известкования кислых почв, а также внедрить новые технологические способы переработки золы и шлака в строительные материалы.

Защита от оксидов серы

Тепловые электростанции вносят существенный вклад в загрязнение воздушного бассейна выбросами диоксида серы.

Диоксид серы и продукты его взаимодействия с другими загрязнителями осаждаются на почву, попадают в водоемы в виде аэрозолей и растворов, которые выпадают с атмосферными осадками (кислотные дожди). В районах расположения крупных ТЭС наблюдается повышенное содержание сульфатов в почвах, в связи с чем снижается их продуктивность. Вредное влияние диоксида серы усиливается при наличии в воздухе оксидов азота, поэтому санитарными нормами введено требование учета суммации концентраций оксидов серы и азота.

Основное количество серы в дымовых газах находится в виде диоксида серы (до 99 %) и только 1 % приходится на триоксид серы. Однако концентрация именно SO_3 в дымовых газах определяет коррозию элементов газозвдушного тракта.

Доля SO_3 в газе снижается с ростом температуры и с уменьшением избытка воздуха в топке. Такое ведение процесса горения возможно при поддержании точного соотношения между количествами топлива и воздуха.

Существует большое количество методов очистки дымовых газов от SO_2 , основанных на селективном поглощении серы различными соединениями. Наиболее экономичные мокрые способы очистки имеют один существенный недостаток – ухудшают способность дымовых газов рассеиваться, в результате чего зачастую концентрация SO_2 в приземном слое электростанции, несмотря на очистку, оказывается выше допустимых норм.

К особенностям сероулавливающих установок электростанций относится их крупномасштабность. Площадь, занимаемая се-

роулавливающими установками, соизмерима с площадью основных сооружений электростанции.

Эксплуатация сероулавливающих установок связана с потреблением значительного количества реагентов (известняка, извести, аммиака и др.) и образованием соответствующего количества отходов сероулавливания, которые могут иметь и товарную ценность. Для улавливания 1 т оксидов серы из дымовых газов электростанций требуется 1,8 т известняка.

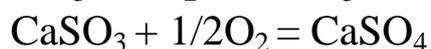
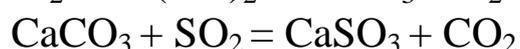
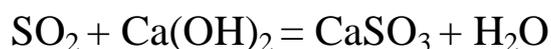
Химическая продукция, получаемая при очистке дымовых газов от диоксида серы, зависит от выбранного технологического процесса. При очистке аммиачно-циклическим методом в качестве готовых продуктов можно получить 100 %-ный сжиженный диоксид серы и сульфат аммония. При использовании магнезитового метода получается промежуточный продукт – кристаллы сульфата магния, которые после их обработки (сушка, обжиг) поступают в сернокислотное производство.

Очистка отходящих газов от диоксида серы экономически выгодна при содержании 0,5–2,5 об. %. Удаление SO₂ из дымовых газов дело трудное, т. к. необходимо переработать огромное количество газа, нагретого до высокой температуры и с малым содержанием диоксида серы 0,1–0,4 об.%. Методы дороги и малоэффективны.

Для очистки газов от сернистых соединений применяют несколько способов: промывку газов водой, известковый, кислотнокаталитический, комбинированный (сочетание кислотнокаталитического и известкового), магнезитовый, аммиачные (мокрый и сухой) методы. Наиболее полно разработаны три метода, основанных на селективном поглощении диоксида серы: аммиачно-циклический, магнезитовый и известковый.

Известковый метод

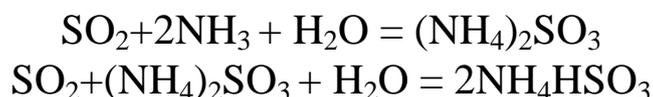
После очистки от пыли газ поступает в скруббер, орошаемый известковым раствором:



Недостаток метода – образование шлама, содержащего сульфит и сульфат кальция, которые плохо растворяются в воде, непрореагировавшую известь или известняк (CaO , CaCO_3). Этот шлам не используют и сбрасывают в отвал. За рубежом разработана технология, позволяющая получать из шлама влажный гипс, который после соответствующей подготовки отвечает требованиям строительной промышленности. Степень очистки этим методом достигает 98 %.

Аммиачный метод

Основан на взаимодействии диоксида серы с водными растворами сульфита аммония.



В зависимости от способа разложения бисульфита аммония различают несколько вариантов этого метода:

- аммиачно-циклический метод – заключается в поглощении диоксида серы растворами сульфит-бисульфит аммония при низкой температуре и выделении его при нагревании, степень извлечения диоксида серы – 90 %;

- аммиачно-автоклавный – сульфит и бисульфит аммония нагревают в автоклаве при 140–160 °С с получением товарных продуктов – серы и сульфата аммония;

- при обработке бисульфита аммония серной кислотой выделяющийся диоксид серы используют для производства серной кислоты - аммиачно-сернокислотный метод;

- при обработке бисульфита аммония азотной (фосфорной) кислотой – аммиачно-азотнокислотный (фосфорнокислотный). При этом образуется диоксид серы, азотные и фосфорные удобрения.

Аммиачные методы относительно экономичны и эффективны, недостаток их – безвозвратные потери дефицитного продукта – аммиака.

Магнезитовый метод

Основан на взаимодействии диоксида серы с суспензией оксида магния:



Сульфит магния отфильтровывают, сушат и разлагают термически (900–1000 °С), при этом получается чистый SO₂, который используется как сырье для получения серной кислоты.

Преимущества метода – степень очистки до 95–96 %, возможность очистки запыленных газов с высокой температурой, отсутствие отходов и сточных вод.

Но способ громоздок, требуются значительные капитальные и эксплуатационные расходы (на регенерацию поглотителя), применяется редко – в основном на установках, которые работают на сернистом топливе.

Аммиачный и магнезитовый методы в отличие от известкового позволяют возвращать реагенты в производство или получать товарные продукты.

Защита от оксидов азота

Образование оксидов азота при высокотемпературном сжигании топлива обусловлено в основном окислением молекулярного азота воздуха непосредственно в зоне горения. При низкотемпературном сжигании топлива увеличивается доля оксидов азота, образовавшихся в результате окисления связанного азота, входящего в состав топлива. Этот процесс происходит легче и быстрее, чем окисление молекулярного азота воздуха при относительно низких температурах, например, для угля при 250–280 °С.

Максимальный выход оксидов азота наблюдается в зоне активного горения. В остальных зонах, где уровень температуры относительно ниже, атмосферный азот практически не окисляется. Это означает, что снижение температуры горения топлива способствует уменьшению содержания оксидов азота в выбросах.

Снижение выбросов оксидов азота с дымовыми газами электростанций обеспечивается режимными и конструктивными ме-

роприятиями, направленными на уменьшение образования газов в топках котлов (двухступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов в зону горения, сжигание топлива при малых избытках воздуха, разработка новых типов горелок и различное конструктивное решение топочных устройств). На выбор оптимального метода снижения содержания оксидов азота в топочной камере существенно влияют мощность котла и вид топлива (газообразное, жидкое, твердое).

На газомазутных энергетических котлах режимными и конструктивными мероприятиями удастся сократить выброс оксидов азота на 35–40 %. При этом увеличение стоимости ТЭС не превышает 2 %. При сжигании твердых топлив применение даже комплекса конструктивных и режимных мероприятий позволяет снизить выброс оксидов азота не более чем на 25 %.

Перспективным способом снижения выбросов оксидов азота является очистка дымовых газов, которая все шире практикуется за рубежом.

Азотоочистительные установки следует использовать лишь после исчерпания возможностей подавления реакций образования оксидов азота сравнительно дешевыми технологическими методами, так как очистка дымовых газов от азота сравнительно дорогое мероприятие.

Наиболее распространенный аммиачно-каталитический метод разложения оксидов азота имеет степень очистки до 85 %. В качестве катализаторов используются сплавы из металлов платиновой группы (палладий, платина) или составы, содержащие никель, хром, цинк, ванадий и др.



Большого эффекта можно достичь при сжигании твердых топлив в топках с «кипящим слоем», а также при газификации топлив и использовании парогазовых установок. При сжигании газифицированных топлив количество оксидов азота может быть снижено на 80–90 %.

Защита от оксида углерода

Химические методы очистки не нашли промышленного применения. Используется в основном дожигание СО до СО₂ при высоком содержании СО, при низком – используют каталитическое окисление.

3. Расчет выброса загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлоагрегатах котельной

Для котлоагрегатов и парогенераторов производительностью до 30 т/ч и выше 30 т/ч существуют различные методики расчета загрязняющих веществ.

Настоящая методика предназначена для расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с газообразными продуктами сгорания при сжигании твердого топлива, мазута и газа в топках промышленных и коммунальных котлоагрегатов и теплогенераторов производительностью до 30 т/ч.

При *сжигании твердого топлива* наряду с основными продуктами сгорания (СО₂, Н₂О) в атмосферу поступают твердые частицы (летучая зола с частицами несгоревшего топлива), оксиды серы, углерода и азота.

При *сжигании мазутов* с дымовыми газами выбрасываются оксиды углерода, серы, азота и мазутная зола (в пересчете на соединения ванадия).

При *сжигании газа* с дымовыми газами выбрасываются диоксид азота, оксид углерода.

Выбросы загрязняющих веществ зависят как от количества и вида топлива, так и от типа котлоагрегата.

Валовый выброс твердых частиц в дымовых газах, т/год

$$M_{\text{т}} = A \cdot m \cdot \chi \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{т}}}{100}\right) \quad (1)$$

где A – зольность топлива, % (табл. 1); m – количество израсходованного топлива в год, т; χ – безразмерный коэффициент, характеризующий долю уносимой с дымовыми газами летучей зо-

лы, зависит от типа топки и топлива (табл. 2); η_T – эффективность золоуловителей, % (табл. 3).

Валовый выброс мазутной золы в пересчете на ванадий, т/год

$$M_v = 10^{-6} \cdot q_v \cdot m \cdot (1 - n_{oc}) \cdot (1 - n_y), \quad (2)$$

где q_v – содержание оксидов ванадия в мазуте, г/т; m – количество израсходованного топлива в год, т; n_{oc} , n_y – коэффициенты оседания и улавливания оксидов ванадия ($n_{oc}=0$, $n_y=0$).

Содержание ванадия в мазуте (г/т) определяется в зависимости от зольности мазута по формуле:

$$q_v = \frac{4000 \times A}{1,8} \quad (3)$$

Валовый выброс оксида углерода, т/год

$$M_{CO} = C_{CO} \cdot m \cdot (1 - \frac{q_4}{100}) \cdot 10^{-3}, \quad (4)$$

где q_4 – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания, % (табл. 4.); m – количество израсходованного топлива, т/год, (тыс. м³/год); C_{CO} – выход оксида углерода при сжигании топлива, кг/т (кг/тыс. м³);

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H, \quad (5)$$

где q_3 – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, % (табл. 4.); R – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленный наличием в продуктах сгорания оксида углерода, $R = 1$ – для твердого топлива, $R = 0,5$ – для газа, $R = 0,65$ – для мазута; Q^H – низшая теплота сгорания натурального топлива (табл. 1.), МДж/кг, МДж/м³.

Валовый выброс оксидов азота в пересчете на диоксид азота, т/год

$$M_{NO_2} = m \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} (1 - \beta) \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где K_{NO_2} – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на один ГДж тепла, кг/ГДж (табл. 5.); β – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений. Для котлов производительностью до 30 т/час $\beta = 0$.

Валовый выброс оксидов серы в пересчете на диоксид серы, т/год (определяется только для твердого и жидкого топлива)

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot m \cdot S \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}) \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

где S – содержание серы в топливе, %, табл. 1.; η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива.

Для эстонских и ленинградских сланцев принимается равной 0,8; остальных сланцев – 0,5; углей Канско-Ачинского бассейна – 0,2 (Березовских – 0,5); торфа – 0,15; экибастузских – 0,02; прочих углей – 0,1; мазута – 0,02; газа – 0.

η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе. Для сухих золоуловителей принимается равной 0.

Расчет предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ (ПДВ) проводится для случая максимального расхода топлива. В общем случае максимальный расход топлива (г/с, л/с) определяется по формуле

$$m' = \frac{P \cdot 10^6}{Q \cdot КПД \cdot 3,6}, \quad (8)$$

где P – суммарная теплопроизводительность котлов, Гкал/ч, Q^H – низшая теплота сгорания топлива, ккал/кг, ккал/м³, КПД – коэффициент полезного действия котлоагрегата.

Для установок, где максимальный расход топлива значительно превышает значение среднегодового расхода (например, для отопительных котельных) за m' принимается расход топлива в самый напряженный месяц (например, январь для отопительных котлов).

Тогда максимально разовый выброс (г/с) определяется по следующим формулам.

Максимально разовый выброс твердых частиц в дымовых

газах, г/с

$$G_T = A \cdot m' \cdot \chi \cdot \left(1 - \frac{\eta_T}{100}\right) \quad (9)$$

Максимально разовый выброс мазутной золы в пересчете на ванадий, г/с

$$G_v = q_v \cdot m' \cdot (1 - n_{oc}) \cdot (1 - n_y) \cdot 10^{-6}, \quad (10)$$

Максимально разовый выброс оксида углерода, г/с

$$G_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H \cdot m' \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 10^{-3} \quad (11)$$

Максимально разовый выброс оксида азота, г/с

$$G_{NO_2} = m' \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} (1 - \beta) \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

Максимально разовый выброс оксида серы, г/с

$$G_{SO_2} = 0,02 \cdot m' \cdot S \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}) \quad (13)$$

Таблица 1

Характеристика топлив (при нормальных условиях)

Наименование топлива	A, %	S, %	Q^H , МДж/кг; МДж/м ³
Угли			
Донецкий бассейн, марки угля(к):			
ДР	28,0	3,5	18,5
Д концентрат	10,0	3,0	23,74
ГР	28,0	3,5	20,47
Подмосковный бассейн (б):			
Б2Р, Б20МСШ	39,0	4,2	9,88
Челябинский бассейн (к):			
Б3	29,9	1,0	14,19
Канско-Ачинский бассейн (б):			

Наименование топлива	A, %	S, %	Q ^н , МДж/кг; МДж/м ³
БР2 (Ирша-Бородинский разрез)	6,7	0,2	15,54
БР2 (Назаровский разрез)	7,3	0,4	13,06
Б2 (Березовское месторождение)	4,7	0,2	15,70
Б1 (Итатское месторождение)	6,8	0,4	12,85
Б1 (Боготольское месторождение)	6,7	0,5	11,84
Иркутский бассейн (к):			
БР (Черемховское месторождение)	27,0	1,0	17,93
ДР (Забитуйское месторождение)	23,0	4,1	20,91
БЗР (Тулунский разрез)	12,6	0,4	16,38
Сахалинский бассейн (к):			
БЗР, БЗ концентрат	22,0	0,4	17,33
ГСШ (Углегорский район)	20,0	0,3	22,86
БЗР (шахта Шебунино)	16,0	0,4	18,17
БЗР концентрат (ш.Горнозаводская)	12,0	0,5	18,92
Южноуральский бассейн	6,6	0,7	9,11
Кузнецкий бассейн (к):			
БР, ДСШ	13,2	0,4	22,93
ГР, 1М, ГСШ	14,3	0,5	25,32
Г (промпродукт)	23,8	0,5	20,07
ССР	14,1	0,6	27,51
ОС (промпродукт)	27,9	0,8	21,84
ОС2ССМ	18,2	0,4	24,78
ТОМСШ	18,6	0,6	25,20
Горючие сланцы			
Эстонсланец	50,5	1,6	11,34
Ленинградсланец	54,2	1,5	
Торф			
Росторф	12,5	0,3	8,12
Другие виды топлива			
Дрова	0,6	-	10,24
Мазут малосернистый	0,1	0,5	40,30
Мазут сернистый	0,1	1,9	39,85
Мазут высокосернистый	0,1	4,1	38,89
Дизельное топливо	0,025	0,3	42,75
Солярное масло	0,02	0,3	42,46
Природный газ из газопроводов			
Саратов-Москва			35,80
Саратов-Горький			36,13
Брянск-Москва			37,30
Уренгой-Помары-Ужгород			41,75

Таблица 2

Значения коэффициента χ в зависимости от типа топки и топлива

Тип топки	Топливо	χ
С неподвижной решеткой и ручным забросом	Бурые и каменные угли	0,0023
	Антрацит АС и АМ	0,0030
	Антрацит АРМ	0,0078
С забрасывателями и цепной решеткой	Бурые и каменные угли	0,0035
Шахтная	Твердое топливо	0,0019
Шахтно-цепная	Горф кусковой	0,0019
Камерные топки	Мазут	0,010
	Легкое жидкое топливо	0,010
Слоевые топки бытовых теплоагрегатов	Дрова	0,0050
	Бурые угли	0,0011
	Каменные угли	0,0011

Таблица 3

Средние эксплуатационные эффективности аппаратов пылеулавливания и газоочистки отходящих газов котельных

Аппарат, установка	Эффективность улавливания, %
Батарейные циклоны типа БЦ-2	85
Батарейные циклоны на базе секции СЭЦ-24	93
Батарейные циклоны типа ЦБР-150У	93-95
Электрофильтры	97-99
Центробежные скрубберы ЦС-БТИ	88-90
Групповые циклоны ЦН-15	85-90
Жалюзийные золоуловители	75-85
Батарейные циклоны типа БЦ-2	85
Батарейные циклоны на базе секции СЭЦ-24	93
Батарейные циклоны типа ЦБР-150У	93-95
Электрофильтры	97-99
Центробежные скрубберы ЦС-БТИ	88-90
Групповые циклоны ЦН-15	85-90
Жалюзийные золоуловители	75-85

Таблица 4

Характеристики топок котлов малой мощности

Тип топки и котла	Топливо	q_3	q_4
С пневмомеханическими забрасывателями и неподвижной решеткой	Антрацит	0,5–1	13,5–10
	Бурые угли	0,5–1	9–7,5
	Каменные угли	0,5–1	5,5–3
С пневмомеханическими забрасывателями и цепной решеткой	Каменные угли	0,5–1	5,5–3
	бурые угли	0,5–1	6,5–4,5
Шахтная топка с наклонной решеткой При неподвижной решетке и ручном забросе топлива	Дрова	2	2
	Горф кусковой	2	2
	Антрацит	1	10
	Бурые угли	2	8
	Каменные угли	2	7

Примечание: большие значения q_4 – при отсутствии средств уменьшения уноса, меньшие – при остром дутье и наличии возврата уноса, а также для котлов производительностью 25–35 т/ч.

Таблица 5

Коэффициент K_{NO_2} для производительности до 30 т/ч
(1 кал = 4,1868 Дж, 1 т/ч = 0,641 Гкал/ч = 743,6 кВт)

Паропроизводительность котлоагрегатов			Значение K_{NO_2}			
			Природный газ, мазут	Антрацит	Бурый уголь	Каменный уголь
т/ч	Гкал/ч	кВт				
0,2	0,13	148,7	0,060	0,092	0,14	0,15
0,25	0,16	185,9	0,065	0,095	0,145	0,155
0,5	0,32	371,8	0,070	0,105	0,15	0,165
0,7	0,45	520,5	0,080	0,11	0,16	0,175
1,0	0,64	743,6	0,085	0,115	0,165	0,18
2,0	1,28	1487	0,090	0,125	0,175	0,2
2,5	1,60	1860	0,095	0,13	0,18	0,21
4,0	2,56	2974	0,098	0,133	0,19	0,215
6,0	3,85	4461	0,100	0,14	0,2	0,22
8,0	5,13	5949	0,102	0,145	0,21	0,23
10,0	6,41	7436	0,103	0,15	0,22	0,235

Паропроизводительность котлоагрегатов			Значение K_{NO_2}			
			Природный газ, мазут	Антрацит	Бурый уголь	Каменный уголь
т/ч	Гкал/ч	кВт				
15,0	9,62	11153	0,105	0,155	0,225	0,245
20,0	12,82	14871	0,109	0,16	0,23	0,25
25,0	16,03	18509	0,110	0,162	0,235	0,255
30,0	19,23	22307	0,115	0,165	0,24	0,26

4. Примеры расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании топлива в котельных

Пример 1

Рассчитать выбросы вредных веществ в атмосферу от отопительной котельной, потребляющей в год 360 т каменного угля Кузбасского бассейна марки ССР (подземный способ добычи).

Теплотехнические характеристики углей:

– низшая теплота сгорания угля $Q^H = 27,42$ МДж/кг (6550 ккал/кг);

– зольность угля (на рабочую массу) $A = 14,1$ %;

– содержание серы (на рабочую массу) $S = 0,6$ %.

Продолжительность отопительного периода 234 дня (5616 ч). Расход угля в самый холодный месяц года (январь) 62 т. Паропроизводительность котлоагрегата 0,6 т/ч. Топка с неподвижной решеткой и ручным забросом. В атмосферу от котельных при сжигании твердого топлива выбрасываются: твердые частицы, диоксиды серы и азота, оксид углерода.

Расход топлива в январе (г/с):

$$m' = 62 \cdot 10^6 / (31 \cdot 24 \cdot 3600) = 23,15 \text{ г/с}$$

Расчет выбросов твердых частиц в дымовых газах

$$M_T = A \cdot m \cdot \chi \cdot \left(1 - \frac{\eta_T}{100}\right)$$

Безразмерный коэффициент χ , для топки с неподвижной решеткой и ручным забросом, равен 0,0023 (табл. 2); при отсутствии золоуловителя $\eta_T=0$.

$$M_T = 360 \cdot 14,1 \cdot 0,0023 \cdot (1-0) = 11,67 \text{ т/год.}$$

$$G_T = 23,15 \cdot 14,1 \cdot 0,0023 \cdot (1-0) = 0,75 \text{ г/с}$$

Расчет выбросов оксидов углерода

$$M_{CO} = C_{CO} \cdot m \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 10^{-3}$$

Потери теплоты вследствие механической и химической неполноты сгорания топлива в данном случае равны $q_4=7\%$, $q_3=2\%$ (табл. 4), $R = 1$ – для твердого топлива.

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H = 2 \cdot 1 \cdot 27,42 = 54,82 \text{ кг/т}$$

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 54,82 \cdot 360 \cdot (1 - 7/100) = 18,36 \text{ т/год}$$

$$G_{CO} = 0,001 \cdot 54,82 \cdot 23,15 \cdot (1 - 7/100) = 1,18 \text{ г/с}$$

Расчет выбросов оксидов азота

$$M_{NO_2} = m \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} \cdot (1-\beta) \cdot 10^{-3},$$

$$K_{NO_2} = 0,17 \text{ кг/Гдж (табл. 5.); } \beta = 0.$$

$$M_{NO_2} = 0,001 \cdot 360 \cdot 27,42 \cdot 0,17 \cdot (1 - 0) = 1,68 \text{ т/год}$$

$$G_{NO_2} = 0,001 \cdot 23,15 \cdot 27,42 \cdot 0,17 \cdot (1 - 0) = 0,11 \text{ г/с}$$

Расчет выбросов оксидов серы

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot m \cdot S \cdot (1-\eta'_{SO_2}) \cdot (1-\eta''_{SO_2}) \cdot 10^{-3},$$

η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлив, для прочих углей равна 0,1. η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе, в данном случае равна 0.

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot 360 \cdot 0,6 \cdot (1 - 0,1)(1 - 0) = 3,89 \text{ т/год}$$

$$G_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot 0,6 \cdot 23,15 \cdot (1 - 0,1)(1 - 0) = 0,25 \text{ г/с}$$

Результаты расчета представлены в табл. 6.

Таблица 6

Выбросы вредных веществ в атмосферу
при сжигании угля в котельной

Ед. изм.	Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу			
	SO ₂	CO	NO ₂	Твердые вещества
т/год	3,89	18,36	1,68	11,67
г/с	0,25	1,18	0,11	0,75

Пример 2

Рассчитать выбросы вредных веществ в атмосферу, удаляемых с дымовыми газами от отопительной котельной, при сжигании 420 т/год мазута со следующими характеристиками:

– низшая теплота сгорания $Q^H = 40,30 \text{ МДж/кг}$ (9641 ккал/кг),

– содержание серы $S = 0,5 \%$,

– зольность $A = 0,1$.

Расход топлива 420 т/год. Продолжительность отопительного периода 234 дня (5616 часов). Расход мазута в самый холодный месяц года (январь) 73 т. Паропроизводительность котлоагрегата 0,5 т/ч. Топка камерная.

В атмосферу от котельных при сжигании мазутов с дымовыми газами выбрасываются: мазутная зола, оксиды углерода, серы и азота.

Расход топлива в январе (г/с):

$$m' = 73 \cdot 10^6 / (31243 \cdot 600) = 26,2 \text{ г/с}$$

Расчет валового выброса мазутной золы в пересчете на ванадий

$$M_v = 10^{-6} \cdot q_v \cdot m \cdot (1 - n_{oc}) \cdot (1 - n_y),$$

Содержание оксидов ванадия в мазуте

$$q_v = 4000 \cdot 0,1 / 1,8 = 222,2 \text{ г/т}$$

n_{oc} , n_y – коэффициенты оседания и улавливания оксидов ванадия ($n_{oc}=0$, $n_y=0$).

$$M_v = 10^{-6} \cdot 222,2 \cdot 420 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 0,093 \text{ т/год}$$

$$G_v = 10^{-6} \cdot 222,2 \cdot 26,2 \cdot (1 - 0) \cdot (1 - 0) = 0,0058 \text{ г/с}$$

Расчет выбросов оксидов углерода

$$M_{CO} = C_{CO} \cdot m \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 10^{-3},$$

Потери теплоты вследствие механической и химической неполноты сгорания топлива в данном случае равны $q_4=0\%$, $q_3=0,5\%$ (табл. 4), $R = 0,65$ – для мазута.

$$C_{CO} = q_3 \cdot R \cdot Q^H = 0,5 \cdot 0,65 \cdot 40,30 = 3,1 \text{ кг/т}$$

$$M_{CO} = 0,001 \cdot 3,1 \cdot 420 \cdot (1 - 0) = 5,5 \text{ т/год}$$

$$G_{CO} = 0,001 \cdot 3,1 \cdot 26,2 \cdot (1 - 0) = 0,34 \text{ г/с}$$

Расчет выбросов оксидов азота

$$M_{NO_2} = m \cdot Q^H \cdot K_{NO_2} \cdot (1 - \beta) \cdot 10^{-3},$$

$K_{NO_2} = 0,07 \text{ кг/ГДж}$ (табл. 5); $\beta = 0$.

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001\,420\,40,30\,0,07 (1 - 0) = 1,185 \text{ т/год}$$

$$G_{\text{NO}_2} = 0,0012\,6,2\,40,30\,0,07 (1 - 0) = 0,074 \text{ г/с}$$

Расчет выбросов оксидов серы

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02 \cdot m \cdot S \cdot (1 - \eta'_{\text{SO}_2}) \cdot (1 - \eta''_{\text{SO}_2}) \cdot 10^{-3},$$

η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива. Для мазута 0,02; η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе. Для сухих золоуловителей принимается равной 0.

$$M_{\text{SO}_2} = 0,02\,420\,0,5 (1 - 0,02)(1 - 0) = 4,12 \text{ т/год}$$

$$G_{\text{SO}_2} = 0,02\,0,5\,26,2 (1 - 0,02)(1 - 0) = 0,26 \text{ г/с}$$

Результаты расчета представлены в табл. 7.

Таблица 7

Выбросы вредных веществ в атмосферу при сжигании мазута

Ед. изм.	Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу			
	SO ₂	CO	NO ₂	Мазутная зола
т/год	4,12	5,5	1,185	0,093
г/с	0,26	0,34	0,074	0,0058

Пример 3

Рассчитать выбросы вредных веществ в атмосферу от отопительной котельной, потребляющей в год 1200 тыс. м³/год газа со следующими характеристиками:

– теплота сгорания $Q^H = 35,7 \text{ МДж/м}^3 (8550 \text{ ккал/м}^3)$.

Продолжительность отопительного периода 234 дня (5616 часов). Расход газа в самый холодный месяц года (январь) 208 тыс. м³. Паропроизводительность котлоагрегата 1,0 т/ч. Топка камерная.

В атмосферу от котельных при сжигании газа с дымовыми газами выбрасываются: диоксиды азота, оксид углерода.

Расход газа в январе (тыс. м³/с):

$$m' = 208 / (31 \cdot 24 \cdot 3600) = 77,7 \cdot 10^{-6} \text{ тыс. м}^3/\text{с} = 77,7 \text{ л/с}$$

Расчет выбросов оксидов углерода

Потери теплоты вследствие механической и химической неполноты сгорания топлива в данном случае равны $q_4=0\%$, $q_3=0,5\%$ (табл. 4), $R=0,5$ – для газа.

$$M_{\text{CO}} = C_{\text{CO}} \cdot m \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot 10^{-3},$$

$$C_{\text{CO}} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 35,7 = 8,93 \text{ кг/тыс. м}^3$$

$$M_{\text{CO}} = 0,001 \cdot 8,93 \cdot 1200 \cdot (1 - 0) = 10,71 \text{ т/год}$$

$$G_{\text{CO}} = 0,001 \cdot 8,93 \cdot 77,7 \cdot (1 - 0) = 0,694 \text{ г/с}$$

Расчет выбросов оксидов азота

$$M_{\text{NO}_2} = m \cdot Q^H \cdot K_{\text{NO}_2} (1 - \beta) \cdot 10^{-3},$$

$$K_{\text{NO}_2} = 0,085 \text{ кг/ГДж (табл. 5.); } \beta = 0.$$

$$M_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot 1200 \cdot 35,7 \cdot 0,085 \cdot (1 - 0) = 3,641 \text{ т/год}$$

$$G_{\text{NO}_2} = 0,001 \cdot 77,7 \cdot 35,7 \cdot 0,085 \cdot (1 - 0) = 0,234 \text{ г/с}$$

Результаты расчета представлены в табл. 8.

Таблица 8

**Выбросы вредных веществ в атмосферу
при сжигании угля в котельной**

Ед. изм.	Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу	
	СО	NO ₂
т/год	10,71	3,641
г/с	0,694	0,234

Пример 4

Рассчитать плату за выбросы вредных веществ в атмосферу от котельной, потребляющей в год 500 т угля Кузбасского бассейна марки ССР (пример 1).

Таблица 9

Расчет платы за выбросы

Наименование вещества	Норматив платы за выброс 1 тонны, р.	Валовый выброс, т/год	Нормативная плата, р./год
Твердые частицы (пыль неорганическая)	0,330	11,67	3,85
Оксид углерода	0,005	18,36	0,09
Диоксид серы	0,330	3,89	1,28
Диоксид азота	0,415	1,68	0,70
Итого			5,92

Плата за допустимые выбросы вредных веществ в атмосферу от стационарных источников (р.) определяется по формуле

$$П = п \cdot 1,44 \cdot 62$$

гд: п – нормативная плата за год в рублях (табл. 9), 1,44 – коэффициент экологической ситуации (в зависимости от региона, состояния почвы, воды); 62 – инфляционный коэффициент по от-

ношению к нормативу платы.

$$П = 5,92 \cdot 1,44 \cdot 62 = 528,54 \text{ р.}$$

Кроме нормативной платы существуют временно-согласованная плата (плата в 5 раз больше нормативной платы) и сверхнормативная плата (плата в 25 раз больше нормативной) за выбросы, превышающие предельно-допустимые.

5. Индивидуальные задания

Исходные данные		
№ варианта	Наименование топлива (угольный бассейн, марка угля)	Расход угля, т
1	Донецкий бассейн (к), ДР	450
2	Донецкий бассейн (к), Д концентрат	480
3	Донецкий бассейн(к), ГР	500
4	Подмосковный бассейн (б), Б2Р, Б20МСШ	520
5	Челябинский бассейн (к), БЗ	550
6	Канско-Ачинский бассейн (б), БР2 (ИРша-Бородинский разрез)	430
7	Канско-Ачинский бассейн (б), БР2 (Назаровский разрез)	620
8	Канско-Ачинский бассейн (б), Б2 (Березовское месторождение)	580
9	Канско-Ачинский бассейн (б), Б1 (Итатское месторождение)	520
10	Канско-Ачинский бассейн (б), Б1 (Боготольское месторождение)	620
11	Иркутский бассейн (к), БР (Черемховское месторождение)	480
12	Иркутский бассейн (к), ДР (Забитуйское месторождение)	630
13	Иркутский бассейн (к), БЗР (Тулунский разрез)	650
14	Сахалинский бассейн (к), БЗР, БЗ концентрат	590
15	Сахалинский бассейн (к), ГСШ (Углегорский район)	470
16	Сахалинский бассейн (к), БЗР (шахта Шебуниноо)	650
17	Сахалинский бассейн (к), БЗР концентрат (ш.Горнозаводская)	540

№ варианта	Наименование топлива (угольный бассейн, марка угля)	Расход угля, т
18	Южноуральский бассейн (к)	560
19	Кузнецкий бассейн (к), БР, ДСШ	710
20	Кузнецкий бассейн (к), ГР, 1М, ГСШ	510
21	Кузнецкий бассейн (к), Г (промпродукт)	480
22	Кузнецкий бассейн (к), ССР	630
23	Кузнецкий бассейн (к), ОС (промпродукт)	550
24	Кузнецкий бассейн (к), ОС2ССМ	540
25	Кузнецкий бассейн (к), ТОМСШ	490
26	Кузнецкий бассейн (к), СС1ССМ	520

Расчеты выполняются для двух случаев: за котлом установлен золоуловитель, золоуловитель отсутствует. Недостающие данные принимаются самостоятельно.

Для каждого вредного вещества записать предельно допустимую концентрацию (максимально разовую) в атмосферном воздухе населенных пунктов.

5. Требования к отчету

При оформлении отчета необходимо указать *цель работы*, представить *исходные данные*. При оформлении расчетной части отчета указать определяемую величину, привести расчетную формулу с пояснениями, выполнить *расчет*. *Выводы* по работе должны содержать расчетные значения определяемых величин с указанием наиболее вредного вещества, а также сравнительную оценку загрязнения атмосферы при наличии золоуловителя и без него.

6. Контрольные вопросы

1. Какие вещества входят в состав выбросов ТЭЦ? От чего зависит состав выбросов?
2. Какие Вы знаете мероприятия по снижению вредного воздействия энергетики на воздушный бассейн?
3. Какую опасность для окружающей среды и здоровья человека представляют золоотвалы? Какие Вы знаете способы пы-

леподавления золоотвалов?

4. Какие виды топлив используются в теплоэнергетике? В чем их преимущества и недостатки?

5. Какое воздействие на окружающую среду оказывает углекислый газ?

Список литературы

1. Роддатис К. Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности / под ред. К. Ф. Роддатиса. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 488 с.

2. Жабо В. В. Охрана окружающей среды на ТЭС и АЭС. – Москва : Энергоатомиздат, 1992. – 240 с.

3. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. – Ленинград : Гидрометеоздат, 1987. – 270 с.

4. Методика испытаний золоулавливающих установок тепловых электростанций и котельных. – Москва : СПО ОРГРЭС, 1991. 130 с.

5. Тищенко Н. Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник. – Москва : Химия, 1991. – 368 с.

6. Методика проведения инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на предприятиях железнодорожного транспорта (расчетным методом). – Москва, 1992. – 162 с.

7. Нормы показателей качества угольной продукции НПК 12-14-0000-01-95 Кузнецкого бассейна, 1995.

8. Инструктивно-методическое указание по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды. – Москва, 1993. – 43 с.

9. Волков Э. П. Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС. – Москва : Энергоатомиздат. 1986.

10. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник / под ред. С. Калверта, Г. М. Инглунда. – Москва : Металлургия, 1988. Ч. I. 760 с.; Ч. II. 711 с.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ УЩЕРБА ОТ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ И ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

1. Цель и содержание работы

Работа предназначена для знакомства студентов с порядком определения размеров ущерба от деградации почв и земель и от загрязнения почв химическими веществами организациями, предприятиями, юридическими и физическими лицами.

2. Общие положения

Методика определения размеров ущерба от деградации и загрязнения земель химическими веществами разработана в соответствии с Законом РФ «Об охране окружающей природной среды» от 10.01.2002 и Постановлением Правительства РФ «Об утверждении Положения о порядке возмещения убытков собственникам земли, землевладельцам, землепользователям, арендаторам и потерь сельскохозяйственного производства» от 28.01.1993 № 77.

Экологический ущерб от ухудшения и разрушения почв и земель под воздействием антропогенных (техногенных) нагрузок выражается главным образом в:

- деградации почв и земель;
- загрязнении земель химическими веществами;
- захлавлении земель несанкционированными свалками, другими видами несанкционированного и нерегламентированного размещения отходов;
- увеличении площадей, отводимых под места размещения отходов.

При определении размеров ущерба используются данные почвенных, агрохимических, геоботанических, почвенно-мелиоративных, геологических и других необходимых обследований.

Деградация почв и земель представляет собой совокупность природных и антропогенных процессов, приводящих к изменению функций почв, количественному и качественному ухудшению их состава и свойств, снижению природно-хозяйственной значимости земель. Деградация почв и земель происходит в результате хозяйственной деятельности в сельском и лесном хозяйстве, строительства и горнодобывающей деятельности, рекреационных нагрузок.

Под *степенью деградации* почв и земель понимается характеристика их состояния, отражающая ухудшение состава и свойств. Крайней степенью деградации является уничтожение почвенного покрова и порча земель.

Выделяются следующие основные типы деградации почв и земель:

- технологическая (эксплуатационная) деградация, в т. ч. нарушение земель, физическая деградация, агроистощение;
- эрозия, в т. ч. водная, ветровая;
- засоление, в т. ч. собственно засоление, осолонцевание;
- заболачивание.

Под *технической деградацией* понимается ухудшение свойств почв, их физического состояния и агрономических характеристик, которое происходит в результате эксплуатационных нагрузок при всех видах землепользования.

Нарушение земель представляет собой механическое разрушение почвенного покрова и обусловлено открытыми и закрытыми разработками полезных ископаемых и торфа, строительными и геологоразведочными работами и др. К нарушенным землям относятся все земли со снятым или перекрытым гумусовым горизонтом и непригодные для использования без предварительного восстановления плодородия, т.е. земли, утратившие первоначальную ценность.

Физическая деградация характеризуется нарушением (деформацией) сложения почв, ухудшением комплекса их физических свойств.

Агроистощение представляет собой потерю почвенного плодородия в результате сельскохозяйственной деятельности.

Эрозия представляет собой разрушение почвенного покрова под действием поверхностного стока и ветра с последующим перемещением и переотложением почвенного материала.

Водная эрозия представляет собой разрушение почвенного покрова под действием поверхностного стока. Выделяется плоскостная и линейная эрозия. Плоскостная эрозия проявляется в виде смывости поверхностных горизонтов (слоев) почв. Линейная (овражная) эрозия – размыв почв и подстилающих пород, проявляющихся в виде формирования различного рода промоин и оврагов.

Под *ветровой эрозией* понимается захват и перенос частиц поверхностных слоев почв ветровыми потоками, приводящий к разрушению почвенного покрова.

Засоление почв и земель представляет собой процесс накопления водорастворимых солей, включая и накопление в почвенном поглощающем комплексе ионов натрия и магния.

Собственно засоление – это избыточное накопление водорастворимых солей и возможное изменение среды вследствие изменения их катионно-анионного состава.

Осолонцевание представляет собой приобретение почвой специфических свойств, обусловленное вхождением ионов натрия и магния в почвенный поглощающий комплекс.

Под *заболачиванием* понимается изменение водного режима, выражающееся в длительном переувлажнении, подтоплении и затоплении почв и земель.

Дегградация почв и земель характеризуется пятью степенями:

- 0 – недеградированные (ненарушенные);
- 1 – слабодegradированные;
- 2 – среднедеградированные;
- 3 – сильнодеградированные;
- 4 – очень сильно деградированные (разрушенные).

Для оценки степени дегградации почв и земель используются индикаторные показатели, по которым установлены пороговые значения для определения потери природно-хозяйственной значимости земель. К таким показателям относятся: мощность неплодородного наноса (см), глубина провалов, каменистость по-

крытия (%), уменьшение мощности почвенного профиля от исходного (%), уменьшение запасов гумуса в профиле (% от исходного), глубина размывов (см), расчлененность территории оврагами ($\text{км}/\text{км}^2$), содержание токсичных солей в пахотном слое (%), продолжительность затопления (месяцы) и др.

Установление степени деградации почв и земель возможно по любому индикаторному показателю. При наличии двух и более существенных изменений индикаторных показателей оценка степени деградации почв и земель проводится по показателю, устанавливающему максимальную степень.

Ущерб от загрязнения земель определяется:

при производстве загрязнения земель (выбросами и сбросами загрязняющих веществ) – на основе данных обследований земель и лабораторных анализов по сравнению с данными предыдущих обследований и анализов;

при нарушении технологий и регламентов применения пестицидов и других агрохимикатов, несоблюдения природоохранных требований при их хранении, транспортировке и проведении погрузочно-разгрузочных работ, загрязнении земель при авариях, залповых выбросах и сбросах – на основе данных обследований земель и лабораторных анализов;

при захлавлении земель несанкционированными свалками отходов – на основе данных об объеме (массе) отходов и степени их опасности.

Отходы производства по степени воздействия на организм человека делят на 4 класса опасности: 1-й класс – чрезвычайно опасные, 2-й класс – высоко опасные, 3-й класс – умеренно опасные, 4-й класс – малоопасные.

Площади, глубина загрязнения земель и концентрация химических веществ определяются на основании материалов по обследованию земель и лабораторных анализов.

При расчете размеров ущерба от загрязнения земель стоимостные показатели определяются в соответствии с таблицей 1 и уточняются на основе данных государственной статистики об индексации цен.

Коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости на территории РФ (табл. 4) вводятся для учета сум-

марного воздействия, оказываемого загрязняющими веществами на земли.

Средства, взыскиваемые с виновных юридических и физических лиц и возмещение ущерба, нанесенного ими в результате загрязнения земель химическими веществами, рекомендуется использовать для осуществления мероприятий по консервации загрязненных земель, выполнению специальных режимов их использования, восстановлению загрязненных земель, устранению их дальнейшего загрязнения, для возмещения убытков и вреда, причиненного в результате ухудшения качества земель и ограничения их использования, возмещения потерь сельскохозяйственного и лесохозяйственного производства, а также на проведение обследований по выявлению загрязненных земель и лабораторных анализов по определению степени их загрязнения.

3. Расчет платы за ущерб от загрязнения земель химическими веществами

3.1. Размеры ущерба от загрязнения земель определяются исходя из затрат на проведение полного объема работ по очистке загрязненных земель. В случае невозможности оценить указанные затраты, размеры ущерба от загрязнения земель рассчитываются по следующей формуле:

$$P = P_c \times S \times K_v \times K_z \times K_\varepsilon \times K_\varepsilon \times K_u \quad (1),$$

где P – размер платы за ущерб от загрязнения земель одним или несколькими химическими веществами, тыс. р.; P_c – норматив стоимости сельскохозяйственных земель, тыс. р./га, определяемый согласно таблице 1; S – площадь земель, загрязненных химическим веществом, га; K_v – коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению загрязненных сельскохозяйственных земель, определяемый согласно табл. 2; K_z – коэффициент пересчета в зависимости от степени загрязнения земель химическими веществами, определяемый согласно табл. 3; K_ε – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории экономического района, определяемый согласно

табл. 4; K_z – коэффициент пересчета в зависимости от глубины загрязнения земель, определяемый согласно табл. 5; K_u – коэффициент индексации цен.

3.2. Степень загрязнения земель характеризуется пятью уровнями: допустимым (1 уровень), слабым (2 уровень), средним (3 уровень), сильным (4 уровень) и очень сильным (5). Под допустимым уровнем загрязнения понимается содержание в почве химических веществ, не превышающее их предельно допустимых концентраций (ПДК) или ориентировочно допустимых концентраций (ОДК). При допустимом уровне загрязнения коэффициент K_z в формуле 1 приравнивается к 0, тогда $P=0$, следовательно, плата не взимается. Содержание в почве химических веществ, соответствующее различным уровням загрязнения, приведено в таблице 6.

3.3. Размеры ущерба от загрязнения земель несанкционированными свалками отходов определяются по формуле

$$P = Hn \times M \times K_{\text{э}} \times 25 \times K_{\text{в}} \quad (2),$$

где P – то же, что в формуле 1; Hn – норматив платы за захламление земель 1 т (м^3) отходов, р., определяемый согласно табл. 7; M – масса (объем) отхода, т, м^3 ; $K_{\text{э}}$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории экономического района согласно табл. 3; 25 – повышающий коэффициент за загрязнение земель отходами несанкционированных свалок; $K_{\text{в}}$ – то же, что и в формуле 1.

1. Расчет размера ущерба от деградации почв и земель

При проведении обследований по выявлению деградированных почв и земель определяются площади, а также изменение степени их деградации:

а) в качестве исходных материалов используются данные почвенных, агрохимических, почвенно-эрозионных обследований, солевых и других съемок, проведенных предприятиями, организациями и гражданами, имеющими соответствующие лицен-

зии, в сопоставлении с данными предыдущих обследований и съемок;

б) на план землепользования (выкопировку) наносятся контуры угодий в зависимости от изменения степени деградации почв и земель с выделением на них почвенных разновидностей, взятых с почвенной карты;

в) вычисляются площади контуров почвенных разновидностей.

Размер ущерба рассчитывается для каждого контура деградированных почв и земель по формуле

$$Ущ = (Пс \times S \times Kэ \times Kс + Дх \times S \times Kв) \times Kи, \quad (3)$$

где $Ущ$ – размер ущерба от деградации почв и земель, тыс. р.; $Пс$ – норматив стоимости, определяемый согласно табл. 1; S – площадь деградированных почв и земель, га; $Kэ$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории экономического района согласно табл. 3; $Kс$ – коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель, определяемый согласно табл. 8. $Дх$ – годовой доход с единицы площади, тыс. р.; $Kв$ – коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению загрязненных сельскохозяйственных земель, определяемый согласно табл. 2; $Kи$ – коэффициент индексации цен.

Таблица 1

Нормативы стоимости освоения новых земель взамен изымаемых сельскохозяйственных угодий для несельскохозяйственных нужд (по состоянию на 1.11.1992)

Типы и подтипы изымаемых сельскохозяйственных угодий	Норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых с/х угодий, тыс. р./га
<p style="text-align: center;">IX зона</p> <p>Республика Алтай, Алтайский край, Кемеровская, Новосибирская, Омская, Томская и Тюменская области, Ханты-Мансийский,</p>	1238

Типы и подтипы изымаемых сельскохозяйственных угодий	Норматив стоимости освоения новых земель взамен изымаемых с/х угодий, тыс. р./га
Ямало-Ненецкий АО	
1. Черноземы всех подтипов и лугово-черноземных почвы – мощные тучные и среднегумусные; торфяные окультуренные	1427
2. Черноземы всех подтипов и лугово-черноземные почвы – среднемощные тучные и среднегумусные, черноземы мощные эродированные	1287
3. Черноземы всех подтипов и лугово-черноземные почвы – маломощные; темно-серые лесные, старопойменные луговые	1140
4. Черноземы всех подтипов маломощные эродированные и солонцеватые; лугово-черноземные солонцеватые; аллювиально-луговые	951
5. Серые и светло-серые лесные; темно-каштановые эродированные, каштановые, лугово-каштановые; дерновоподзолистые	853
6. Светло-каштановые, каштановые солонцеватые, глубокие солонцы	664
7. Луговые солончаковые глееватые; солонцы средние	615
8. Солонцы мелкие и корковые, солончаки; лугово-болотные; почвы овражно-балочного комплекса	332

Таблица 2.

Значения коэффициента пересчета (K_v) нормативов стоимости сельскохозяйственных земель (P_c) в формуле (1) в зависимости от периода времени по их восстановлению

Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета	Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета
1 год	0,9	8-10 лет	5,6
2 года	1,7	11-15 лет	7,0
3 года	2,5	16-20 лет	8,2

Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета	Продолжительность периода восстановления	Коэффициент пересчета
4 года	3,2	21-25 лет	8,9
5 лет	3,8	26-30 лет	9,3
6-7 лет	4,6	31 и более лет	10,0

Таблица 3

Коэффициенты (K_z) для расчета размеров ущерба в зависимости от степени загрязнения земель химическими веществами

Уровень загрязнения	Степень загрязнения земель	K_z
1	Допустимая	0
2	Слабая	0,3
3	Средняя	0,6
4	Сильная	1,5
5	Очень сильная	2,0

Таблица 4

Коэффициенты ($K_э$) экологической ситуации и экологической значимости территории

Экономические районы РФ	$K_э$
Северный	1,4
Северо-Западный	1,3
Центральный	1,6
Волго-Вятский	1,5
Центрально-Черноземный	2,0
Поволжский	1,9
Северо-Кавказский	1,9
Уральский	1,7
Западно-Сибирский	1,2
Восточно-Сибирский	1,1
Дальневосточный	1,1

Таблица 5.

Коэффициенты (K_z) для расчета ущерба
в зависимости от глубины загрязнения земель

Глубина загрязнения земель, см	Кг
0–20	1,0
0–50	1,3
0–100	1,5
0–150	1,7
0–>150	2,0

Таблица 6.

Показатели уровня загрязнения земель химическими
веществами

Элемент, соединение	ПДК	Содержание (мг/кг), соответствующее уровню загрязнения				
		1 уровень допустимый	2 уро- вень низкий	3 уро- вень средний	4 уро- вень вы- сокий	5 уро- вень очень высокий
Свинец	32	<ПДК	От ПДК до 125	125–250	250–600	>600
Ртуть	2,1	<ПДК	От ПДК до 3	3–5	5–10	>10
Мышьяк	2,0	<ПДК	От ПДК до 20	20–30	30–50	>50
Цинк	23	<ПДК	От ПДК до 500	500– 1500	1500– 3000	>3000
Бензол	0,3	<ПДК	От ПДК до 1	1–3	3–10	>10
Бенз(а)пирен	0,02	<ПДК	От ПДК до 0,1	0,1–0,25	0,25–0,5	>0,5
Толуол	0,3	<ПДК	От ПДК до 10	10–50	50–100	>100
Хром	90	<ПДК	От ПДК до 250	250–500	500–800	>800
Ванадий	150	<ПДК	От ПДК до 225	225–300	300–350	>350
Олово	4,5	<ПДК	От ПДК до 20	20–50	50–300	>300

Элемент, соединение	ПДК	Содержание (мг/кг), соответствующее уровню загрязнения				
		1 уровень допустимый	2 уро- вень низкий	3 уро- вень средний	4 уро- вень вы- сокий	5 уро- вень очень высокий
Фтор	10	<ПДК	От ПДК до 15	15–25	25–50	>50
Стирол	0,1	<ПДК	От ПДК до 5	5–20	20–50	>50
Сернистые соединения	160	<ПДК	От ПДК до 180	180–250	250–380	>380

Таблица 7

Плата за захламление земель несанкционированными свалками
отходов (по состоянию на 12.06.2003)

Виды отходов	Единица измерения	Нормативы платы за размещение отходов, р.
Нетоксичные отходы:		
- добывающей промышленно- сти	т	0,4
- перерабатывающей промыш- ленности	м ³	15,0
- бытовые	м ³	20,0
Токсичные отходы:		
- 1 класс токсичности – чрез- вычайно опасные	т	1739,2
- 2 класс токсичности – высоко опасные	т	745,4
- 3 класс токсичности – уме- ренно опасные	т	497,0
- 4 класс токсичности – мало- опасные	т	248,4

Таблица 8

Коэффициенты пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель (K_c)

Степень деградации почв по данным контрольных обследований	K_c
0	0
1	0,2
2	0,5
3	0,8
4	1,0

2. Исходные данные для расчетов

Определите ущерб от загрязнения почв химическими веществами, несанкционированными свалками отходов и ущерб от деградации почв. Данные для расчетов приведены в таблице 9. Результаты занесите в сводную расчетную таблицу.

3. Контрольные вопросы

1. Дайте понятие деградации земель. Назовите основные типы деградации.
2. Перечислите индикаторные показатели для оценки степени деградации земель.
3. Каков порядок определения ущерба от деградации почв и земель?
4. Как определяется экологический ущерб от загрязнения земель химическими веществами?
5. Каково значение коэффициентов экологической ситуации?

Список рекомендуемой литературы

1. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель. – Москва: Комитет по охране природы, 1994.

2. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (методические указания). М.: Комитет по охране природы, 1993.

3. Постановление Правительства РФ от 12.06.2003 № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления».

4. Постановление Правительства РФ от 28.01.1993 № 77 «Об утверждении Положения о порядке возмещения убытков собственникам земли, землевладельцам, землепользователям, арендаторам и потерь сельскохозяйственного производства».

5. Постановление Правительства РФ от 5.08.1992 № 555 «Об утверждении Положения о порядке консервации деградированных сельскохозяйственных угодий и земель, загрязненных токсичными промышленными отходами и радиоактивными веществами».

6. Распоряжение Администрации Кемеровской области от 17.03.1994 № 228-р «О порядке возмещения убытков собственникам земли, землевладельцам, землепользователям, арендаторам и потерь сельскохозяйственного производства».

7. Федеральный закон РФ от 24.06.1998 № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления».

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА № 1

ПОДГОТОВКА РЕФЕРАТИВНЫХ РАБОТ ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

1. Выбор тематики реферативной работы

Выбор темы реферативной работы осуществляется студентом в соответствии с его желанием, интересами, способностями и с согласия преподавателя, ведущего данный курс. Тема работы выбирается из общего списка, представленного в конце методических указаний. В исключительных случаях, когда у студентов есть материал и наработки по какой-либо экологической проблеме, разрешается выбор свободной темы, но также после ее согласования с преподавателем. Для облегчения выбора темы реферативной работы после названия каждой темы предлагаются пояснение и перечень аспектов, которые должны быть раскрыты при написании работы. Возможно несколько вариантов написания работы:

- выбор и описание точек зрения различных авторов на решение выбранной проблемы. Обязательно указание ссылок на источники;
- выбор и обобщение информации из различных источников по выбранной тематике с поиском общих критериев и личной практической оценкой подобранного материала, среди множества позиций студентом выбирается наиболее объективная и обосновывается;
- глубокое изучение научно-технической литературы по поставленной проблеме с предоставлением объективных выводов и заключений.

2. Работа с литературными источниками

Требуемая для написания реферативной работы научно-техническая литература не исключает использование других дополнительных источников, включая периодическую печать и Интернет. Следует пользоваться научной, теоретической и техниче-

ской литературой, а не научно-популярной.

Считается, что самостоятельная работа выполнена качественно, если при ее написании использовалось не менее трех литературных источников, а текст изложен в сжатой форме с идеями, мыслями студентов, имеющими связь с разрабатываемой темой.

3. Структура реферативной работы

Реферативная работа должна содержать обязательно следующие разделы: содержание, введение, основную часть, состоящую из глав, заключение или выводы, список используемой литературы.

Введение должно содержать цель и задачи, раскрываемые в выбранной теме, возможные пути их решения и предлагаемые результаты.

В основной части раскрывается содержание вопроса, представляются материалы и факты из литературных источников с творческим, практическим подходом к ним. Высказываются и предлагаются новые идеи, предложения, гипотезы для решения проблем по выбранной теме.

Заключение должно содержать обобщающие выводы, положения по переработанной теме.

Анализ литературы должен сопровождаться ссылками на источники, которые вписываются по ходу текста (в квадратных скобках). Список используемой литературы составляется в алфавитном порядке, в соответствии с существующими правилами.

4. Оформление реферативной работы

Реферативная работа оформляется в соответствии с едиными требованиями для такого типа самостоятельных работ на формате

A4. Работа готовится в единственном экземпляре в рукописном, машинописном вариантах или может быть набрана на компьютере. Готовая работа сдается преподавателю, ведущему курс, для предварительной проверки. Если работа выполнена в соответ-

ствии с вышеописанными требованиями, она защищается и остается на кафедре.

Реферативная работа содержит титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение, список используемой литературы. Титульный лист должен содержать: название министерства, название университета, название кафедры, название темы самостоятельной работы, ФИО студента, ФИО преподавателя – руководителя работы, город и год написания.

Общий объем рукописной работы должен составлять не менее 20 страниц с обязательной их нумерацией. Должны быть выполнены все графические требования к оформлению страниц, графиков, диаграмм.

5. Тематика реферативных работ

1. Физические вредные и опасные факторы ОС.
2. Влияние на здоровье человека неблагоприятных факторов.
3. Загрязнение гидросферы.
4. Способы очистки сточных вод.
5. Очистка газовых выбросов в атмосферу от пыли.
6. Переработка и утилизация твердых отходов.
7. Современное общество и его воздействие на биосферу.
8. Научно-технический прогресс и экологические аспекты.
9. Демографические проблемы человеческого общества.
10. Международное значение экологических проблем.
11. Роль нормативно-правовой системы во взаимодействии общества и природы.
12. Источники антропогенного воздействия на природу.
13. Антропогенное воздействие на атмосферу.
14. Загрязнение литосферы.
15. Энергетика – источник жизни и загрязнения биосферы.
16. Экологические последствия радиоактивной опасности.
17. Влияние химической промышленности на экосистемы.
18. Основные пути снижения антропогенной нагрузки на биосферу.
19. Плата за вредное воздействие на биосферу в РФ.

20. Природоохранные органы в РФ.
21. Загрязнение гидросферы Кузбасса.
22. Экологическое воспитание и образование в современном обществе.
23. Основной закон РФ «Об охране окружающей среды».
24. Безотходные производства.
25. Основные понятия инженерной защиты ОС.
26. Классификация загрязнений, поступающих в гидросферу.
27. Загрязнение недр и нарушение ландшафтов при добыче и переработке полезных ископаемых.
28. Методы сокращения негативных последствий, сопутствующих добыче и первичной переработке.

ДОМАШНИЕ ЗАДАНИЯ

Д31: Подготовка к практическим работам № 1, 2. Подготовка к тестированию, повторение лекционного материала. Самостоятельное изучение тем «Химико-технологическая система» «Виды ответственности при нарушении правил пользования природными ресурсами».

Д32: Подготовка к практическим работам № 3, 4. Подготовка к тестированию, повторение лекционного материала. Самостоятельное изучение темы «Методы очистки воздуха от газовых примесей». «Биохимическая очистка сточных вод».

Д33: Подготовка к практическим работам № 5, 6. Подготовка к тестированию, повторение лекционного материала. Самостоятельное изучение темы «Технология водоподготовки для бытовых нужд» «Восстановление нарушенной поверхности земли, восстановление почвенного покрова».

Д34: Подготовка к тестированию, повторение лекционного материала. Самостоятельное изучение темы «Методы восстановления земельных ресурсов с биологическими методами».

ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Промышленная экология как наука. Предмет изучения. Задачи промышленной экологии.

2. Виды техногенного воздействия на окружающую природную среду: разрушение, нарушение, загрязнение.

3. Понятие качества окружающей среды. Критерии качества. Санитарно-гигиенические критерии качества. ПДК и ОБУВ.

4. Общие требования к качеству атмосферного воздуха. Раздельное нормирование качества атмосферного воздуха. Виды ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе.

5. Нормирование качества воды в водных объектах питьевого и культурно-бытового назначения. Показатели (критерии) вредности химического вещества в воде питьевого и культурно-бытового назначения.

6. Правовые основы защиты окружающей среды в Российской Федерации. Объекты окружающей среды, подлежащие правовой защите в Российской Федерации.

7. Меры юридической ответственности за нарушение природоохранного законодательства.

8. Сточные воды их классификация. Производственные сточные воды. Виды производственных сточных вод, источники образования на промышленном предприятии.

9. Природные ресурсы и их классификация.

10. Классификация методов очистки сточных вод по характеру воздействия на загрязняющие вещества и по характеру протекающих процессов.

11. Процессы и оборудование механической очистки сточных вод, химической очистки сточных вод (нейтрализация, окисление и восстановление).

12. Классификация методов очистки отходящих газов и промышленных выбросов в атмосферу.

13. Методы и оборудование для очистки газовых выбросов от пыли. Методы и оборудование для очистки газовых выбросов от газов.

14. Отходы производства, их образование в различных отраслях промышленности Кузбасса.

15. Использование отходов в качестве вторичного сырья. Переработка и утилизация отходов различных отраслей промышленности.

16. Технологии вторичной переработки отходов.

17. Биосфера как одна из оболочек Земли. Границы биосферы. В.И. Вернадский о биосфере. Понятие ноосферы.

18. круговороты веществ. Биогенные элементы. Биогеохимический цикл углерода. Вмешательство человека в биогеохимический цикл углерода.

19. Биогеохимические циклы азота, серы, фосфора. Вмешательство человека в биогеохимические циклы. круговорот воды. Вмешательство человека в круговорот воды.

20. Понятие загрязнения окружающей среды. Виды загрязнений. Источники загрязнений. Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье человека.

21. Понятие экологического мониторинга. Уровни мониторинга. Система мониторинга в России.

22. Мероприятия по комплексному использованию минеральных ресурсов.

23. Методы исследования качественных характеристик земной поверхности, почв, пород.