

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра физической химии

502(07)
Т516

О.К. Токовой

ЭКОЛОГИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ

Учебное пособие

*Допущено учебно-методическим
объединением по образованию в области
металлургии в качестве учебного посо-
бия для студентов высших учебных заве-
дений, обучающихся по направлению
«Металлургия»*

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2015

УДК 502.33(075.8)
Т516

Одобрено
учебно-методической комиссией
физико-металлургического факультета.

Рецензенты:
Ю.А. Агеев, Д.В. Шабуров

Токовой, О.К.

Т 516 Экология для инженеров: учебное пособие / О. К. Токовой. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 230 с.

ISBN 978-5-696-04655-6

Учебное пособие содержит краткое изложение курса «Экология» для инженерных специальностей, а также прикладные экологические задачи и примеры их решения. В пособии изложены методики решения широкого круга инженерных задач, касающихся контроля окружающей среды, техники и технологии защиты среды от промышленного загрязнения, а также ресурсосбережения в промышленности как форме охраны окружающей среды.

Пособие составлено применительно к программам курса по направлениям «Металлургия», «Металловедение и технология материалов», но может быть использовано и для других направлений подготовки инженеров. Пособие охватывает с различной степенью полноты все разделы практической части курса, включенные в направления подготовки инженеров.

УДК 502.33(075.8)

ISBN 978-5-696-04655-6

© Издательский центр ЮУрГУ, 2015

*Памяти моей сестры
Токовой Р. К.
посвящается*

Введение

В пособии представлено краткое изложение курса «Экология» для инженерных специальностей вузов, а также методики решения широкого круга прикладных экологических задач, касающихся контроля атмосферы, вод, отходов, расчета оборудования и эффективности очистки промышленных газов от твердых и газообразных примесей, расчета дымовых труб, приземных концентраций вредных веществ в атмосфере, предельно допустимых выбросов загрязнителей в атмосферу и ресурсосбережения в промышленности.

Практическая часть курса состоит из краткого изложения теоретических сведений и расчетных формул, примера расчета и задач для решения на практических занятиях, а также задания для самостоятельной работы студентов. Подобный круг задач возникает в инженерной практике при решении различных технических проблем.

Использование данного пособия позволит студентам получить определенные практические навыки решения практических задач по всем разделам курса.

Часть 1

Современные проблемы экологии

*Аэродромы, пирсы и перроны,
Леса без птиц, и земли без воды...
Все меньше окружающей природы,
Все больше – окружающей среды.
Р. Рождественский*

Глава 1. Общество и окружающая природная среда

Основные сведения о Земле, воздушной и водной оболочках Земли. Растительный и животный мир. Природные ресурсы и их классификация. Основные понятия экологии. Экосистема и ее структура. Экологические факторы. Антропогенные факторы и их воздействие на биосферу.

1.1. Основные сведения о Земле, воздушной и водной оболочках Земли

Общество и окружающая природная среда – это совокупность природных условий среды обитания и производственной деятельности человека. Под природой понимают комплекс оболочек земли. Наша Земля состоит из ядра и нескольких оболочек (рис.1.1). Их называют **сферами**.

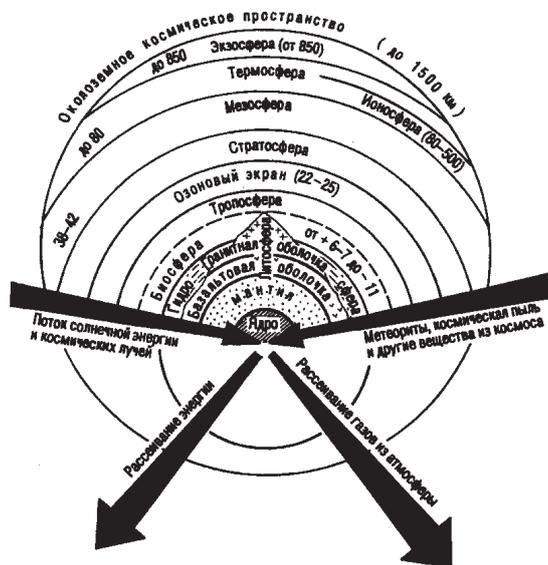


Рис. 1.1. Схема геосфер Земли

Атмосфера. Это воздушная самая легкая оболочка Земли. Ее состав: N_2 – 78,09%; O_2 – 20,95%; Ar – 0,93%; CO_2 – 0,02-0,3%, а также влага и пыль. Содержание влаги в атмосфере не велико, но она оказывает колос-

сальное влияние на все живое на планете. На высоте 10–25 км на границе между тропосферой и стратосферой располагается озоновый слой, препятствующий прохождению коротковолнового излучения.

Гидросфера. Водная оболочка Земли. Совокупность морей, океанов, континентальных вод. Общий объем воды на Земле приблизительно 1,8 млрд. куб. км. Средняя глубина Мирового океана составляет ~4 км, он занимает 71% поверхности земного шара. Большая часть воды соленая. Среднее содержание соли в морской воде составляет 35 г на 1000 г воды, но содержание соли в морской воде сильно отличается в разных морях (Черном, Балтийском, Средиземном или Мертвом). Подсчитано, что общая масса морской соли $4,8 \cdot 10^{16}$ т. Ее хватило бы на образование по всей поверхности Земли слоя в 45 см.

Литосфера. Это твердая оболочка Земли. Толщина литосферы – 40–100 км. Под океанами – меньше, в горных системах – больше. У нижней границы литосферы земная кора приобретает пластичность из-за большого давления и высоких температур и переходит в мантию. В центре планеты находится жидкое ядро. Средний диаметр Земли – 12 742 км.

Биосфера. Это своеобразная воображаемая оболочка Земли, которая объединяет все обитающие на Земле организмы. Все – от бактерий до человека. Академик Вернадский назвал биосферу «зона жизни». Биосфера охватывает несколько геосфер. Живые организмы есть и на Гималаях, и на дне океанов.

В биосфере протекают процессы преобразования веществ в природе. Они называются **кругообороты** веществ. Различают **большой или геологический** и **малый или биологический** кругообороты веществ в природе.

Большой или геологический кругооборот – это обмен химических элементов между океаном и сушей в результате растворения, разрушения горных пород, испарения воды и др. Малый или биологический кругооборот – это циркуляция вещества между растениями, животным миром, микроорганизмами и почвой. Основой его является фотосинтез в растениях, в результате чего неживое вещество превращается в живое, а затем в процессе кругооборота – обратно в неживое.

Подсчитано, что в результате фотосинтеза ежегодно образуется 145 млрд. т кислорода, 100 млрд. т органических веществ, усваивается 200 млрд. т углекислого газа.

1.2. Растительный и животный мир

Верхний слой литосферы называется **почвой**. Почва – источник плодородия. Она кормит мир, где мы живем, 96–97% продуктов питания попадает на стол человека благодаря почве. Почва образуется очень медленно – 1мм/5 лет под воздействием солнечного тепла, воздуха и различного рода организмов. Культурный слой почвы – 300 мм. Для образования тако-

го слоя требуется 1500 лет, а уничтожить слой можно одним движением ковша экскаватора или ножа бульдозера.

Почвы бывают разные: чернозем, краснозем, болотистые почвы и др. До сих пор на Земле есть участки материков и острова, где нет почвы. Они лишены растительности. Нет растительности – нет жизни.

Все живые организмы в биосфере подразделяются на **растения и животных**. **Растения** получают питание для роста благодаря сложным геохимическим процессам и фотосинтезу. **Животные** же способны существовать лишь при наличии готовых органических веществ, выработанных растениями. *Общая масса животных всегда меньше, чем растений.*

Одна из важнейших особенностей животного и растительного миров – это громадная возможность размножения. Проиллюстрируем это двумя примерами. Пример из растительного мира. Из одной семечки мака вырастает коробочка с 300 семян. В следующий вегетационный период из них может вырасти 300 коробочек, в которых будет 300^2 семян, а еще через год 300^3 или 27 млн. семян. Таким образом, через три года из одного семени может быть получено 27 млн. семян. Пример из животного мира. Большая морская особь рыба Луна массой до 500 кг и длиной до 2,5 м за один нерест откладывает 300 млн. икринок. *Природа, при условии выживания, характеризуется невероятными темпами размножения.* Однако в биосфере действует **ограничительный закон**, благодаря которому потенциальная возможность размножения организмов не реализуется, делая возможным существование **500 тыс. видов растений** и около **1,5 млн. видов животных**.

1.3. Основные понятия экологии

Слово «**экология**» образовано из двух греческих слов: «**oikos**» (**дом, жилище**) и «**logos**» (**наука**). Дословный перевод – наука о нашем доме, о нашем жилище. Впервые этот термин использовал немецкий ученый **Эрнст Геккель** в 1886 году, определив **экологию** как область знаний, изучающую экономику природы, т. е. исследование общих взаимоотношений животных с живой и не живой природой. Сейчас **классическая экология** – это наука о взаимоотношениях живых организмов с окружающей средой.

В зависимости от объектов изучения экологию подразделяют на **общую**, которая имеет три раздела (глобальная экология, экология человека и инженерная экология) и **социальную**, которая делится на пять разделов (экологическая экономика, экологическая футурология, экология народонаселения, экологическая урбанистика и правовая экология).

Экология человека – это научная дисциплина, изучающая взаимодействие человека со средой обитания. В отличие от всех других видов живого человек изменяет и приспособливает среду обитания для своих нужд. И эти изменения не всегда идут на пользу природы.

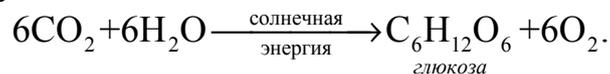
Деятельность человека есть источник жизни, основа его существования. Любые созданные человеком технологии меняют характеристики окружающей среды. Важно, чтобы эти изменения были минимальными и давали возможность восстанавливаться, самоочищаться природе.

Инженерная экология или защита окружающей среды – это комплекс государственных, технологических, юридических и общественных мероприятий, направленных на сохранение здоровья человека. Здоровье человека – это основной критерий состояния окружающей природной среды.

1.4. Экосистема и ее структура

Экология рассматривает взаимодействие живых организмов с окружающей природной средой. Это взаимодействие происходит в рамках определенной системы, которая называется экологической системой или **экосистемой**. **Экосистемой** называется совокупность биологических объектов, взаимодействующих друг с другом и окружающей их средой посредством обмена веществом, энергией и информацией таким образом, что эта система сохраняет устойчивость в течение продолжительного времени. *Совокупность биологических объектов образует биотическую структуру экосистемы. Это растения, животные, бактерии и др.*

Экосистема основана на единстве живого и неживого вещества. Суть этого единства состоит в следующем. Из элементов неживой природы (углекислого газа и воды) под воздействием энергии солнечного излучения в растениях синтезируется изначально первое органическое вещество, составляющее основу всего живого на планете:



Движущей силой в любой материальной системе является энергия. В экосистеме – это энергия Солнца. Земля в год получает от Солнца $2 \cdot 10^{17}$ Вт солнечной энергии ($2 \cdot 10^8$ млрд Вт) или 137 Вт/м². Растения за счет хлорофилла улавливают ее и используют для синтеза глюкозы. Этот процесс называется фотосинтезом.

Таким образом, в растениях кинетическая энергия солнечного излучения преобразуется в потенциальную энергию, запасенную глюкозой. Затем из глюкозы (вместе с другими минеральными элементами питания) уже в животных образуются все ткани живого мира: **белки, углеводы, жиры, ДНК, РНК**, т.е. все органическое вещество планеты.

Так как растения создают органическое вещество из неорганического с помощью энергии окружающей среды, то в экологии их называют **продуцентами**. Виды, потребляющие созданную продуцентами органику как источник вещества и энергии для своей жизнедеятельности, называются **консументами**. Это самые разнообразные организмы – от микроорганизмов до китов.

Консументы подразделяются на 4 группы.

- 1) **Растительоядные животные** – животные, питающиеся непосредственно продуцентами (кролик, корова и др.);
- 2) **Плотоядные животные** (волк, тигр и др.);
- 3) **Всеядные животные.** Это виды, употребляющие в пищу как растения, так и животных (медведь, свинья и др.);
- 4) **Детритофаги.** В экологии мертвую органику называют детрит, а животных, питающихся мертвой органикой – детритофаги. Это грифы, черви, шакалы, муравьи, раки и др.

Малый или биологический кругооборот веществ в природе замыкает еще одна группа живых существ, которая называется **редуценты**. Часть детрита в экосистеме не поедается детритофагами, а разлагается в процессе питания ими **бактерий, грибковой плесени**. Их называют **редуцентами**. Это санитары Земли, они замыкают биологический кругооборот веществ, разлагая органику на исходные составляющие – углекислый газ и воду.

Таким образом, продуценты, консументы, детритофаги и редуценты составляют биотическую структуру экосистемы.

1.5. Экологические факторы

В экосистеме биологические объекты взаимодействуют как между собой, так и с окружающей их средой. Компоненты среды, влияющие на организмы, называются **экологическими факторами**. Выделяют три группы факторов.

1) **Абиотические факторы** – влияние неживой природы на живые организмы. Пример: песчаные бури изменили строение лица монголоидной расы людей.

2) **Биотические факторы** – формы воздействия живых организмов друг на друга. Пример: изменение цвета шкуры зайцев с серой на белую в зимнее время под влиянием хищников (волка, лисы и др.).

3) **Антропогенные факторы** – влияние деятельности человека на окружающую среду. (Антропос – человек, лат., антропоген – последний геологический период от появления человека разумного до сегодняшних дней).

1.6. Природные ресурсы и их классификация

Природные ресурсы – это различные тела и силы природы (уголь, нефть, сила ветра, прибоя и др.). В основу их классификации положено 4 признака.

- 1) **По источникам происхождения:** биологические, минеральные, энергетические.

- 2) **По использованию в качестве производственных ресурсов:** полезные ископаемые, водные ресурсы; фауна, флора, земельный фонд и др.
- 3) **По степени истощаемости:**
- **неисчерпаемые** (энергия ветра, атмосферный воздух, осадки и др.);
 - **исчерпаемые**, в свою очередь, подразделяющиеся на **возобновляемые** (лес, растения, животные) и **не возобновляемые** (минеральные ресурсы – глина, руда, газ и др.).
- 4) **Заменяемые и незаменимые природные ресурсы:**
- **заменяемые** – нефть – уголь – атомная энергия;
 - **незаменимые** – пресная вода.

Природные ресурсы подразделяются на 9 групп:

- 1) **минерально-сырьевые** (или полезные ископаемые), которые в свою очередь делятся на металлические (руда) и не металлические (известняк, поваренная соль, глина, боксит и др.);
- 2) **энергетические** (уголь, нефть, газ, сланцы и др.);
- 3) **водные** (запасы пресной воды);
- 4) **сельскохозяйственные угодья** (пашня, пастбища, сенокосы);
- 5) **лесные ресурсы;**
- 6) **ресурсы животного и растительного миров** (рыбные ресурсы, промысловые виды животных и птиц, морские водоросли, лекарственные растения и др.);
- 7) **средозащитные ресурсы** (парки, сады, лесозащитные полосы и др.);
- 8) **ресурсы особоохраняемых природных территорий** (заповедники, заказники, национальные парки);
- 9) **лечебно-оздоровительные** (минеральные источники, лечебные грязи, горные курорты и др.) и **рекреационные ресурсы** (места активного отдыха людей, туристические тропы, горные маршруты, рафтинг и пр.)

Бытующие мнения о минерально-сырьевом кризисе сильно преувеличено. Запасы достаточны на сотни и тысячи лет. Сейчас хорошо освоена добыча сырья с глубины около 1 км. В табл. 1.1 приведены расчеты обеспеченности полезными ископаемыми с освоенной глубины литосферы.

Обеспеченность запасами на больших глубинах запасы измеряются миллионами лет: железо – $1,8 \cdot 10^9$; медь – $2,42 \cdot 10^6$; уран – $1,9 \cdot 10^9$ и т.д., если исходить из современного потребления.

Богатейшая кладовая минерального сырья – мировой океан. В морской воде содержится 80 элементов, в т.ч. 6 млрд. т золота. Извлечение их зависит от экономической целесообразности. Сейчас в промышленных масштабах извлекают магний (около 75%), поваренную соль (35%), из глубин Черного моря – хлор, со дна морей и океанов – нефть, железомарганцевые конкреции и др.

Таблица 1.1

Обеспеченность полезными ископаемыми, годы

Полезное ископаемое	Известные (разведанные)	Прогноз
Уголь	2736	5119
Медь	45	340
Железо	117	2657
Уран	50	8455
Свинец	10	162
Алюминий	23	68066
Золото	9	102
Цинк	21	618

*В черном-черном городе,
На черной-черной улице,
Около черного-черного дома
сидят два черных-черных мужика.
И один другому говорит:
«Напрасно, Вася, мы с тобой
столько резины сожгли».*

Анекдот

Глава 2. Загрязнение окружающей природной среды. Формы загрязнения и основные загрязнители

Формы загрязнения окружающей природной среды. Загрязнение атмосферы, гидросферы и почвы. Радиоактивное загрязнение. Шум, вибрация, электромагнитное излучение. Отрасли промышленности – основные загрязнители окружающей среды. Твердые отходы производства и потребления, техногенные аварии и катастрофы.

Загрязнение – это внесение в природную среду или возникновение в ней новых физических, химических, информационных или биологических агентов. Под загрязнением понимают также и превышение концентрации среднего многолетнего уровня и обычных природных агентов (например, наводнение).

Загрязнение бывает естественное (или природное) и под влиянием деятельности человека (или антропогенное).

2.1. Формы загрязнения окружающей природной среды

Загрязнение окружающей природной среды делится на 5 форм:
– загрязнение атмосферы;

- загрязнение гидросферы;
- загрязнение литосферы;
- радиоактивное загрязнение;
- физическое загрязнение окружающей природной среды (шум, вибрация, электромагнитное воздействие).

2.1.1. Загрязнение атмосферы

Атмосфера – главный источник жизни на Земле. Вещества – загрязнители атмосферы бывают двух типов: **газы и аэрозоли** (диспергированные твердые частицы, размером менее 0,5 мкм, взвешенные в атмосфере).

Источники загрязнения атмосферы делятся на два вида:

1.) природные (пылевые бури, лесные пожары, извержение вулкана и др.);

2.) антропогенные. *Подсчитано, например, что ежегодно в атмосферу выбрасывается 1 км³ пылевых частиц искусственного происхождения.*

В свою очередь антропогенные источники загрязнения подразделяются на стационарные и передвижные.

В РФ в 2012 г. было выброшено в атмосферу 32,3 млн. т загрязняющих веществ, в т.ч. от стационарных источников 61% (19,6 млн.т). Из общего количества выбросов 7% приходится на твердые частицы и 93% – на газы (из них 36% CO и 34% SO₂).

Основные источники загрязнения.

1) **Сжигание горючих природных ископаемых при выработке энергии.** Эта самая не решенная в мире проблема, т.к. большая часть электроэнергии вырабатывается на тепловых электростанциях со сжиганием минерального топлива (угля), то чем больше вырабатывается энергии, тем больше выбрасывается в атмосферу загрязнителей.

Основные источники пыли:

- Сжигание каменного угля на ТЭС – 53%;
- Выплавка черных металлов – 12%
- Выплавка меди – 3%;
- Производство цемента – 3%.

2) **Производственная деятельность.**

3) **Газовые выбросы промышленных предприятий** (CO, NO_x, CO₂).

По выбросу вредных веществ в атмосферу от стационарных источников Челябинская область находится на 5 месте в РФ. На первом месте – Красноярский край, где находится предприятие Норильск Никель, на которое приходится 10% всех выбросов от стационарных источников страны.

Передвижные источники загрязнения – это транспортные средства. Выбросы составили 39% или 12,7 млн. т. 96% приходится на автотранс-

порт. *Наибольшие выбросы автотранспорта – в Москве (0,89 млн. т/год). Челябинская обл. на 8 месте – 0,42 млн. т/год.*

В среднем 1 автомобиль при 15 тыс. км пробега в год и хорошо отрегулированном двигателе выбрасывает в атмосферу: 750 кг CO; 40 кг NO₂; 230 кг C_mH_n. Структура выбросов автомобильного транспорта: 73,6% CO; 11,3% C_mH_n; 13,5% NO_x.

Парк автомобилей в РФ с каждым годом растет. В 2012 г. в РФ насчитывалось 45,4 млн. автомобилей, в том числе: 85,2% (38,7 млн.) легковых, 12,6% грузовых и 2,2% автобусов. Доля передвижных источников загрязнения атмосферы с каждым годом возрастает.

Наибольшие выбросы происходят во время разгона и торможения автомобиля (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Концентрация оксида углерода и бенз(а)пирена в выхлопных газах бензиновых двигателей

Режим работы	Концентрация	
	Оксида углерода, %	Бензапирена, мкг/100 м ³
Холостой ход	2,5...3,0	4000
Разгон	2,0...5,0	10000
Равномерное движение	0,5...1,0	4000
Торможение	4,0	28000

2.1.2. Загрязнение гидросферы

Гидросфера – прерывистая водная оболочка Земли, совокупность морей, океанов, континентальных вод (включая подземные) и ледниковый покров Земли. В ней сосредоточен самый ценный компонент – пресная вода. Она уникальна, запасы ее на Земле составляют около $39 \cdot 10^6$ км³.

Казалось бы, что воды много, но ее повсеместно не хватает. Это связано с тем, что почти 3/4 запасов пресной воды сосредоточено в ледниках Антарктиды и Северной Гренландии. На основные источники водоснабжения населения планеты (реки, озера) приходится 0,6% запасов пресной воды (табл. 2.2).

Имеется два пути увеличения объема пресной воды для хозяйственного использования:

- опреснение соленой воды;*
 - использование пресной воды айсбергов после буксировки по воде к берегу.*
- По расчетам, второй путь вдвое менее энергоемок.*

Таблица 2.2

Местоположение запасов пресной воды

Местоположение	Доля, %
Полярные льды и ледники	74,4
Грунтовые воды	24,4
Озера	0,3
Реки	0,3
Почва	0,55
Атмосфера	0,05
Всего	100

Ежегодный сток всех рек мира составляет 37,3 тыс. км³, в РФ – 4270 км³ (2-е место в мире после Бразилии), однако 90% стока приходится на реки бассейнов Северного ледовитого и Тихого океанов и только 10% – на Европейскую часть и Урал, где воды постоянно не хватает. Средний объем возобновляемых водных ресурсов России составляет 10281 км³/год (табл. 2.3)

Таблица 2.3

Возобновляемые водные ресурсы России

Местоположение	Доля, %
Реки	41,5
Озера и болота	14,9
Ледники	1,1
Подземные воды	8,5
Почва	34,0
Всего	100

Водозабор в РФ составляет 58,8 км³/год или ~1,1 м³/сутки·чел. Из этого количества ЖКХ – 258 л/сутки·чел. Структура потребления воды в России:

- 1) Производственные нужды – 60,2%;
- 2) Хозяйственно-питьевое назначение – 15,8%;
- 3) Орошение земель – 13,2 %.

Объем воды в озерах РФ – 26,7 тыс. км³, в том числе в озере Байкал – 23 тыс. км³, что составляет 20% мировых запасов и 90% – отечественных запасов пресной воды. В Ладожском озере – 908 км³, в Онежском – 286 км³.

Качество воды в большинстве водных объектов России не отвечает норме. Особенно низкое качество питьевой воды в следующих регионах: Нижняя Волга, Кузбасс, Южный Урал. Низкое качество воды связано с загрязнением ее человеком. В целом приблизительно 50% населения РФ использует воду не соответствующую гигиеническим требованиям. Наиболее

распространенные загрязнители поверхностных вод: нефтепродукты, фенолы, органические вещества, соли тяжелых металлов, формальдегид и др.
Пример: 12 г нефти делают невозможным для употребления 1 т воды.

Низкое качество воды связано с тем, что в водоемы России в год сбрасывается 48,1 км³ всевозможных стоков, из них 33,3% без всякой очистки.

Источники загрязнения гидросферы.

- 1) Сточные воды промышленных предприятий – 79%;
- 2) Городские сточные воды – 12%;
- 3) Канализационные воды животноводческих хозяйств – 6%
- 4) Остальные (водный транспорт и пр.) – 3%.

2.1.3. Загрязнение почвы

Почвенный покров – важнейшее природное образование. Почва – основной источник продовольствия, обеспечивающая 95–97% продовольственных ресурсов населения планеты.

Площадь земельных ресурсов мира – 129 млн. км². Однако пашня занимает только 10%, сенокосы и пастбища – 25% суши. Остальное – пустыни, тундра, горы и пр. Земельный фонд нашей страны – 1,7 млрд. га, в том числе: лес – 65,3%, земли сельскохозяйственного назначения – 23,0%, населенных пунктов – 1,2%, промышленность 1%. Структура сельхозугодий РФ: пашня – 55,1%; пастбища – 30,9%, сенокосы – 10,9%. В мире в среднем на душу населения приходится 0,35 га земли, приносящей продукты питания, в России более чем в два раза больше – 0,8 га.

Ежегодно количество пашни на душу населения сокращается. Причины: 1) Рост населения;

- 2) Развитие городов и промышленности.

Города с очень высоким загрязнением почвы в РФ приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Города России с высоким загрязнением почвы тяжелыми металлами

Край, область, населенный пункт	Зона обследования радиусом, км	Металлы
Иркутская обл., г. Свирск	0,5	Pb, Cu, Mn, Zn
г. Нижний Новгород	Сормовский район	Pb, Cu, Cr, Ni
Приморский край, пос. Рудная Пристань	1	Pb, Cd, Zn
Свердловская обл., г. Кировград	5	Pb, Cd, Cu, Zn
Свердловская обл., г. Ревда	1	Pb, Cd, Cu, Zn
Свердловская обл., г. Реж	5	Ni, Cd, Co, Zn

Источниками загрязнения почвы являются промышленность и сельское хозяйство (пестициды). Почва вокруг предприятий металлургии, химии и нефтехимии, энергетики, машиностроения на десятки километров загрязнена тяжелыми металлами, нефтепродуктами, соединениями фтора и пр.

2.1.4. Радиоактивное загрязнение

Основные понятия

Особое место среди загрязняющих агентов занимают радиоактивные вещества. **Радиоактивность** – это самопроизвольное превращение (распад) атомов (ядер) элементов, приводящее к изменению их массового числа.

Радиоактивное излучение является частью **ионизирующего излучения** (ИИ). В свою очередь ИИ – это поток корпускулярной (α – частиц, электронов, протонов или нейтронов) или электромагнитной (γ – лучи, рентгеновские лучи) энергии. α – лучи представляют собой ядра гелия, β – лучи – поток электронов, γ – лучи – поток квантов большой энергии, характеризующий частотой соответствующего волнового процесса.

Основными свойствами ионизирующего излучения являются **проникающая и ионизирующая** способность. **Проникающая способность** характеризуется длиной пробега частиц в среде. Она максимальна для γ – лучей и минимальна для α – лучей. Так, например, длина пробега в воздухе γ – лучей ~ 100 м; β – лучей в биоткани – несколько мм; α – лучей в воздухе – 11 см, в биоткани – 0,1 мм.

Ионизирующая способность характеризуется количеством ионов, образующихся при движении частиц в среде на единицу длины пробега. Она, напротив, максимальна для тяжелых α – частиц и минимальна для γ – излучения.

Интенсивность радиоактивного распада характеризуется активностью. **Активность** – это число радиоактивных распадов в единицу времени

$$A = dN/dt, \text{ распад/с}$$

В системе СИ такой единицей является Беккерель – 1 Бк = 1 распад/с.

Внесистемная единица – Кюри (распад 1 г радия).

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ распад/с}$$

Воздействие ИИ на организм человека

Воздействие ионизирующего излучения на организм человека называется **облучением**. Различают внешнее облучение тела и внутреннее облучение организма и его тканей. Облучение может быть **хроническим** (в течение длительного времени) и **острым** (однократным, высокой интенсивности).

Различают экспозиционную, поглощенную и эквивалентную дозы облучения. **Экспозиционная доза** – 1 рентген $\sim 0,93$ РАД. РАД – это радиационная адсорбированная доза. **Поглощенная доза** – это средняя энергия переданная излучением единице массы тела. Измеряется в Дж/кг.

$$1 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ Грей (Гр)}.$$

Эквивалентная доза. Повреждение живой ткани связано не только с количеством поглощенной энергии, но и с ионизацией воды в тканях. Живая ткань на 75% состоит из воды. При ионизации молекул воды образуются высокоактивные радикалы H^+ и OH^- , которые окисляют молекулы белка. Это косвенное воздействие излучения. Прямое воздействие сопровождается расщеплением молекул белка, разрывом связей, отрывом радикалов и др. Все это учитывает эквивалентная доза – мера биологического эффекта облучения. Мера эквивалентной дозы – 1 бэр (биологический эквивалент РАДа).

$$1 \text{ бэр} = 1 \text{ РАД} \cdot K,$$

где K – коэффициент качества излучения, он позволяет учесть степень опасности облучения в зависимости от его вида.

Результатом облучения являются физико-химические и биологические изменения в организме.

Ионизирующее излучение при воздействии на организм человека может вызвать три вида эффектов:

1) Телесные – лучевой ожог, лучевая болезнь, лучевой бесплодие, аномалии в развитии плода и др.

2) Беспороговые эффекты – злокачественные опухоли, лейкозы.

3) Генетические повреждения – врожденные аномалии, наследственные болезни. В их основе лежит повреждение клеточных структур.

Облучение приводит к заболеванию лучевой болезнью.

Формы лучевой болезни:

Легкая ≤ 2 Дж/кг или 200 бэр;

Средняя 4...6 Дж/кг или 400...600 бэр;

Тяжелая >10 Дж/кг или >1000 бэр (летальный исход в 50% случаев).

В табл. 2.5 приведены данные о степени облучения человека в быту.

Таблица 2.5

Шкала степени облучения человека

Показатель	Облучение, бэр
Просмотр 1 хоккейного матча по телевидению	$1 \cdot 10^{-6}$
Фоновое облучение за год	0,1
Допустимое облучение за год	0,5
Облучение при рентгенографии зубов	3,0
Допустимое аварийное разовое облучение населения	10
То же персонала	25
Облучение при рентгене желудка	30
Облучение, сопровождающееся кратковременным незначительным изменением состава крови	75
Начало развития лучевой болезни	100
Тяжелая степень лучевой болезни (50% – летальный исход)	500

Загрязненные территории

В ряде районов России в приземном слое атмосферы присутствуют долгоживущие радиоактивные изотопы цезия-137, стронция-90 и даже плутония. Выделяется 3 района наибольшего радиоактивного загрязнения местности:

1) **Район Чернобыля** (Брянская, Тульская области). Это следствие аварии на Чернобыльской АЭС. По воздействию на окружающую среду аварию на ЧАЭС следует рассматривать как малую атомную войну. Она нанесла огромный ущерб окружающей среде. Даже сейчас активность Cs^{137} в Брянске в 4 раза выше фоновой (48 мкР/ч при фоновом значении 10–12 мкР/ч).

2) **Восточно-Уральский радиоактивный след** (ВУРС). Следствие аварии 1957 года на ПО «Маяк». Даже полвека спустя территория площадью 8...10 тыс. кв.км не пригодна ни для какого хозяйственного обихода.

3) **Остров Новая Земля**. Полигон испытания ядерного оружия бывшего СССР. Уровень радиации по Cs^{137} – 90 мКи/км².

В 2011 г. дополнительный вклад в радиоактивное загрязнение ОПС внесли техногенные радионуклиды, поступившие на территорию России с воздушными массами в результате аварии на японской АЭС «Фукусима 1».

Авария на АЭС произошла 12 марта, а уже в последней декаде марта сетью радиационного мониторинга Росгидромета в приземном слое атмосферы на всей территории РФ от Владивостока до Санкт-Петербурга регистрировались повышенные объемные активности по Cs^{137} , I^{131} и др.

Источники радиоактивного загрязнения:

1) **Радиоактивные изотопы – продукты испытания ядерного оружия**. В СССР было произведено 714 ядерных взрывов, в т.ч.: в Казахстане – 467, на о. Новая земля – 132. Из них 183 испытания в атмосфере, 90 – открытых и 115 подземных ядерных взрывов.

2) **Выбросы ЧАЭС**. При аварии на ЧАЭС в окружающую среду было выброшено 7,5 т продуктов распада (*Это приблизительно 50 млн. Ки*). При взрыве атомной бомбы в Хиросиме в 1945 году в атмосферу было выброшено 1,1 кг продуктов распада. Таким образом, авария на ЧАЭС по воздействию на окружающую среду в 6-7 тыс. раз больше, чем Хиросима.

3) **Плановые и аварийные выбросы радиоактивных веществ предприятиями атомной промышленности**.

4) **Выбросы АЭС в процессе их эксплуатации**.

Основные источники опасности радиоактивного заражения местности:

– предприятия по производству расщепляющихся материалов для ядерного оружия (Челябинск-40, Арзамас-16, Томск-7 – *Сибирский химкомбинат*, Красноярск-45 – *Горнохимический комбинат*);

– 10 АЭС, 30 реакторов, 5 в стадии строительства;

- 100...110 атомных подводных лодок, ~200 реакторов;
- 10 атомных ледоколов и 5 судов;
- 15 полигонов для захоронения радиоактивных отходов, один из которых находится на территории Челябинской области.

Всего на территории РФ находится 59 радиационно опасных объектов.

2.1.5. Физические загрязнители окружающей природной среды. Шум, вибрация, электромагнитное излучение

Физические загрязнители также пагубно влияют на окружающую среду и человека, как и ранее рассмотренные химические токсиканты.

Механическая вибрация. Возникает практически во всех механизмах и машинах с разными амплитудами и частотами. По способу передачи на человека вибрацию подразделяют на **местную** (пример: отбойный молоток), передающуюся чаще всего по рукам человека, и **общую**, вызывающую сотрясение всего организма (например: вращение турбины на электростанции).

Вибрация влияет на иммунную систему, состав крови, сердечно-сосудистую систему человека. Возникает вибрационная болезнь.

Акустический шум. Это распространяемые в воздухе беспорядочные звуковые колебания различной физической природы. В отличие от вибрации они характеризуются высокими частотами (20 Гц...20кГц) и случайными амплитудами. *Органы слуха человека воспринимают звуковые волны частотой 16...20 000 Гц. Колебания ниже 20 Гц (инфразвук) и выше 20 кГц (ультразвук) не вызывают слуховых ощущений, но оказывают биологическое воздействие на весь организм.*

В городе основной источник шума – городской транспорт. Уровень звукового давления на оживленных перекрестках достигает 70...80 дБ. На производстве все машины и механизмы издают шум. В металлургическом или машиностроительном цехе шум составляет 80...90 дБ. *Шум железнодорожного транспорта от проходящего состава достигает 90...100 дБ, а шум взлетающего авиационного лайнера – 100...120 дБ.*

Реакция на шум со стороны нервной системы человека начинается при звуковом давлении ≈ 40 дБ. Шум оказывает вредное влияние на организм человека, приводя к глухоте, гипертонии, головным болям, изменению зрения, состава крови. При длительном воздействии шума ≥ 70 дБ происходят глубокие изменения в нервной системе человека вплоть до психических расстройств. Уровень шума в 130 дБ вызывает болевые ощущения, а в 150 дБ – приводит к поражению слуха.

Электромагнитное излучение. Наиболее мощные источники ЭМИ – теле- и радиостанции, линии электропередач (ЛЭП), радиолокаторы, военные радиотехнические объекты.

Радиопомехи повышены вблизи аэропортов городов Сочи, Ростова на Дону, Внуково в городе Москва. Определенное влияние оказывают мобильные телефоны, высокочастотные печи.

Степень биологического воздействия электромагнитных полей на организм человека зависит от частоты колебаний, напряженности, интенсивности поля и времени воздействия.

ЭМИ вызывают нарушение обменных процессов в организме, влияют на сердечно-сосудистую систему, состав крови, иммунитет, воспроизводительные функции человека. Опасным для здоровья является продолжительное облучение (≥ 8 час/день) в течение нескольких лет с уровнем выше 0,2 мкТл. *Ниже, для примера, приведено излучение некоторых домашних приборов:*

<i>Микроволновая печь</i>	<i>4...12 мкТл;</i>
<i>Электрплита</i>	<i>0,4...4,4 мкТл;</i>
<i>ТВ</i>	<i>до 2,0 мкТл;</i>
<i>Электродрель</i>	<i>2,2...5,5 мкТл;</i>
<i>Пылесос</i>	<i>0,2...2,2 мкТл;</i>

Современные и очень удобные в пользовании компьютеры, микроволновые печи и мобильные телефоны также оказывают влияние на здоровье человека.

Микроволновые печи опасны при длительном использовании (8 час/сутки и более). При работе **мобильного телефона** происходит облучение и в височной области мозга отмечаются изменения, похожие на энцефалограмму людей больных эпилепсией. Наиболее опасен телефон в момент звонка.

Персональный компьютер оказывает комплексное воздействие на организм человека *через электромагнитное поле монитора, статический заряд на экране монитора (до 75 кВ/м), ультрафиолетовое, инфракрасное и рентгеновское облучение. При длительном пользовании компьютером фиксируется изменение гормонов, биотоков мозга, нарушение нервной и сердечно-сосудистой системы, ухудшение зрения.*

2.1.6. Отрасли промышленности – основные загрязнители ОПС

Состояние ОПС в Российской Федерации расценивается как критическое. Спад промышленного производства привел только к незначительному уменьшению выбросов в окружающую среду из-за снижения требований и технического уровня производства.

Регулярные наблюдения в России ведутся в 252 городах. В 204 городах (81%) с населением 67,1 млн. человек (44% населения РФ) средний уровень загрязнения атмосферного воздуха превышает санитарные нормы, а в 35 городах (11,8 млн. чел.) он превышает санитарные нормы в 10 и бо-

лее раз. В приоритетный список городов с наибольшим загрязнением атмосферного воздуха входят 27 городов, где проживает 16,3 млн. чел.

В список городов с очень высоким загрязнением воздуха входят Братск, Екатеринбург, Норильск, Новокузнецк, Нижний Тагил, а также два города Челябинской области – Магнитогорск и Карабаш.

В РФ ежегодно образуется 130 млн. м³ твердых бытовых отходов (ТБО). Из этого количества только 4% утилизируется. Остальное везется на свалки для захоронения. В РФ мусороперерабатывающие заводы есть только в трех городах – Москва, Санкт-Петербург, Сочи.

Образуется огромное количество промышленных отходов – 3,5 млрд. т/год. На территории РФ накоплено 80 млрд. т твердых промышленных отходов, из них 1,5 млрд. т – токсичные (в год образуется 84 млн. т токсичных отходов).

Экологическая обстановка в Российской Федерации такова, что оказывает влияние на генофонд нации. Растет заболеваемость, увеличивается рождение детей с наследственными дефектами. По средней продолжительности жизни РФ находится на одном из последних мест среди развитых стран мира.

Известно, что загрязнители ОПС делятся на стационарные и передвижные. Основными **стационарными загрязнителями** атмосферы в России являются следующие отрасли промышленности:

1) Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) – 41,7% всех выбросов в атмосферу. В ТЭК входят следующие отрасли промышленности: нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, газовая, угольная и энергетика. Энергетика – самый большой загрязнитель атмосферы (21,7% всех выбросов). Основные загрязнители – ТЭС и ТЭЦ.

2) Металлургический комплекс (МК) – 28,0%. В МК входят две отрасли черная металлургия и цветная металлургия. Кроме того, комплекс сильно загрязняет воду и почву.

3) Химический и нефтехимический комплекс – 20,3%. Отличается токсичностью (ртуть, мышьяк, цианиды, формальдегид, фенолы и др.).

4) Коммунальное хозяйство – 5%. Кроме того, коммунальное хозяйство большой потребитель пресной воды (18,4% от потребления РФ).

Передвижные источники загрязнения атмосферы. Выбросы от транспортно дорожного комплекса (39% от всех выбросов в РФ) распределяются следующим образом:

автотранспорт	– 96%;	авиатранспорт	– 1,5%;
железно-дорожный	– 2%;	водный	– 0,5%.

Кроме того, транспорт является основным источником шума в городе.

2.1.7. Техногенные аварии и катастрофы

Техногенные аварии и катастрофы также являются источником экологической опасности. К числу наиболее тяжелых по экологическим по-

следствиям относятся аварии на ядерных объектах, на предприятиях нефте- и газохимического комплексов, на трубопроводных системах. Эти аварии влекут большие человеческие жертвы и значительные материальные потери. Так, например, за один год в стране произошло 265 чрезвычайных происшествий, в том числе: 24 аварии на магистральных трубопроводах; 23 крушения на ж/д транспорте; 29 авиационных происшествий; 30 аварий на судах; 85 ДТП с тяжкими последствиями; 4 теракта.

Кроме того, впервые в мировой практике космической деятельности 10.02.09 г. на высоте 800 км произошло столкновение американского космического аппарата «Иридиум-33» и выведенного из эксплуатации в 1995 г. российского аппарата «Космос-225». Образовалось 700 фрагментов космического мусора, которые разлетелись на высотах 200 – 1700 км.

*Не груз убил животное,
а избыток его.*

Сервантес

Глава 3. Влияние загрязнения окружающей природной среды на здоровье населения

Чужеродные вещества в продуктах питания. Влияние загрязнителей атмосферного воздуха. Вода как фактор здоровья. Гигиеническое нормирование воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения. Предельно допустимые концентрации. Нормирование в атмосферном воздухе населенных мест. Нормирование в воздухе рабочей зоны. Нормирование в водной среде, почве и продуктах питания.

3.1. Чужеродные вещества в продуктах питания, воздухе и воде

Чужеродные вещества в экологии принято называть ксенобиотиками. Считается, что из ядов, попадающих в организм человека, около 70% поступает с пищей, 20% – из воздуха, 10% – из воды. Таким образом, чистота пищи – самое главное для сохранения здоровья человека.

Воздействие ксенобиотиков происходит путем миграции химических веществ по экологическим цепочкам. Экологические цепочки бывают простые и сложные. **Простые:** ксенобиотик – воздух – человек; ксенобиотик – вода – человек; ксенобиотик – пища – человек. **Сложные:** ксенобиотик – почва – растения – человек; ксенобиотик – почва – растения – животное – человек и др. Чем длиннее миграционный путь, тем меньше опасность для человека. Но есть очень устойчивые ксенобиотики, которые, пройдя эту воображаемую цепочку, поступают в организм человека, например, радионуклиды.

К чужеродным веществам в продуктах питания относятся: пестициды, тяжелые металлы, нитраты, нитриты, радионуклиды. Кроме того, пища

может быть загрязнена биологическими объектами: бактериями, вирусами, паразитами и другими простейшими организмами.

В России продукты питания в обязательном порядке контролируются на 14 элементов, важнейшие из которых кадмий, ртуть, свинец.

Кадмий – поступает из сточных вод предприятий, антикоррозионных покрытий, полимеров, атомной и ракетной техники, а также фосфорных удобрений и пестицидов. В воздух кадмий попадает при сжигании пластмасс.

Больше всего кадмия человек получает с растительной пищей (картофель, салат, фасоль, горох и др.). Отравление кадмием – болезнь «итай-итай», при которой появляются боли в пояснице, нижних конечностях, нарушение функции почек, похудение, деформация скелета (замещение кальция в костях), инвалидность и смерть.

Ртуть – применяется в производстве каустической соды, при синтезе пластмасс, в электротехнической промышленности, производстве бумаги. При поступлении ртути в организм человек заболевает болезнью «Минамата». У больного появляется расстройство речи, походки, понижение зрения, слуха. Как правило, это вызывает смертельный исход. Впервые это заболевание было обнаружено в Японии, когда в воду сбрасывались ртутные отходы, и происходило заражение рыбы, при потреблении которой ртуть поступала в организм человека.

Согласно одной из гипотез, падения Древнего Рима связывают использование свинцового водопровода и кухонной посуды. Хроническая свинцовая интоксикация знати и интеллигенции привела к деградации общества (свинец обнаружен в костях останков людей того времени).

В современных условиях основной источник свинца – этилированный бензин (используется как антидетонатор). Признаки отравления – депрессия, нарушение деятельности кишечника, крови, нарушения периферической нервной системы.

Пестициды. Особенно опасны гербициды. Применяемый американскими войсками во Вьетнаме дефолиант, «эйджент ориндж», содержал диоксин.

Радионуклиды – стронций-90, цезий-137 имеет период полураспада 30 лет. Мигрирует по пищевым цепям.

Большинство ксенобиотиков накапливаются в организме (кумулируют), постепенно проявляя патологические действия.

3.2. Влияние загрязнителей атмосферного воздуха

Загрязнение атмосферного воздуха сказывается на здоровье населения и проявляется это воздействие в двух формах.

1) Острые отравления. Возникают при аварийных ситуациях, вызывающих высокую концентрацию загрязняющих веществ в воздухе. Напри-

мер: смог в Лондоне в 1952г., катастрофа в г. Сивизо (Италия), ПО «Маяк» и др. Такие случаи встречаются редко.

2) Хронические заболевания. Возникают при региональных загрязнениях атмосферного воздуха. В этом случае концентрация загрязняющих веществ в воздухе не высокая, но продолжительность вдыхания этого воздуха большая (годы, десятилетия).

Установлено, что последняя форма сказывается на заболеваемости населения бронхитом, пневмонией, эмфиземой легких, ОРЗ и др.

В наибольшей степени загрязнение атмосферы сказывается на здоровье населения в урбанизированных центрах, в городах с развитой металлургией, энергетикой и др. Это влияние пыли, SO₂, H₂S, CO, NO_x, сажи, фтора, фенола, тяжелых металлов.

Загрязнение атмосферного воздуха представляет опасность для здоровья человека в связи с действием следующих факторов.

1) Разнообразии загрязнителей. Воздействует большое количество химических веществ, и они действуют комбинированно.

2) Массированное воздействие. Акт дыхания непрерывен и человек за сутки вдыхает около 20 тыс. л воздуха. При этом даже незначительные концентрации химических веществ могут привести к значительному поступлению вредных веществ в организм.

3) Непосредственный доступ загрязнителей внутрь организма. Бронхи легких человека имеют общую поверхность около 100 м². Поэтому, когда загрязненный воздух поступает в легкие, он вступает в контакт с кровью человека, которая разносит токсиканты по всему организму. В результате этого происходит накопление ксенобиотиков в различных органах человека. Установлено, что яд, поступающий ингаляционным путем, действует в 80-100 раз сильнее, чем через желудочно-кишечный тракт.

По данным экологического мониторинга важным источником загрязнения атмосферного воздуха в крупных городах, влияющим на здоровье населения, является автомобильный транспорт. Именно он загрязняет воздух формальдегидом, бенз(а)пиреном, этилбензолом, оксидами азота и др. веществами. Свой вклад в загрязнение воздуха вносит и промышленность, загрязняя воздух сероводородом, аммиаком, серным ангидридом, пылью и пр.

3.3. Вода как фактор здоровья

Вода – колыбель человеческой жизни. Чистота воды является важнейшим фактором сохранения здоровья человека.

Основными источниками загрязнения воды (гидросферы) являются промышленные сточные воды, хозяйственно-бытовые стоки, стоки сельского хозяйства и животноводства. С водой передаются многие кишечные инфекции: брюшной тиф, дизентерия, холера, гепатит, и др., а также пара-

зитарные болезни (лямблиоз и др.). Простейшие организмы поражают кишечник и печень.

Рост числа заболеваемости людей, обусловленного загрязнением воды, связан с тем, что на очистные сооружения водопровода поступает вода низкого качества. Сейчас многие реки России на 10% состоят из сточных вод не всегда хорошо очищенных. Обычно на очистных сооружениях водопровода очищают воду от взвешенных частиц и биологических объектов. Вода должна быть безопасной, прежде всего в эпидемиологическом отношении. Однако очистные сооружения не обладают барьерной функцией по отношению к растворимым в воде химическим веществам. Вместе с тем, в питьевой воде должны содержаться некоторые компоненты в оптимальных количествах (табл. 3.1).

Сильно загрязнены и грунтовые воды. Главные источники загрязнения – токсичные отходы свалок, пруды-накопители промпредприятий, подземные резервуары для хранения нефтепродуктов, химикатов и др.

Состояние водоснабжения населения России расценивается как неудовлетворительное. Качество питьевой воды в большинстве регионов не отвечает гигиеническим требованиям. Приблизительно 50% населения РФ используют воду для питья, не соответствующую нормативам.

Таким образом, все вышеперечисленное сказывается на здоровье и продолжительности жизни населения России. На численность населения оказывает влияние сокращение рождаемости и увеличение смертности населения.

Таблица 3.1

Влияние компонентов питьевой воды на здоровье населения

Соли компонентов	Суточная потребность, г	ПДК, мг/л	Влияние на здоровье населения
Кальций	0,4 – 0,7	3,5	Недостаток – рахит, нарушение функции сердечной мышцы и свертывания крови
Хром	–	0,5	Нарушение функции печени и почек
Цианиды	–	0,1	Поражение нервной системы, щитовидной железы
Бензол	–	0,5	Воздействие на печень и почки
Железо	–	0,3	Аллергические реакции, болезни почек
Магний	0,3 – 0,3	20	Недостаток – психиатрические синдромы, тахикардия и фибрилляция сердечной мышцы. Избыток – сердечная блокада, паралич желудочно-кишечного тракта.

Окончание табл. 3.1

Соли компонентов	Суточная потребность, г	ПДК, мг/л	Влияние на здоровье населения
Медь	2 – 3	10	Недостаток – атеросклероз, анемия. Избыток – врожденные заболевания, нарушение водно-солевого и белкового обменов, снижение чувства вкуса и обоняния.
Фтор	1,3 – 1,9	1,5	Недостаток – кариес. Избыток – артериальная гипотония, полиневриты, изменения костей.
Марганец	0,0015	0,1	Недостаток – снижение скорости роста, нарушение липидного обмена. Избыток – анемия, нарушение функционального состояния.
Кобальт	0,7 – 5	0,1	Недостаток – изменение состава крови, подавление иммунитета. Избыток – нарушение в центральной нервной системе, щитовидной железы.
Кадмий	–	0,001	Болезнь «итай-итай», онкологические заболевания, почечная недостаточность, мертворождаемость.
Мышьяк	–	0,05	Токсичное действие, поражение кожи, онкологические заболевания.
Никель	–	0,1	Поражение сердца, печени, онкологические заболевания.
Ртуть	–	0,0005	Нарушение функции почек, нервной системы.
Свинец	–	0,03	Поражение почек, нервной системы, кроветворных органов.

3.4. Гигиеническое нормирование воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения

Все современные технологические процессы загрязняют окружающую среду. Безвредных технологий нет. Они отличаются только степенью вредности технологии.

Сейчас в развитых странах производится и используется свыше **100 тыс. химических соединений (науке известно более 11 млн.)**, из которых многие отрицательно воздействуют на окружающую среду. Это плата человечества за достижения цивилизации.

Выход из создавшегося положения основывается на гениальной мысли врача древности **Парацельса**, который еще в 14 веке отметил: «Все вещества являются ядами, нет ни одного, который бы не был ядом. Только доля разделяет яд и лекарство».

Раз это так и развивающаяся промышленность и транспорт неизбежно будут выделять в окружающую среду загрязнители, то, основываясь на мысли Парацельса, надо сделать так, чтобы концентрация этих загрязнителей не превышала пределы, вредные для человека и окружающей среды.

Для того чтобы ослабить или предотвратить вредное воздействие загрязнителей на человека и окружающую природную среду, введено **санитарно-гигиеническое нормирование**. Это установленные в законодательном порядке и обязательные для исполнения всеми ведомствами и организациями допустимые уровни содержания химических соединений в объектах окружающей среды.

Установленные нормативы направлены на профилактику неблагоприятного воздействия химических веществ на здоровье человека.

На практике для определения степени загрязнения окружающей среды используется норматив, название которого **предельно допустимая концентрация (ПДК)**.

Существует пять видов гигиенических нормативов:

- 1) гигиеническое нормирование содержания химических веществ в атмосферном воздухе населенных мест;
- 2) гигиеническое нормирование химических веществ в воздухе рабочей зоны;
- 3) гигиеническое нормирование содержания химических веществ в водной среде;
- 4) гигиеническое нормирование содержания химических веществ в почве;
- 5) гигиеническое нормирование содержания химических веществ в продуктах питания.

3.4.1. Нормирование в атмосферном воздухе населенных мест

Для жилой зоны установлены два вида ПДК:

– среднесуточные ПДК (ПДК_{СС}), служащие для оценки средних за продолжительный (от суток до года) период концентраций вредных веществ в воздухе;

– максимально-разовые ПДК (ПДК_{мр}), используются для оценки кратковременных, пиковых подъемов содержания вредных веществ в воздухе. *Максимально-разовые ПДК устанавливаются для веществ, оказывающих немедленное воздействие на организм человека (например, угарный газ).*

Среднесуточная ПДК – это максимальная концентрация примеси, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного воздействия (включая отдаленные последствия). *Эта концентрация не должна оказывать токсичного, канцерогенного или мутагенного воздействия. Норматив направлен на предотвращение хронического воздействия загрязнителей на организм человека. Норматив обоснован клиническими и санитарно-гигиеническими испытаниями и носит законодательный характер.*

Максимально-разовая ПДК – это такая концентрация примесей в атмосфере, которая при непродолжительном пребывании человека не вызывает у него заболеваний (отравлений). Она установлена на уровне рефлекторных реакций человека (насморк, кашель, неприятный запах и пр.).

Очевидно, что для одних и тех же веществ значения ПДК_{СС} и ПДК_{мр} различаются.

Например:

СО	$ПДК_{СС} = 1,0 \text{ мг/м}^3$; $ПДК_{мр} = 3,0 \text{ мг/м}^3$;
Хлор	$ПДК_{СС} = 0,03 \text{ мг/м}^3$; $ПДК_{мр} = 0,1 \text{ мг/м}^3$;

ПДК всех элементов для жилой зоны сведены в справочники.

Исходя из ПДК, для каждого предприятия **устанавливаются предельно допустимые выбросы (ПДВ)** вредных веществ. ПДВ определяются расчетом, исходя из количества источников, высоты их расположения, распределения выбросов во времени и пространстве и др. Принцип, который заложен в этот расчет, следующий: выбросы не должны создавать приземную концентрацию, опасную для людей, животного и растительного миров.

3.4.2. Нормирование в воздухе рабочей зоны

В отличие от атмосферных загрязнителей в жилой зоне, действующих круглосуточно на все группы населения, включая детей, стариков, больных, в условиях производства химические вещества в воздухе воздействуют в течение 6 – 8 часов на лиц трудоспособного возраста, способных к восстановлению и проходящих регулярные медицинские освидетельст-

ования. В связи с этим критерии установления **ПДК в воздухе рабочей зоны** ($\text{ПДК}_{\text{рз}}$) отличаются от среднесуточных ПДК. $\text{ПДК}_{\text{рз}}$ определяется как концентрация, которая при ежедневной работе в течение 8 час. (40 час в неделю) за весь период деятельности не вызывает у работающего заболеваний или отклонений в состоянии здоровья работающего и его потомков.

Различают максимально-разовые и среднемесячные ПДК. Первые установлены для всех химических веществ, а вторые – только для веществ, обладающих кумулятивными свойствами. Также, как и для жилой зоны, данные ПДК для рабочей зоны для всех элементов сведены в справочники.

В табл. 3.2 для примера представлены данные ПДК одних и тех же элементов в жилой и рабочей зонах.

Таблица 3.2

Вещество	Жилая зона		Рабочая зона
	$\text{ПДК}_{\text{мр}}, \text{мг/м}^3$	$\text{ПДК}_{\text{сс}}, \text{мг/м}^3$	$\text{ПДК}_{\text{ср. мес.}}, \text{мг/м}^3$
NO_2	0,085	0,04	5
формальдегид	0,035	0,012	0,05

3.4.3. Нормирование водной среды и почвы

Для всех водных объектов, используемых населением (поверхностные и рыбохозяйственные водоемы, питьевая вода и др.), установлены гигиенические нормативы для всех химических элементов. Нормативы для питьевой воды и рыбохозяйственных водоемов различаются.

ПДК экзогенных химических веществ в почве – это максимальное количество, которое гарантирует отсутствие отрицательного воздействия на здоровье человека, его потомков и санитарные условия жизни населения. ПДК для водной среды и почвы для всех элементов сведены в соответствующие справочники.

3.4.4. Нормирование продуктов питания

Если санитарно-гигиенические нормативы по содержанию вредных веществ в воздухе, воде и почве постоянны и включены в соответствующие справочники, то единых справочных данных по нормированию содержания вредных веществ в продуктах питания нет. Это связано с тем, что они периодически пересматриваются и изменяются.

При нормировании содержания химических веществ в пищевых продуктах ПДК устанавливаются с учетом **допустимой суточной дозы (ДСД)** или **допустимого суточного поступления (ДСП)** и количества продукта в суточном рационе питания (**корзина питания**). Это связано с разнообразием продуктов, пищевого рациона и химического состава продуктов, что не позволяет нормировать содержание вредных веществ в каждом продукте.

Таким образом, величина ПДК в пищевых продуктах определяется расчетным путем, исходя из значений ДСП (ДСД) и количества продукта в суточном рационе.

В табл. 3.3 представлены значения ПДК для некоторых пищевых продуктов.

Таблица 3.3

ПДК некоторых химических элементов в основных пищевых продуктах, мг/кг

Элемент	Пищевые продукты						
	рыба	мясо	молоко	хлеб	овощи	фрукты	Соки
Ртуть	0,5	0,03	0,005	0,01	0,02	0,1	0,005
Кадмий	0,1	0,05	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02
Свинец	1,0	0,5	0,05	0,2	0,5	0,4	0,4
Медь	10,0	5,0	0,5	5,0	10,0	10,0	5,0
Цинк	40,0	40,0	5,0	25,0	10,0	10,0	10,0
Железо	30,0	50,0	3,0	50,0	50,0	50,0	15,0
Олово	200,0	200,0	100,0	–	200,0	200,0	100,0

Итак, в профилактической токсикологии и гигиене разработана система гигиенических нормативов, регламентирующая уровень допустимого воздействия опасных химических соединений на здоровье человека. Необходимо помнить, что гигиенические нормативы характеризуют **допустимые**, а не *оптимальные* условия воздействия факторов окружающей среды. Поэтому их соблюдение является необходимой мерой обеспечения безопасности населения.

*Неважно какого цвета кошка,
главное, чтобы она ловила
мышей.*

Дэн Сяо Пин

Глава 4. Методы и средства экологического контроля. Мониторинг окружающей природной среды

Контактные, неконтактные и биологические методы контроля. Почвенно-растительный контроль. Мониторинг окружающей природной среды. Цели, задачи, объекты экологического мониторинга. Системы мониторинга. Локальные, региональные и глобальные системы.

4.1. Методы контроля

Методы экологического контроля можно условно подразделить на **контактные, неконтактные и биологические.**

Контактные методы. Это физико-химические методы контроля химических веществ, загрязняющих ОПС. Иногда их объединяют термином «инструментальные методы анализа». Существует много разнообразных физико-химических методов, сочетающих высокую точность, воспроизводимость, надежность.

Основные физико-химические методы.

Метод газовой хроматографии. Метод основан на разделении летучих растворенных веществ при данной температуре. Площадь каждого пика пропорциональна концентрации соответствующего компонента.

Полярографический метод. Электрохимический метод, в основе которого лежит зависимость между характером поляризации рабочего электрода и количественным составом вещества.

Кондуктометрический метод. Основан на зависимости электропроводности и диэлектрической проницаемости среды от концентрации и природы данного компонента.

Кулонометрический и потенциометрический методы. Это электрохимические методы, которые основаны на измерении: первый – количества электрической энергии, второй – изменении потенциала электрода в зависимости от типа и количества вещества в пробе.

Колориметрический метод. Базирован на измерении ослабления светового потока, прошедшего пробу исследуемой среды.

Термографический метод. Базирован на тепловом расширении жидкостей (ртути, спирта) при нагревании или изменении с нагревом электросопротивления электродов, либо термоэдс.

Неконтактные методы. Методы основаны на использовании зондирующих полей (электромагнитных, акустических, гравитационных). При этом используется два свойства поля:

- осуществлять взаимодействие с контролируемым объектом;
- переносить полученную при этом информацию к датчику.

Неконтактные методы делятся на **активные и пассивные**.

Пассивные методы – осуществляют прием зондирующего поля, исходящего из самого объекта контроля. **Активные методы** – производят прием отраженных, прошедших или переизлученных зондирующих полей, созданных сторонними источниками.

В пассивных датчиках контроля обходятся только одной операцией – приемом сигналов, излучаемых самим объектом контроля. *Пассивные сигналы обладают малым объемом информативных параметров (частота, интенсивность и др.).* При активном контроле требуются две основные операции – излучение и прием зондирующих сигналов. *Активные сигналы обладают широким набором информации (частота, амплитуда, мощность, фаза, форма поляризации и др.).*

Применение неконтактных методов

При неконтактном контроле атмосферы используются акустические и электромагнитные зондирующие поля. Для этого используются: наземные лаборатории, наземные локационные станции, аэролаборатории (самолеты, радиозонды – до высот 25...40 км), метеоракеты (до 150 км), спутники.

Промышленные локаторы имеют радиус действия около 300 км. Учитывая скорость движения воздушных масс у поверхности Земли (~1000 км/сутки), для экологического прогноза на сутки надо охватить территорию с радиусом 1000...1500 км. Для этого используются спутниковые наблюдения.

Спутниковые системы дают информацию о вертикальном распределении давления, влажности, содержание озона и др.

Почвенно-растительный контроль позволяет оценить состояние почвы и сельскохозяйственных культур, помогает решению вопросов планирования сева, сроки и нормы полива, дозы подкормки почвы, дает информацию о влажности почвы, ее температуре, кислотности, засоленности, состоянии посевов и снежном покрове.

Используются следующие аэрометоды почвенно-растительного контроля, характеризующие состояние посевов:

- биометрический, позволяет контролировать биомассу культуры, площадь покрытия растительностью, ее высоту, густоту и др.;
 - повреждения полегания посевов, болезни, вредители;
 - засоренность сорняками, их виды, количество, степень развития и др.
- Этими методами оценивается загрязненность почвы пестицидами, тяжелыми металлами, канцерогенами.

Неконтактный контроль вод. В основе методов контроля лежит измерение термополей по их отражательной или излучательной способности. Применяются для:

- контроля параметров нефтяных загрязнений, при этом определяется площадь пятна, толщина нефтяной пленки (точность измерения – 0,1 мм при волнении моря до 3 баллов), примерный химический состав, что позволяет определить плотность нефти. Это позволяет оценить массу вылившейся нефти как произведение: площадь×толщина×плотность;
- измерение содержания биогенной взвеси в море (содержание планктона). Помогает рыболовству при поиске скоплений рыбы в море;
- ледовый контроль, определяется толщина, рельеф, плотность, температура, соленость льда. Эти параметры необходимы для проводки судов по Северному морскому пути.

Биологические методы. Для оперативного контроля за состоянием ОПС используются некоторые виды растений в качестве биомониторов. Такие растения недороги, легко воспроизводятся и избирательно реагируют на внешние воздействия.

Биомониторы бывают двух типов: **аккумулирующие и индикаторные**. Первые накапливают в своих тканях загрязняющие вещества, а вторые – обладают большей чувствительностью к воздействию загрязнителей данного типа, чем другие растения. У индикаторных растений под воздействием токсикантов изменяются скорость роста, процессы цветения, образование плодов и семян и др. У этих растений имеются типичные признаки, указывающие на присутствие в атмосфере загрязняющих веществ.

В табл. 4.1 приведены некоторые растения-индикаторы из сельскохозяйственных, декоративных и древесных пород.

Таблица 4.1

Растения-индикаторы

Химический загрязнитель	Древесные породы	Сельскохозяйственные и декоративные растения
SO ₂	Ель, пихта, сосна	Пшеница, ячмень, гречиха, клевер. Фиалка
HF	Ель, пихта сосна, грецкий орех	Виноград, абрикос, петрушка. Гладиолус, ландыш, тюльпан.
NH ₃	Граб, липа	Сельдерей
HCl	Ель, пихта, ольха, лиственница	Фасоль, шпинат, редис, смородина, клубника.
Тяжелые металлы	Вяз, боярышник	Овсяница. Орхидея

В качестве объектов слежения в системе биомониторинга используются признаки повреждения растений. Устанавливаются число поврежденных листьев, число веток, их длина, диаметр веток и ствола, скорость роста ствола, размер листьев и хвои, цвет, длина, форма хвоинок и др. Хвойные породы наиболее чувствительны к различным химическим загрязнителям воздуха.

4.2. Мониторинг окружающей природной среды

Монитор (англ. monitor) – контролер, наблюдатель. Мониторинг (англ. monitoring) – наблюдение.

Мониторингом окружающей природной среды называются регулярно выполняемые по заданной программе наблюдения природных сред, природных ресурсов, растительного и животного мира, позволяющие определить их состояние и происходящие в них процессы под влиянием антропогенной деятельности. **Мониторинг** призван выявлять критические и экстремальные ситуации, факторы антропогенного воздействия на окружающую среду, производить оценку и прогноз состояния объектов наблюдения, обладать управляющими воздействиями для регулирования влияния техносферы на окружающую природную среду.

Основные цели экологического мониторинга состоят в обеспечении системы управления природоохранной деятельностью своевременной и достоверной информацией для наблюдения, диагностики и раннего предупреждения негативных ситуаций.

Система мониторинга призвана:

- *оценить показатели экосистемы;*
- *выявить причины изменения этих показателей;*
- *определить меры по исправлению ситуации до нанесения ущерба.*

Задачи экологического мониторинга:

- наблюдения за источником антропогенного воздействия;
- наблюдения за состоянием природной среды и происходящими в ней процессами;
- оценка фактического состояния природной среды;
- прогноз изменения состояния под действием антропогенных факторов.

Объекты экологического мониторинга:

Мониторинг организуется для систематического наблюдения за следующими объектами и параметрами природной среды:

- атмосфера (параметры – химический и радионуклидный состав, твердые и жидкие осадки, тепловые и влажностные состояния);
- гидросфера (параметры – химический и радионуклидный состав вод; взвеси и донные отложения; тепловые состояния поверхностных и грунтовых вод);
- почва (параметры – химический и радионуклидный состав);
- биота (параметры – химическое и радионуклидное загрязнение сельхозугодий, растительности, домашних и диких животных, птиц, рыб, насекомых);
- урбанизированная среда (параметры – химический и радионуклидный фон воздушной среды населенных пунктов, продуктов питания, питьевой воды);
- население (параметры – численность, плотность, рождаемость, смертность, заболеваемость, аномалии, уродства, возрастной состав).

Системы мониторинга по **масштабу** делятся на три уровня: локальные, региональные и глобальные.

Локальная – предприятие, район, город.

Региональная (национальная) – регион, государство.

Глобальная – относится к биосфере в целом.

Классификация мониторинга:

- *мониторинг загрязнения природной среды;*
- *мониторинг состояния природных ресурсов;*
- *фоновый мониторинг.*

4.3. Российский мониторинг ОПС

Мониторинг загрязнения **природной среды** осуществляет служба по гидрометеорологии и экологии. Наблюдения осуществляются в 252 городах (691 станция) РФ. Измеряются от 4 до 38 параметров.

Степень загрязнения **почвы** ежегодно определяется в 300...500 хозяйствах.

Загрязнение **поверхностных вод суши** контролируется по всем основным водотокам. Охвачено 1190 водных объектов (2488 створов).

Наблюдения за загрязнением **морской воды** (Россия – страна 11 морей!) ведут 320 станции, контролируя до 24 параметров.

Снежный покров контролируется 565 метеостанциями (сульфаты, нитраты, аммоний, бензапирен, тяжелые металлы).

Наблюдениями за **радиационной обстановкой** осуществляют ежедневно 1285 метеостанций и постов.

Комитет по геологии и использованию недр имеет 18 тыс. пунктов. Осуществляет надзор за состоянием подземных вод, оползнями, селями. Осуществляет мониторинг состояния природных ресурсов.

Госсанэпиднадзор осуществляет сбор информации о состоянии окружающей среды и здоровья населения.

*В безвыходное положение вход бесплатный,
но за выход всегда нужно платить.*

Истина

Глава 5. Защита окружающей среды. Методы защиты

Производственная деятельность человека и ее влияние на окружающую среду. Природные и антропогенные источники загрязнения. Загрязнение атмосферы, гидросферы и литосферы. Шум, вибрация, электромагнитные воздействия. Процессы и аппараты защиты атмосферы и гидросферы. Защита литосферы от промышленных загрязнений.

5.1. Методы защиты

В результате производственной деятельности создаются полезные для человека продукты труда (сталь, пластмассы и др.), но одновременно возникает большое количество отходов, в ряде случаев, не встречающихся в природе. В практике используется ≈ 100 тыс. химических соединений (всего науке известно ≈ 11 млн.), из них 40 тыс. обладают вредными для человека свойствами, 12 тыс. – токсичными. Они производят в природе необратимые изменения, нарушают круговорот веществ.

Очевидно, что природу надо **защищать**. Под **охраной ОПС** понимают систему мер, направленных на поддержание рационального взаимодействия между деятельностью человека и ОПС, обеспечивающих сохранение и восстановление природных ресурсов, предупреждающих прямое и косвенное влияние результатов деятельности общества на природу и здоровье человека.

Комплекс мер по защите ОПС распадается на два направления.

1) Полное использование природных ресурсов, доведение неиспользованных отходов производства до такого состояния, при котором они могут быть ассимилированы природой. Эти вопросы имеют обобщенное название «Ресурсосбережение» и будут рассмотрены в 6 главе.

2) Исключение вредных выбросов, сбросов и физических воздействий на окружающую среду. Эти вопросы – предмет настоящей главы.

5.2. Рассеивание выбросов в атмосфере

Рассеивание вредных веществ в атмосфере не является средством защиты её от загрязнения. Однако это позволяет снизить концентрацию токсичного компонента в районе выброса.

Распределения в атмосфере промышленных выбросов подчиняется законом турбулентной диффузии. На процесс рассеивания оказывают влияние состояние атмосферы, расположения предприятий и источников выбросов, характер местности, физико-химические свойства выбрасываемых веществ, высота источника, диаметр устья и др.

В дымовом факеле (рис. 5.1) выделяются четыре зоны.

- 1) Зона неорганизованного загрязнения;
- 2) Зона переброса факела выбросов. Эта зона характеризуется относительно невысоким загрязнением в приземном слое атмосферы;
- 3) Зона задымления. Зона с максимальным содержанием вредных выбросов;
- 4) Зона постепенные снижения уровня загрязнения.

Наиболее опасна зона задымления. Размеры зоны – 10-50 высот трубы. Максимальная концентрация прямо пропорциональна производительности источника и обратно пропорциональна квадрату его высоты над землёй. Подъём газов над трубой зависит от разности температур газов и атмосферы и от момента количества движения газов, выходящих из устья трубы.

Ветер играет двойную роль. С одной стороны, с увеличением скорости ветра возрастает разбавляющая роль атмосферы. С другой стороны, увеличение скорости ветра уменьшает высоту факела над устьем трубы.

В экологии существует понятие «опасная скорость ветра». Эта такая скорость, при которой приземные концентрации имеют наибольшее значение. Для того чтобы избежать такой ситуации скорость газа на выходе из трубы (W_T) должна в два раза превышать опасную скорость ветра.

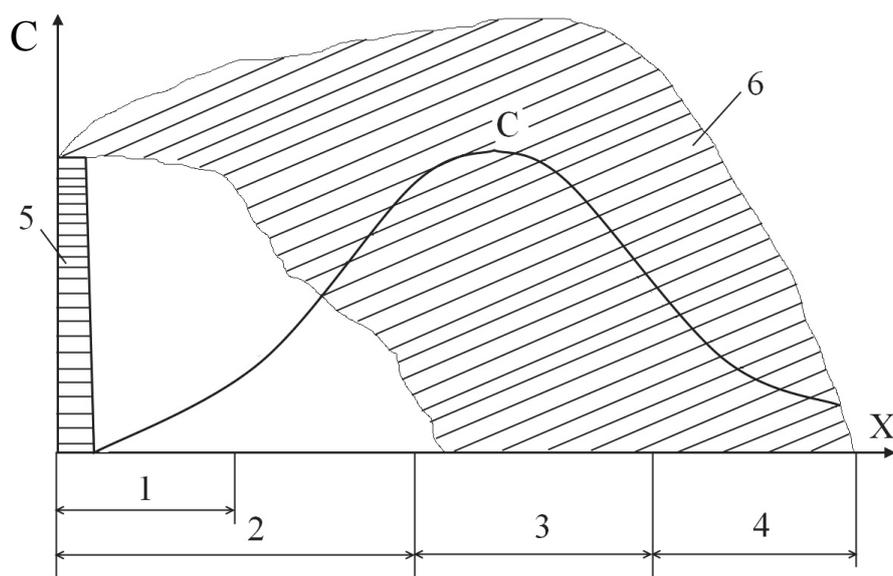


Рис. 5.1. Распределение концентраций вредных веществ в атмосфере от организованного высокого источника выбросов:

1 – зона неорганизованного загрязнения; 2 – зона переброса факела; 3 – зона задымления; 4 – зона постепенного снижения уровня загрязнения; 5 – труба; 6 – дымовой факел; С – концентрация загрязнителя в приземном слое атмосферы.

5.3. Санитарно-защитные зоны

Видное место в охране атмосфере занимают планировочные мероприятия, позволяющие существенно снизить воздействие загрязнения атмосферы на человека.

Выбор промышленной площадки осуществляется с учётом климатических характеристик (роза ветров) и рельефа местности. Промышленный объект должен быть расположен на возвышенном месте, хорошо продуваться ветрами. Если жилая постройка расположена выше, то снижается эффект рассеивающего действия труб (рис.5.2). Кроме того, застройка располагаться с подветренной стороны предприятия.

Жилая застройка должна быть отделена от промышленного предприятия санитарно-защитной зоной (рис. 5.3). Размер зоны зависит от мощности предприятия, характера технологических выбросов и их токсичности:

- 1 класс – 1000 м;
- 2 класс – 500 м;
- 3 класс – 300 м;
- 4 класс – 100 м;
- 5 класс – 50 м.

По нормативам металлургия относится ко 2 классу.

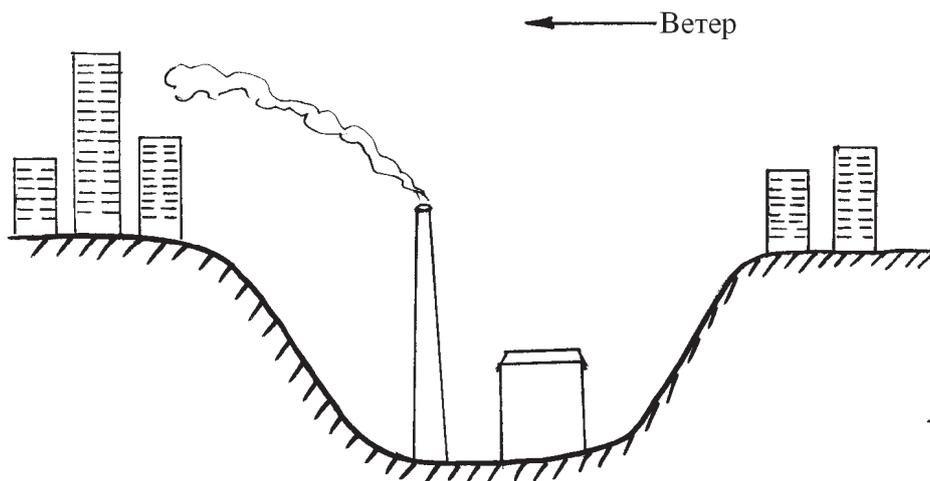


Рис. 5.2. Неудачное расположение предприятия

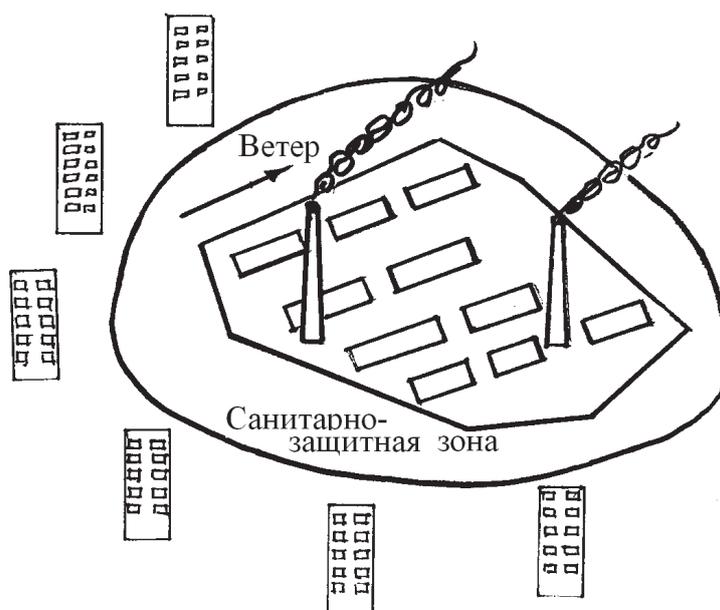


Рис. 5.3. Санитарно-защитная зона промышленного предприятия

5.4. Планировочные решения при строительстве и эксплуатации объектов крупного промышленного производства

Выбор площадок для строительства промышленных объектов производится с учетом следующих обстоятельств:

- рельеф местности;
- роза ветров;

- скорость ветра;
- расположение русел рек;
- роза ветров;
- наличие и уровень сложившегося фоновое загрязнения атмосферного воздуха;
- ограничения аэрофлота на допустимые высоты труб.

В годы первых пятилеток, когда создавалась промышленность СССР, жилые районы строились рядом с заводом или на расстоянии не более 1 км от завода. Это было связано с несколькими обстоятельствами:

- масштабы производства были не велики;
- не учитывались возможные последствия влияния выбросов на состояние воздушного бассейна;
- слабо развитая транспортная инфраструктура.

Знания были не велики, и проблема загрязнения воздуха в тот период не стояла так остро во всех странах. Сейчас ситуация изменилась.

В настоящее время разработка планировочных решений по размещению предприятий и жилой застройки должна производиться с учетом:

1) для новых заводов между промышленным предприятием и жилой застройкой (городом) следует предусматривать санитарный разрыв шириной 15...20 км;

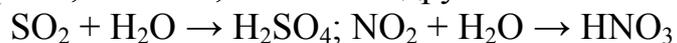
2) в условиях существующих заводов жилищное строительство следует располагать за пределами санитарного разрыва.

3) новые блоки заводов следует размещать так, чтобы их выбросы при направлении на город не складывались с выбросами существующих производств.

5.5. Процессы и аппараты защиты атмосферы

Технологические газы промышленных предприятий являются источниками компонентов, которые при попадании в атмосферу являются вредными для здоровья человека и окружающей среды. Это связано с тем, что в газах содержатся пыль, SO₂, NO_x, CO, CO₂, H₂S, ароматические соединения – бензол, бензапирен, фенолы, аммиак, цианистые, фтористые и хлористые соединения.

Для улавливания этих соединений и компонентов сооружаются системы газоочистки и промышленных газов. Иногда технологические газы являются ценным сырьем или топливом и их улавливания и утилизация экономически целесообразны. Например, доменный газ, генераторный газ, коксовый газ являются топливом, используемым для отопления нагревательных колодцев и др. объектов. Газы SO₂, HCl и др. являются сырьем для производства серной, азотной, соляной и других кислот



Для очистки технологических газов используются самые разнообразные устройства. Практически любые технологические газы очищаются прежде всего от твердых частиц или пыли.

Пылеулавливающее оборудование по принципу отделения твердых частиц от газовой фазы подразделяется:

- оборудование для улавливания пыли «сухим» способом (например, циклоны, пылеосадительные камеры, фильтры, электрофильтры и др.);
- оборудование для улавливания пыли «мокрым» способом (например, скрубберы, пенные аппараты, трубы Вентури и др.).

5.5.1. Оборудование для очистки газов «сухим» способом

Циклон. Принцип работы циклона (рис. 5.4), как очистного сооружения, основан на том, что газы безинерционны, а любые материальные (твердые) частички обладают моментом инерции.

Запыленные газы подаются через патрубок 1 в цилиндрическую часть циклона 2, закручиваются, изменяя направление движения, при этом твердые частички пыли выпадают из потока и накапливаются в конической части циклона 3, а обеспыленные газы через патрубок 4 направляются либо в трубу, либо на следующую ступень очистки. Периодически пыль 5 через затвор в конической части циклона 3 удаляется в емкость 6. Схема цилиндрического и конического циклонов представлены на рис. 2.3 (Часть 2).

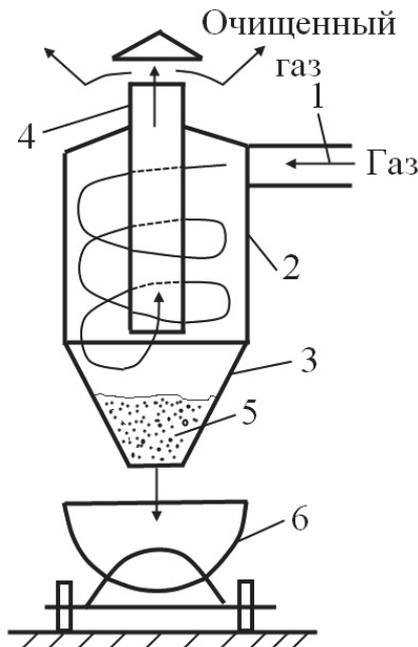


Рис. 5.4. Принцип работы циклона

Степень очистки газов в циклоне зависит от массы частичек пыли или при одинаковой плотности – от их размера. В циклоне обеспечивается следующая степень очистки промышленных газов:

размер твердых частиц, мкм	степень очистки, %
$d = 30 \dots 40$	98
$d = 10$	80
$d = 4 \dots 5$	60

Электрофилтры. Очистка газа в электрофилтре производится под действием электрических сил. Конструктивно электрофилтры подразделяются на **пластинчатые** и **трубчатые**.

Пластинчатые электрофилтры (рис. 5.5а) представляют собой камеру, внутри которой размещены электроды в виде пластин, между которыми пропускается запыленный газ. Напряженность поля 50...100 кВ создается между осадительными и коронирующими электродами. Под действием электрического поля частицы пыли ионизируются и осаждаются на электроде. Для регенерации электрофилтра напряжение на электродах отключается, и пыль встряхиванием удаляется с осадительных электродов.

Трубчатые электрофилтры (рис. 5.5б) представляют собой систему труб диаметром 200...250 мм, внутри которых проходит коронирующий электрод. Под действием электрического поля частицы пыли ионизируются и осаждаются на внутренней поверхности труб, которые выполняют функцию осадительных электродов. Регенерация таких электрофилтров производится пропуском потока воды в перерывах технологического процесса после снятия напряжения.

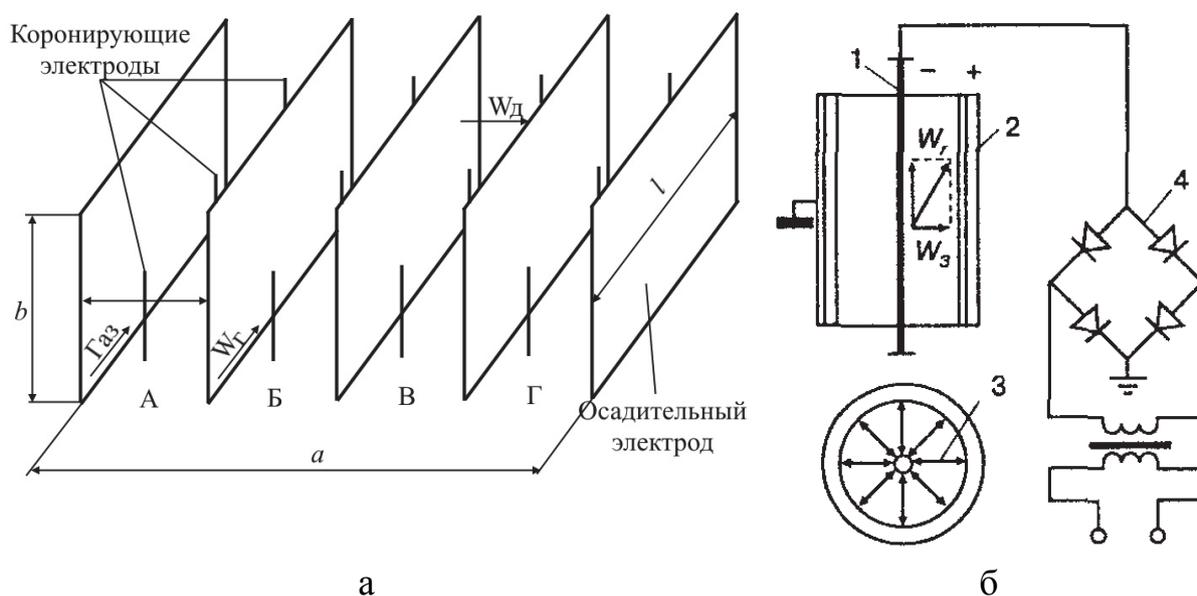


Рис.5.5. Схемы пластинчатого (а) и трубчатого (б) электрофилтров

На рис. 5.6 показана конструкция промышленного электрофилтра. При размере частиц $d \geq 5$ мкм степень очистки газов в электрофилтрах составляет 95...98%.

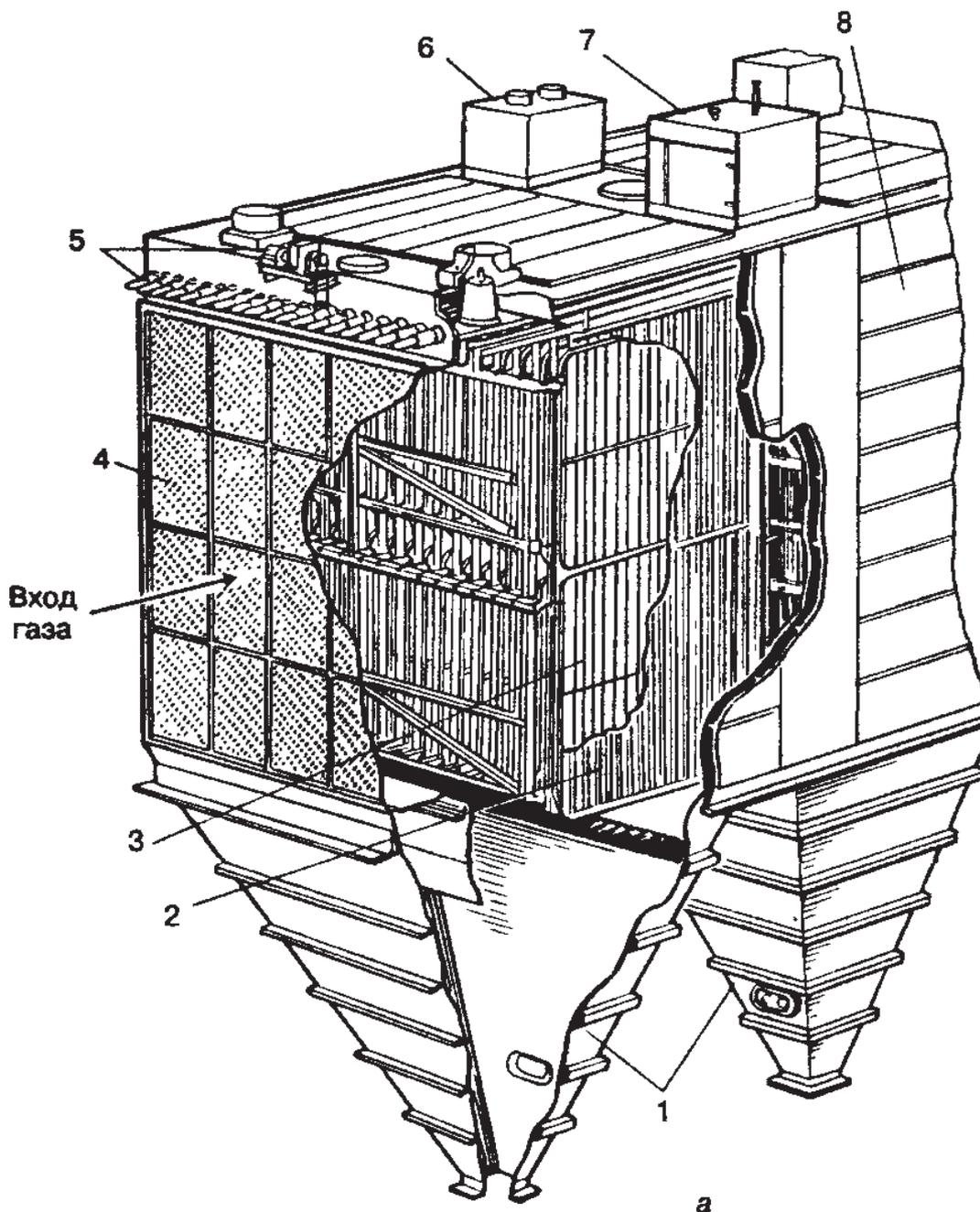


Рис. 5.6. Электрофильтр типа УГ

Пористые тканевые фильтры. Принцип работы такого фильтра такой же, как и домашнего пылесоса. Конструктивно они подразделяются на **рамочные** (рис. 5.7а), **рукавные** (5.7б) и **рулонные**. Фильтр представляет собой камеру, в которой на пути движения запыленных газов устанавливаются тканевые перегородки из синтетических тканей (нитрон, лавсан и др.), выдерживающие температуру до 150 °С, или из стеклоткани – до 250 °С. Степень улавливания пыли в тканевых фильтрах – 96,5...99,9%.

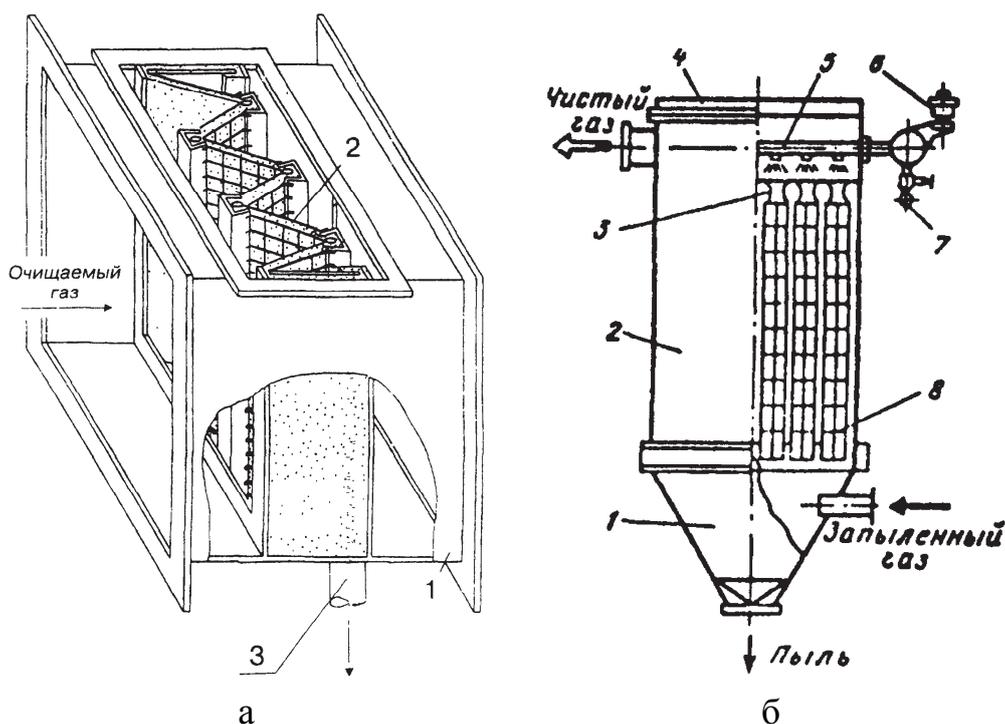


Рис. 5.7. Пористые тканевые фильтры:

а – рамочный волокнистый фильтр ФВГ-М;
1 – корпус; 2 – фильтрующая кассета;
3 – штуцер гидрозатвора.

б – рукавный фильтр ФРКИ;
1 – бункер; 2 – корпус; 3 – сопло;
4 – крышка; 5 – труба раздающая;
6 – клапан; 7 – коллектор; 8 – секция рукавов.

5.5.2. Оборудование для улавливания пыли «мокрым» способом

Скруббер. Представляет собой сооружение башенного типа цилиндрической формы, выполненное из стального листа, высотой до 10 м и диаметром до 4 м (рис. 5.8). Запыленный газ проходит через завесу воды, создаваемую форсунками для распыления воды. Принцип действия мокрой очистки основан на взаимодействии улавливаемых частиц пыли с каплями воды. При этом одновременно происходит и охлаждение газов. Утяжеленные каплями воды пылинки осаждаются в нижней части скруббера и удаляются насосами в виде шлама. Используется для очистки больших потоков горячих (до 400 °С) запыленных газов.

Трубы Вентури. Применяются для тонкой очистки промышленных газов от пыли. Очищаемый газ проходит через завесу воды, подаваемой в узкую часть трубы Вентури (рис. 2.5, Часть 2). Благодаря высокой скорости вода дробится на мелкие капли и смачивает пыль. В диффузоре скорость газа уменьшается и капли укрупняются, что облегчает их отделение от газа. Сечение трубы Вентури может быть как круглым, так и прямоугольным (при больших расходах газа). Максимальная температура газа – 300 °С. Степень очистки в скоростном газопромывателе с трубой Вентури – 98%.

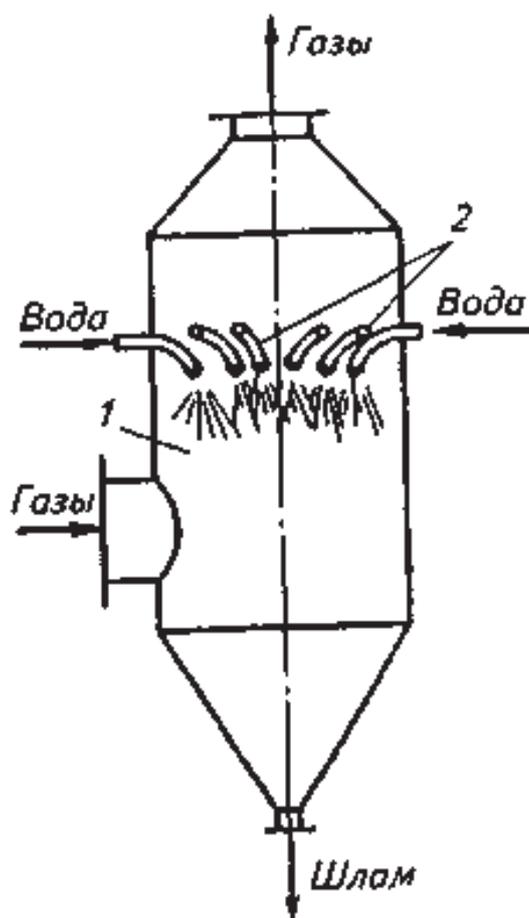


Рис. 5.8. Полный форсуночный скруббер:
1 – корпус; 2 – форсунки

5.5.3. Очистка газов от газообразных соединений

Абсорбционный метод. Для очистки технологических газов от содержащихся в них газообразных вредных примесей широкое применение нашли методы абсорбции. Этим методом возможна очистка газа от CO_2 , H_2S , SO_2 и других примесей.

Абсорбционные методы очистки подразделяются на два типа:

- аппараты, работающие при атмосферном давлении;
- аппараты, работающие при избыточном давлении.

При этом принципиальные схемы установок различаются.

В аппаратах, работающих **при атмосферном давлении**, абсорбер представляет собой башню (рис. 2.7, Часть 2) с помещенной внутри насадкой в виде керамических колец, деревянных реек, кусковых материалов из кварца и др. (рис. 2.8, 2.9, Часть 2). В **абсорбере** используется принцип противотока, когда очищаемый газ подается снизу, а отводят сверху. Промывную жидкость подают сверху, а выводят через низ аппарата. При про-

мывке газов жидкостью в ней растворяется определенное количество удаляемого газа. Количество поглощенного газа

$$G = k \cdot F \cdot \Delta p \cdot \tau,$$

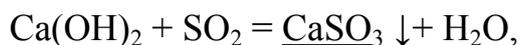
где k – коэффициент абсорбции, кг/(м²·ч·мм рт.ст.);

F – площадь контакта газ – жидкость, м²;

Δp – движущая сила абсорбции, мм рт.ст.;

τ – время, ч.

Так, например, при очистке отходящих газов от SO₂ в качестве промывной жидкости используется суспензия извести. При взаимодействии с SO₂ образуется плохо растворимый в воде **сульфит кальция**, который выпадает в осадок,



а очищенные газы отводятся через верхнюю часть аппарата. Степень очистки газов в таких абсорберах достигает 90%.

Абсорберы, работающие при избыточном давлении конструктивно более сложны (рис. 5.9), но позволяют более глубоко очищать газы от примесей. Это связано с тем, что количество поглощенного газа G возрастает с увеличением движущей силы абсорбции, которая, в свою очередь, является функцией давления газа $\Delta p = f(p^{\text{компл.}})$.

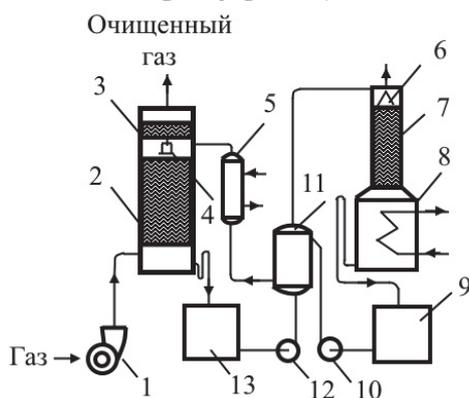


Рис. 5.9. Схема абсорбционной установки:

- 1 – вентилятор; 2 – абсорбер; 3 – брызгоотбойник; 4, 6 – оросители;
5 – холодильник; 7 – десорбер; 8 – куб десорбера; 9, 13 – емкость для абсорбента; 10, 12 – насосы; 11 – теплообменник.

В установках, работающих при избыточном давлении (напорные установки), абсорбер представляет собой закрытый сосуд, находящийся под давлением. В качестве примера рассмотрим работу напорной установки, служащей для поглощения диоксида углерода (рис. 5.10).

Диоксид углерода CO₂ – малотоксичный газ. Его содержание в атмосфере около 0,03%, но он поглощает 18% теплового излучения Земли, создавая «парниковый эффект» и изменяя климат. Он содержится во всех технологических газах, образующихся при сжигании топлива. В ряде тех-

нологических газов является балластом, ухудшающим их теплотворную способность (например, в колошниковом газе).

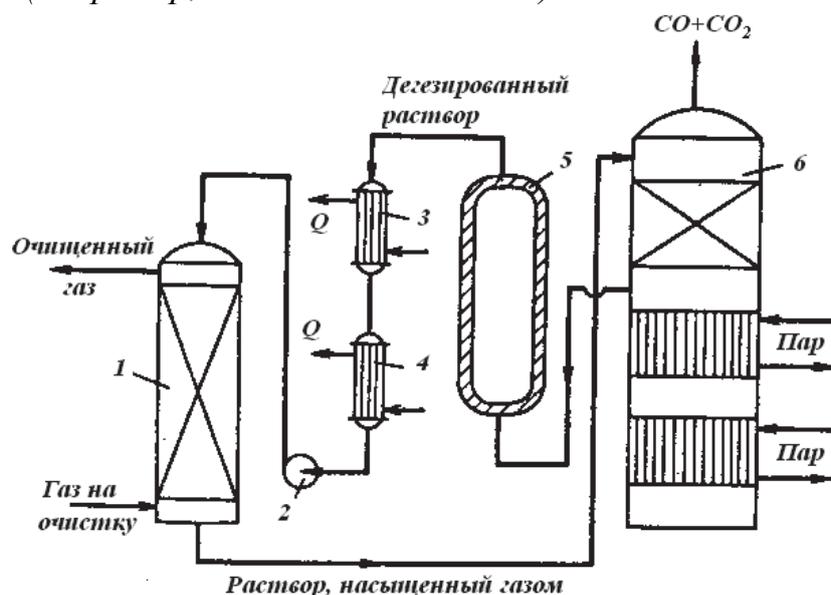


Рис. 5.10. Схема напорной установки:

1 – абсорбер; 2 – насос; 3 – водяной холодильник; 4 – аммиачный холодильник; 5 – емкость; 6 – десорбер

На рис. 5.10 показана схема напорной установки, где поглотителем является вода. При пропускании газа через воду при давлении 1...3 МПа он поглощается водой, которая насосами перекачивается в десорбер, где при постепенном снижении давления до атмосферного газ выделяется из жидкости. Полученный достаточно чистый газ CO_2 (98–99%) является товарным продуктом и направляется потребителю.

Очистку газов от **хлористого водорода** HCl производят поглощением газа слабым раствором соляной кислоты и получают раствор с высоким содержанием HCl . После выпаривания воды получают концентрированную соляную кислоту, являющуюся товарным продуктом.

Вообще техника поглощения газа в установках приблизительно одинаковая. Различаются методы регенерации. Так, например, при магниезинковом методе поглощения диоксида серы SO_2 суспензией оксида магния

$$\text{MgO} + \text{SO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \downarrow$$

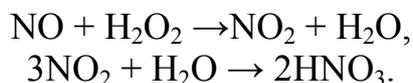
растворимость сульфида магния в воде ограничена, и он выпадает в осадок.

Продукт после сушки в барабанных сушила направляют на обжиг при 800–900 °С, где в присутствии восстановителя (кокса) поглотитель регенерируется



Газ, содержащий ~15% SO_2 , направляют для получения серной кислоты, а твердый остаток – на изготовление суспензии.

В дымовых газах при сжигании топлива содержится смесь NO и NO₂ (NO_x), причем содержание NO достигает 90%. Очистить от NO методом абсорбции сложно, так как он имеет низкую активность. Поэтому в поглотительный раствор (воду) добавляют окислитель (перекись водорода H₂O₂, перманганат калия KMnO₄), окисляя NO до NO₂, а затем связывают NO₂ в азотную кислоту



Степень очистки газов достигает 97%, при этом азотная кислота является товарным продуктом.

Адсорбционные методы относятся к сухим методам очистки. Для поглощения вредных примесей используются твердые сорбенты (активированный уголь, алюмосиликаты, природные цеолиты и др.). Эти методы не используются для очистки больших количеств газов. Как правило, они используются для глубокой доочистки газов.

Аппаратура проста, но громоздка. Агрегат представляет собой башню (рис. 5.11), в которой устанавливается 10...12 корзин с сорбентом. Высота каждой корзины 0,4 м. Она имеет пористое днище.

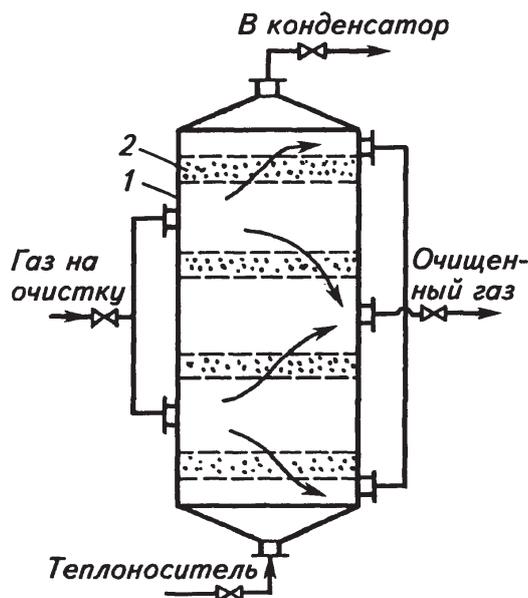
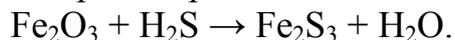
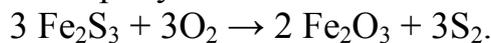


Рис. 5.11. Адсорбер:
1 – корпус; 2 корзины с сорбентом

Так, при очистке от сероводорода поглотителем служит оксид железа



Регенерация производится продувкой окислителем



Такая очистка обеспечивает содержание в газах сероводорода не более 2 мг/м³.

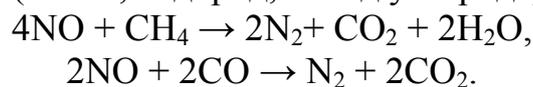
При очистке от SO₂ в качестве сорбента используется активированный уголь. Регенерируется он двумя способами:

термический – нагрев до 400...450 °С, при этом продукты десорбции содержат 40...50% SO₂;

экстракционный – обработка горячей водой. Продукт десорбции получают в виде 10...15% серной кислоты H₂SO₄, который выпаривают до требуемой концентрации.

Каталитические методы. Суть этих методов заключается в том, что в результате каталитических процессов либо обезвреживается токсичный компонент в газе, либо он переводится в форму, легко удаляемую из очищаемого газа. Так, при очистке газов от оксидов азота главная сложность – удаление из газа NO, т. к. он обладает малой активностью, малорастворим в воде и не образует соли. Вместе с тем это сильный токсикант нервно-паралитического действия.

Для удаления NO используют каталитическое восстановление на поверхности катализаторов. Катализаторами служат металлы платиновой группы, никель, хром, медь или ванадий. Металлы наносят на керамические термоустойчивые материалы. Для восстановления используют восстановительные газы (метан, водород, оксид углерода)



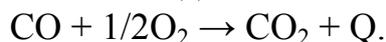
Процесс идет до получения газообразного азота и диоксида углерода, которые сбрасываются в атмосферу.

Метод каталитической очистки газов (*в агломерационном производстве*) от CO включает обезвреживание этих газов путем окисления CO до CO₂ в контактных аппаратах трубчатого типа с медно-хромовым катализатором при температуре 300...350 °С. Степень очистки близка к 100%.

Еще один метод каталитической очистки газов от SO₂ включает пропускание газов через каталитический аппарат, где на ванадиевом катализаторе при температуре 460...480 °С происходит доокисление SO₂ до SO₃ (приблизительно 90%). Затем при орошении водой серный ангидрид легко переводится в серную кислоту. Степень очистки – 90%.

Термические методы. Угарный газ CO является сильным токсикантом, но в тоже время – это высококалорийное топливо и ценное химическое сырье. Сбрасывать его в атмосферу нельзя. Поэтому этот газ собирают и частично нейтрализуют термическим методом. На рис. 5.12 представлена схема газоочистки конвертерного цеха с утилизацией CO.

При реакции окисления CO выделяется много тепла



Поэтому образующийся при продувке чугуна кислородом в конвертере угарный газ частично собирается в газгольдер и используется как топливо, а частично нейтрализуется дожиганием на свече до малотоксичного газа CO₂.

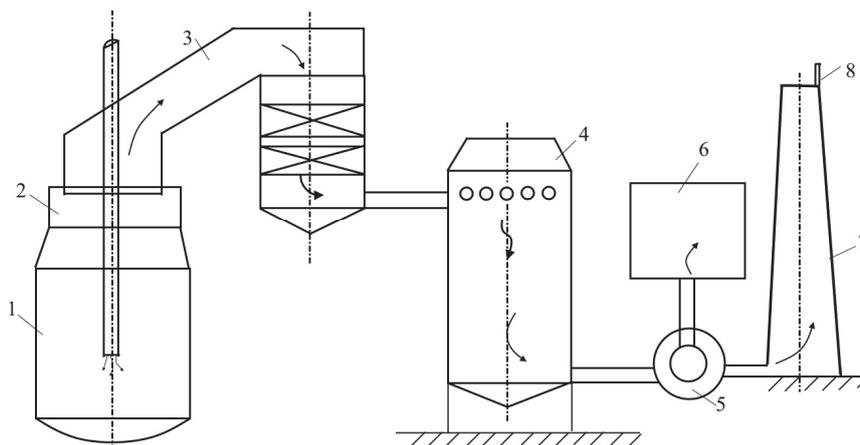
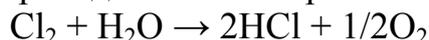


Рис. 5.12. Схема газоочистки конвертерного цеха с утилизацией оксида углерода:

1 – конвертер; 2 – юбка; 3 – газоход; 4 – скруббер; 5 – эксгаустер; 6 – газгольдер; 7 – труба; 8 – свеча.

Термический метод используется при очистке сбросных газов от газообразного хлора Cl_2 , переводом его в хлористый водород HCl .



Затем хлористый водород извлекают из газов методом абсорбции с получением соляной кислоты. Степень очистки составляет 88%.

5.6. Процессы и аппараты защиты гидросферы

5.6.1. Гидросфера

Вода – важнейший элемент биосферы. Она играет решающую роль во многих процессах, протекающих в природе, и в обеспечении жизни человека.

Вода применяется как сырье, хладагент, источник энергии, для орошения культур, для транспортировки грузов. Многообразие применения воды для различных целей объясняется ее исключительными химическими, физическими и биологическими свойствами.

Как известно, формула воды H_2O была предложена в 1805 году А. Гумбольдтом и Ж. Гей-Люссаком. Но это усредненное описание воды. Так как водород имеет 3 изотопа, а кислород – 5, то может существовать 36 видов изотопной воды. Вода обладает высокой диэлектрической постоянной (80,1 при 20°C), благодаря чему является уникальным растворителем.

В природе чистой воды нет. Пресной считается вода, содержащей ~1 г/л соли. В морской воде содержится разное количество соли от 5 г/л в Балтийском море до 41 г/л в Красном (в Черном – 18, в океане – 35 г/л).

Кроме соли вода содержит твердые взвеси, коллоидные частицы, гумус. В воде растворены азот, кислород, CO₂.

Защита гидросферы имеет два направления:

- уменьшение расхода воды;
- очистка сточных вод.

Все способы очистки сточных вод делятся на две группы:

- механическая очистка от взвесей и дисперсно-коллоидных частиц;
- очистка от химических веществ, которая может производиться разными методами:

- физико-химические методы (флотация, адсорбция, дистилляция, ионный обмен и др.);
- химические методы (реагентная очистка);
- электрохимические методы;
- биологические методы;
- термические методы.

В качестве наиболее употребительных методов используется:

- 1) для суспензированных и эмульгированных примесей – отстаивание; флотация; фильтрование; осветление; коагуляция и др.;
- 2) для очистки от неорганических соединений – дистилляция; ионообмен; обратный осмос; электрохимические методы и др.;
- 3) для очистки от органических соединений – экстракция; адсорбция; ионообмен; реагентные методы, биологическое окисление, озонирование, хлорирование, электрохимическое окисление;
- 4) для очистки от газов и паров – отдув, нагрев, реагентные методы;
- 5) для уничтожения вредных веществ – термическое разложение.

Механическая очистка от взвесей и дисперсно-коллоидных частиц

Взвешенные примеси разделяются на твердые и жидкие. Они образуют с водой дисперсные системы трех типов:

- 1) грубодисперсные системы с частицами более 0,1 мм (суспензии, эмульсии);
- 2) коллоидные системы с частицами размером 0,1 мкм...1 нм;
- 3) истинные растворы с размером частиц, соизмеримыми с ионами, молекулами.

Механическая очистка осуществляется в три этапа.

1 этап. Процеживание. Эта стадия предназначена для выделения очень крупных частиц размером до 25 мм. Осуществляется пропусканием сточных вод через систему металлических решеток (рис. 5.13) с уменьшающимися ячейками (последовательно 25,20,15,10 мм).

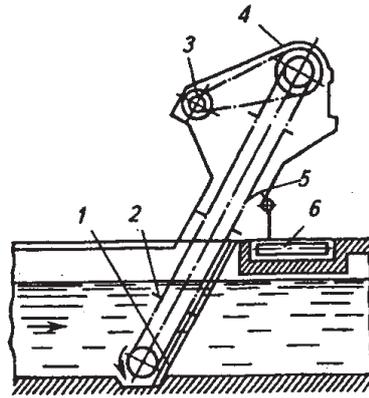


Рис. 5.13. Грабельные решетки:

1 – решетка; 2 – граблина; 3 – привод механических грабель;
4 – корпус; 5 – сбрасыватель отбросов; 6 – ленточный транспортер

2 этап. Отстаивание. Используется для осаждения твердых грубодисперсных примесей и удаления жидких примесей, имеющих плотность меньше, чем плотность воды (нефть, масла, смолы, жиры, СОЖ и др.). Процесс отстаивания осуществляется в устройствах, которые называются **отстойники**. Отстойники выполняются двух типов: **горизонтальные** (рис. 5.14) и **радиальные** (рис. 5.15).

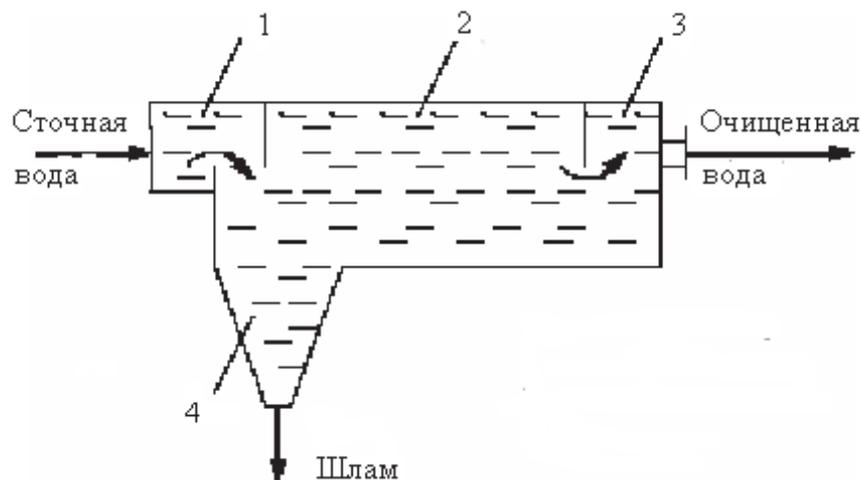


Рис. 5.14. Схема отстойника горизонтального типа:

1 – входной лоток; 2 – отстойная камера; 3 – выходной лоток; 4 – приямок

Отстойник горизонтального типа состоит из железобетонного корпуса и двух перегородок. Это громоздкое сооружение длиной до 100 м, шириной 4...5 м и глубиной 2...3 м. Сточная вода подается через входной лоток 1 в один торец отстойника, а очищенная отводится через патрубок в противоположном торце отстойника. Твердые грубодисперсные примеси осаждаются в приямке 4 и в виде шлама удаляются из отстойника.

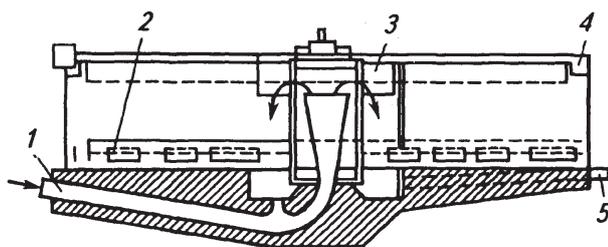


Рис. 5.15. Радиальный отстойник:

1 – труба для подачи воды; 2 – скребок; 3 – распределительная чаша;
4 – водослив; 5 – отвод осадка

3 этап. Фильтрация. Предназначено для очистки от тонкодисперсных примесей. В качестве перегородок используются металлические сетки, изготовленные из нержавеющей стали, алюминия, никеля, латуни, синтетических тканей и зернистые материалы, такие как песок, гравий, торф (рис. 5.16).

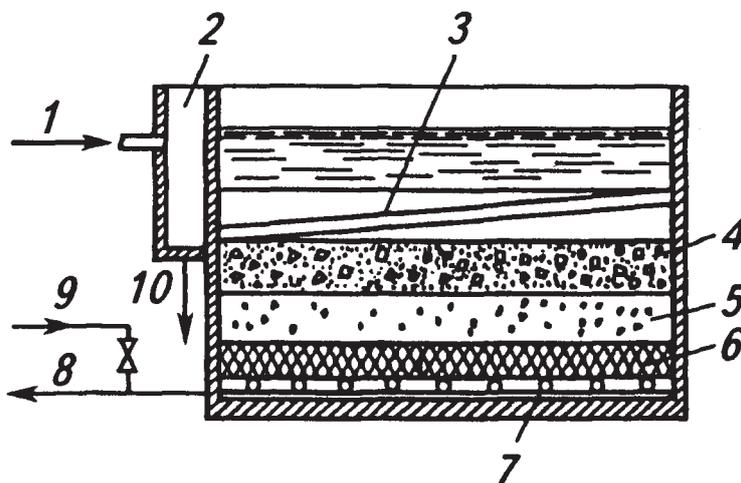


Рис. 5.16. Двухслойный фильтр:

1 – подача сточной воды; 2 – карман; 3 – желоб; 4 – слой антрацита;
5 – слой песка; 6 – гравий; 7 – дренаж; 8 – отвод фильтрата; 9 – подача промывной воды; 10 – отвод промывной воды

5.6.2. Очистка от химических веществ

5.6.2.1. Физико-химические методы

К **физико-химическим методам** очистки сточных вод относятся флотация, экстракция, ионный обмен, выпаривание, дезодорация и др. Эти методы используются для удаления тонкодиспергированных частиц, газов, минеральных и органических веществ.

Флотация. Флотация применяется для удаления нерастворимых диспергированных примесей, которые плохо отстаиваются. Сущность метода состоит в слипании твердой частички с всплывающим газовым пузырьком, поднимающим ее на поверхность воды (рис. 5.17). Образовав-

шаяся пена вместе с твердыми частичками механически удаляется с поверхности воды. Вероятность прилипания и сила сцепления зависит от краевого угла смачивания θ . Масса частички не должна превышать силы ее сцепления и подъемной силы пузырька. Степень очистки этим методом – 95...98%.

Различают несколько способов флотации.

Флотация с механическим диспергированием заключается в подаче газа пневматическими устройствами (соплами, фурмами, через пористые днища и др.).

Флотация с выделением газа из раствора (рис. 5.18) используется для очистки от очень мелких частиц. Заключается в создании пересыщенного раствора газа в жидкости. При уменьшении давления пузырьки газа выделяются из раствора, удаляя загрязнение.

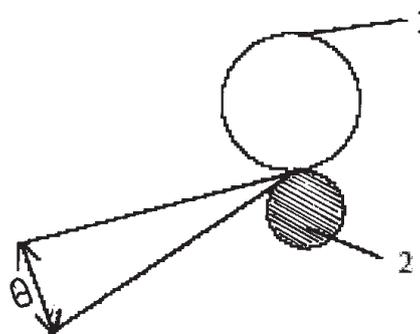


Рис. 5.17. Схема элементарного акта флотации:
1 – пузырек газа;
2 – твердая частичка

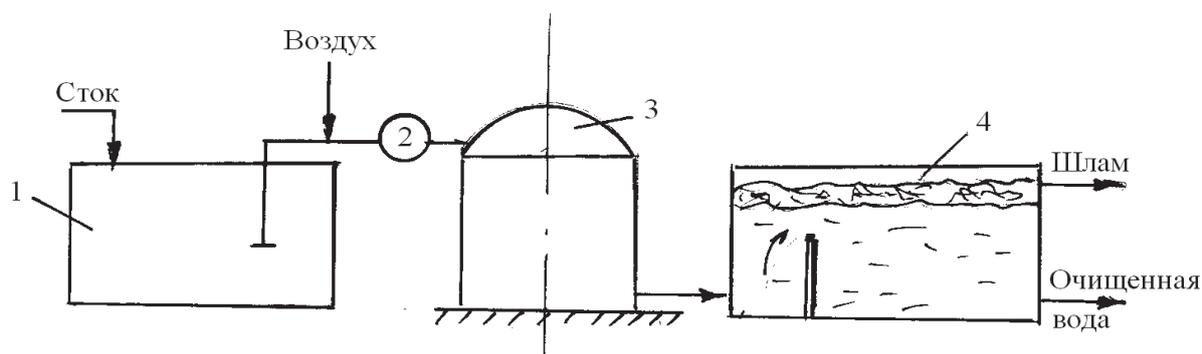


Рис. 5.18. Схема напорной флотации
1 – емкость; 2 – насос; 3 – напорный бак; 4 – флотатор

Химическая флотация – это введение в сточную воду химических веществ, вызывающих химическую реакцию с выделением газообразных продуктов (O_2 , CO_2 , Cl_2 и др.) Пузырьки этих газов флотируют примеси (пример – обработка хлорной известью).

Биологическая флотация – это выделение газовой фазы в результате деятельности микроорганизмов в отстойниках.

Электрохимическая флотация – это выделение газовой смеси водорода и кислорода в результате разложения воды под воздействием высокого напряжения (рис. 5.19).

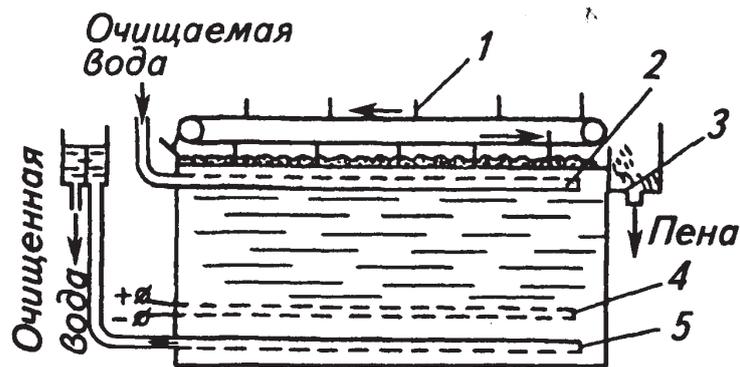


Рис. 5.19. Электрофлотатор:

1 – механизм для удаления пены; 2, 5 – трубы для подачи и вывода воды;
3 – сборник пены; 4 – электроды

Сточная вода поступает в приемную камеру, в нижней части которой расположен электродный блок 4. Он представляет собой набор катодов и анодов. Электроды выполняют в виде пластин или в виде проволочной сетки из меди или нержавеющей стали. Проходя между электродами, вода насыщается газообразными продуктами реакции, что приводит к всплыванию частиц. Степень очистки этим методом составляет 95...98%.

Адсорбционная очистка применяются для глубокой очистки и удаления из сточных вод фенолов, гербицидов, пестицидов, красителей и др. Достоинством метода является высокая эффективность, возможность регенерации этих веществ. Адсорбционная очистка подразделяется на:

- регенеративную, т.е. с извлечением веществ из адсорбента с его последующей утилизацией;
- деструктивную, при которой извлеченные вещества уничтожаются вместе с адсорбентом.

В качестве сорбентов используются активированный уголь, зола, шлаки, торф, глина, синтетические сорбенты.

Процесс адсорбции ведут при интенсивном перемешивании сорбента с водой (рис. 5.20) или при фильтровании через слой адсорбента (рис. 5.21).

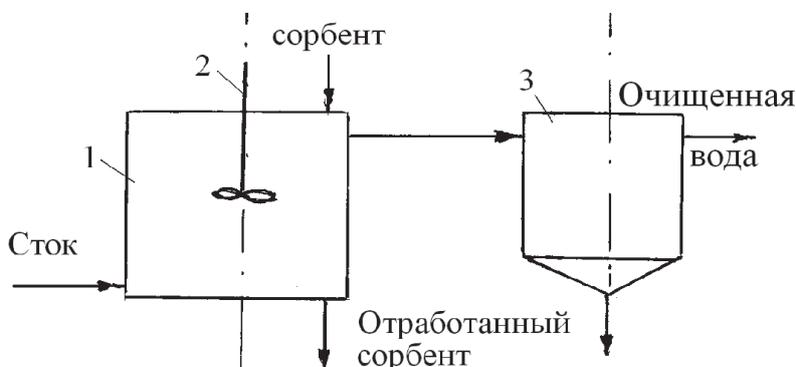


Рис. 5.20. Схема сорбционной установки:

1 – адсорбер; 2 – мешалка; 3 – отстойник

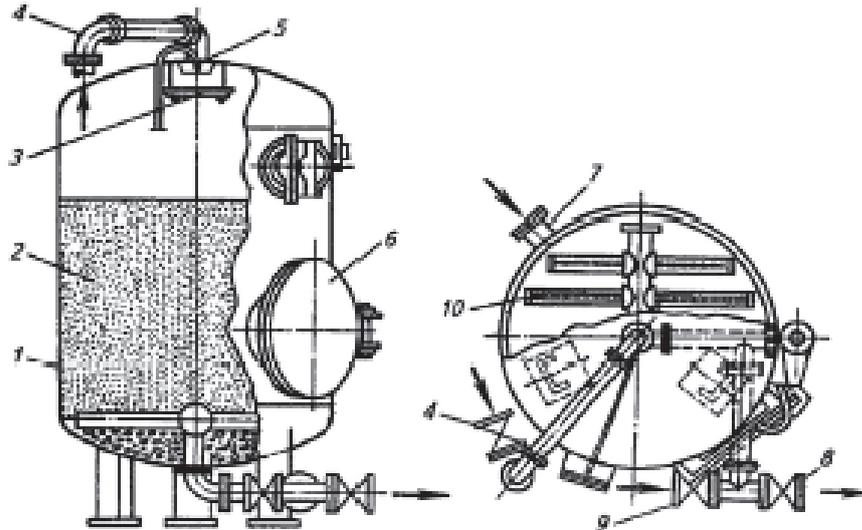


Рис. 5.21. Сорбционный параллельно-проточный аппарат вертикального типа:

1 – корпус; 2 – слой активного угля; 3 – отбойники; 4 – трубопровод подачи сточной воды; 5 – труба сброса воздуха; 6 – люк; 7 – трубопровод для выгрузки угля; 8 – трубопровод отвода очищенной воды; 9 – трубопровод подачи взрыхляющей воды; 10 – распределительная система труб

Регенерация осуществляется двумя способами:

1) Активированный уголь продувается паром (температура 200...300°C) или инертным газом (температура около 150°C). После десорбции пар конденсируют, и вещество извлекают из конденсата.

2) Экстракция осуществляется растворителем (бензол, толуол, метиловый спирт). Эффективность очистки этим методом – 90...95%.

Метод дезодорации. В некоторых сточных водах содержится аммиак, сероводород, амины и другие вещества, которые придают им дурной запах. Для очистки от запаха используются различные способы: аэрация, хлорирование, озонирование и др. Наиболее эффективен метод аэрации, который заключается в продувании воздуха через воду (рис. 5.22).

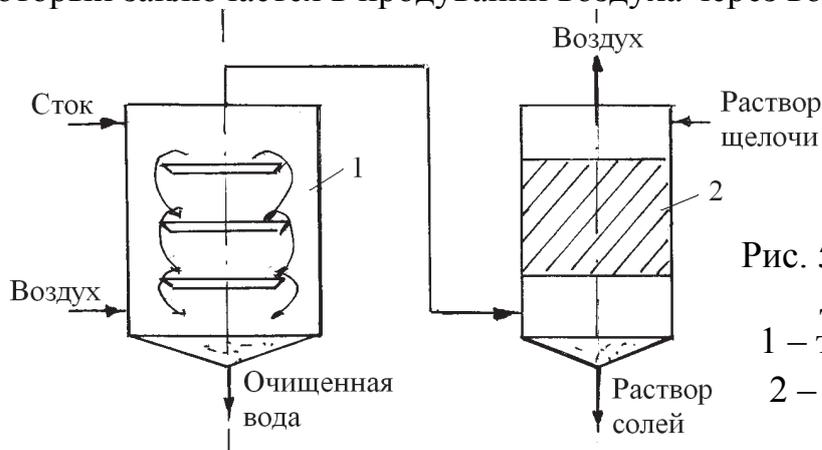


Рис. 5.22. Схема установки для дезодорации:

1 – тарельчатая колонна;
2 – насадочная колонна

Удаление дурнопахнущих веществ осуществляется в тарельчатой колонне (1) каскадного типа. Сточная вода растекается по тарелкам в виде тонкой пленки, на которых происходит ее контакт с воздухом. Затем воздух с выделенными веществами поступает в насадочную колонну, которая орошается щелочами.

Промышленное применение имеет также и хлорирование сточных вод, например, для удаления сероводорода



5.6.2.2. Химические и электрохимические методы очистки

К **химическим методам** очистки относятся нейтрализация, коагулирование, флокулирование, окисление и восстановление. Эти методы используются для удаления растворимых веществ и взвешенных частиц.

Нейтрализация. Например, реакция нейтрализации кислоты и щелочи с образованием соли и воды. Сточные воды содержат минеральные кислоты и щелочи. Нейтрализацию проводят различными методами, но с обязательным доведением раствора до водородного потенциала $\text{pH} = 6,5 \dots 8,5$:

– добавлением реагентов: щелочей – в кислотные воды, кислоты – в щелочные стоки. В качестве материалов используются: сода (Na_2CO_3), аммиачная вода (NH_4OH), карбонаты ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), суспензия извести ($\text{Ca}(\text{OH})_2$);

– смешением кислых и щелочных вод;

– фильтрованием через нейтрализующие материалы (слой доломита, известняка, золы, шлака).

К **электрохимическим методам** очистки относятся процессы анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляция, электрофлотация и др. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании постоянного электрического тока. Эти методы позволяют извлекать ценные продукты без использования химических реактивов. Анодное окисление и катодное восстановление проводят в электролизерах (рис. 5.23). На аноде (3) ионы отдают электроны и окисляются, а на катоде (4) – присоединяют и восстанавливаются.

Метод применяют для очистки сточных вод от цианидов, роданидов, нитратов, сульфосоединений. В процессе электрохимического окисления вещества полностью распадаются с образованием CO_2 , H_2O , NH_3 или образуются другие нетоксичные вещества.

Материалы: анод – графит, магнетит;

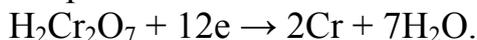
катод – графит, нержавеющая сталь, молибден, никель.

В качестве примера ниже приведен процесс анодного окисления цианидов



Метод позволяет перевести цианиды в газообразный азот. Степень очистки близка к 100%.

Катодное восстановление используют для очистки от ионов тяжелых металлов (свинца, олова, ртути, меди, Cr^{+6}). Принципиальная схема – $\text{Me}^{n+} + ne \rightarrow \text{Me}^0$. Например



В результате катодного восстановления компонент первой группы опасности Cr^{+6} преобразован в металлический хром.

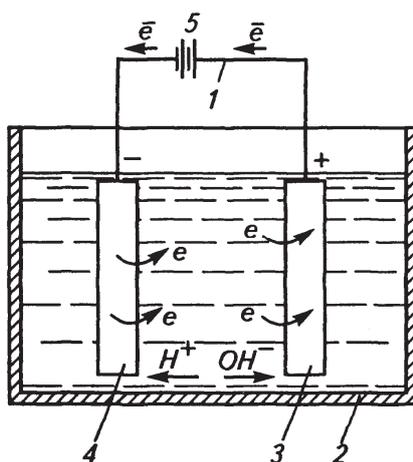


Рис. 5.23. Электролизер:

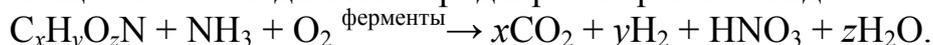
1 – внешняя цепь; 2 – емкость; 3 – анод; 4 – катод; 5 – источник питания

5.6.2.3. Биохимические методы очистки

Используются для очистки хозяйственных бытовых сточных вод и промышленных стоков от растворенных в воде органических и неорганических соединений. Процесс очистки основан на способности некоторых микроорганизмов питаться этими веществами в ходе своей жизнедеятельности. При этом микроорганизмы частично разрушают их, превращая в воду, углекислый газ, нитрит и сульфатионы, а частично затрачивают на увеличение биомассы. Разрушение органических веществ микроорганизмами называется биохимическое окисление.

Биохимические методы очистки подразделяются на аэробные и анаэробные. Первый основан на использовании микроорганизмов, для жизнедеятельности которых необходим постоянный приток кислорода. Второй – на использовании микроорганизмов для жизнедеятельности которых кислород не нужен. Их используют для обезвреживания осадков без доступа кислорода.

При использовании **аэробного метода** очистки для окисления органических веществ необходим кислород в растворенном виде:



Для этого используют биологические пруды (3...5 каскадов). При этом имеет место естественная аэрация. Искусственная аэрация производится в

устройствах, которые называются аэротенки. Они представляют собой железобетонные резервуары, глубиной 2...5 м, оборудованные устройствами для принудительной аэрации (рис. 5.24). На рис. 5.25 показана принципиальная схема работы такого устройства.

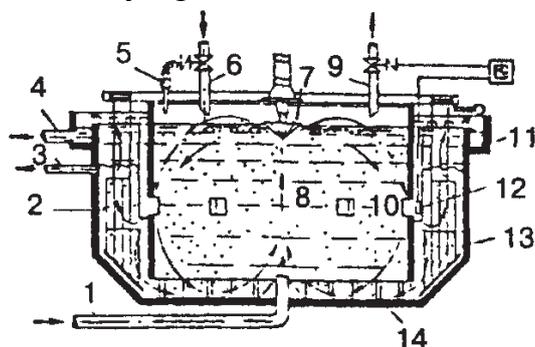


Рис. 5.24. Аэротенк:

1 – трубопровод сточной воды; 2 – зона отстаивания; 3 – стабилизатор уровня ила; 4 – трубопровод очищенной воды; 5 – датчик давления; 6 – трубопровод для подачи кислорода; 7 – аэратор; 8 – зона аэрации (реактор); 9 – трубопровод для отвода отработанного газа; 10 – окно; 11 – водосборный лоток; 12 – датчик растворенного кислорода; 13 – мешалка; 14 – отверстие для возвратного ила

Анаэробные методы очистки используют для сбраживания осадков, содержащих органические вещества, которые разрушают анаэробные бактерии. Продуктами брожения являются метан, спирты, кислоты, газы (CO_2 , H_2 , CH_4). Чаще всего используют метановое брожение.

Механизм этого процесса неоднозначен, но считается, что бактерии вырабатывают уксусную кислоту, в результате диссоциации паров которой образуются метан и диоксид углерода

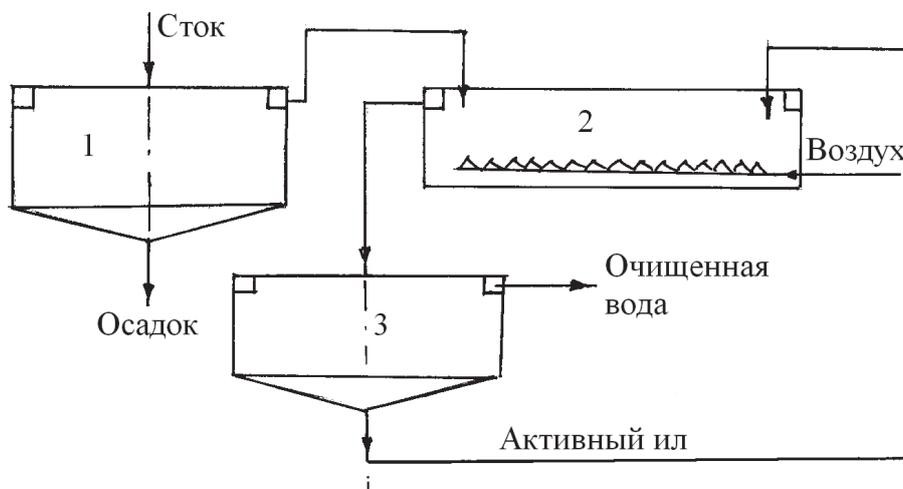


Рис. 5.25. Принципиальная схема установки для биологической очистки:
1 – первичный отстойник; 2 – аэротенк; 3 – вторичный отстойник

Процесс брожения производят в метантенках (рис. 5.26), закрытых резервуарах с извлечением энергоносителя.

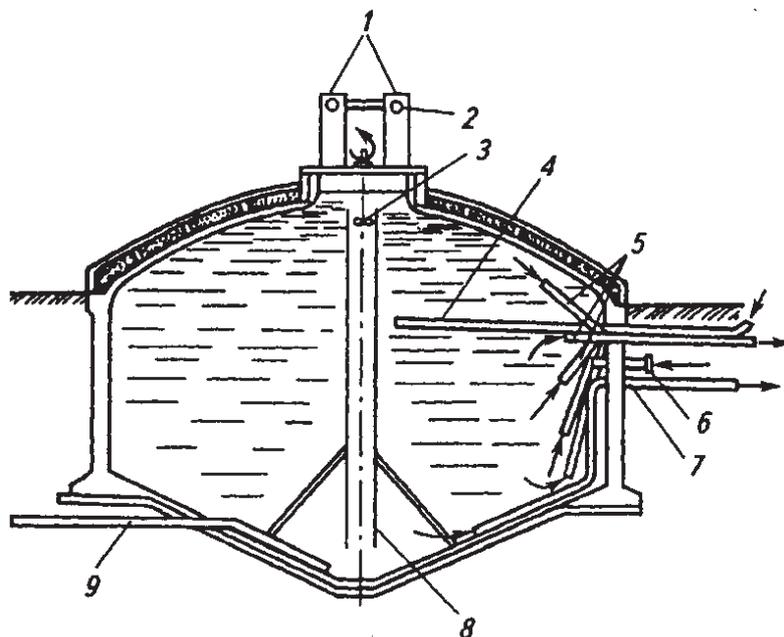


Рис. 5.26. Метантенка:

1 – газовый колпак для сбора газа; 2 – газопровод от газового колпака; 3 – пропеллерная мешалка; 4 – трубопровод для загрузки (например, сырого осадка и активного ила); 5 – трубопроводы для удаления иловой воды или выгрузки сброженного осадка с разных уровней; 6 – инжектор подачи перегретого пара для подогрева содержимого метантенки и перемешивания; 7 – трубопровод выгрузки суспензии твердофазных продуктов сбраживания (например, сброженного осадка); 8 – циркуляционная труба; 9 – трубопровод для опорожнения метантенки

5.6.2.4. Термические методы очистки

Термические методы очистки подразделяются на испарительные, вымораживающие и огневые.

В испарительных установках (рис. 5.27) сточная вода испаряется, пар конденсируется, дистиллят направляется потребителю, концентрированный раствор соли идет на выделение сухих веществ или захоронение.

В установках вымораживания концентрирование основано на том, что концентрация солей в кристаллах льда близка к нулю, т.е. существенно меньше, чем в растворе. Раствор охлаждают до двухфазного состояния, когда одновременно присутствуют жидкость и кристаллы льда. Затем лед отделяют, растапливают и воду отправляют потребителю. Концентрированный раствор утилизируют. *Аналогичная схема применяется при опреснении воды.*

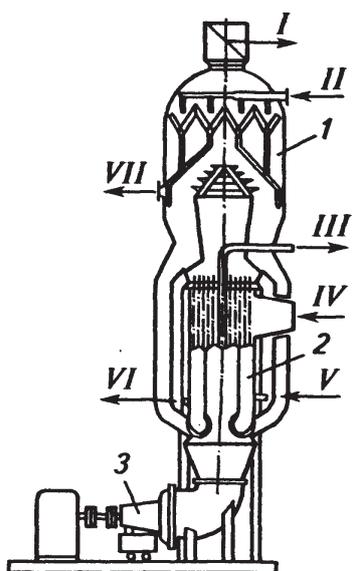


Рис. 5.27. Выпарной аппарат:

I – вторичный пар; II – промывная жидкость; III – неконденсирующиеся газы; IV – пар; V – транзитный дистиллят; VI – дистиллят; VII – упаренная сточная вода;

1 – сепаратор; 2 – циркулярные трубы; 3 – циркулярный насос

Огневые методы. По теплотворной способности химические промышленные стоки делятся на сточные воды:

- способные гореть самостоятельно;
- на обезвреживание которых необходимо топливо.

При использовании термоокислительных методов все органические вещества полностью окисляются при высоких температурах до нетоксичных соединений. Для этого используются печи различных конструкций: камерные, шахтные, циклонные и др.

На рис. 5.28 показана схема установки огневого обезвреживания. Сточные воды подаются в распыленном состоянии в печь при температурах 900...1000 °С. При этом вода испаряется, органические вещества сгорают, минеральные вещества образуют твердые или расплавленные частицы, которые улавливаются системой газоочистки.

Метод используется тогда, когда в стоках содержатся высокотоксичные органические вещества. Продуктом установки является пар.

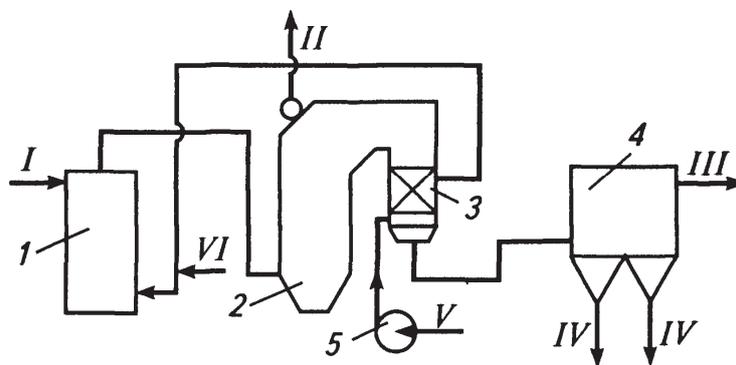


Рис. 5.28. Схема установки сжигания сточных вод с рекуперацией тепла:

I – сточная вода; II – пар; III – газ; IV – пыль; V – воздух; VI – топливо; 1 – печь; 2 – котел-утилизатор; 3 – воздухоподогреватель; 4 – газоочистка; 5 – воздуходувка

5.7. Защита от физических загрязнителей ОПС

Энергетические воздействия (шум, вибрация, электромагнитные излучения) также загрязняют окружающую природную среду, как и химические токсиканты. Важно уметь защищать среду от этих воздействий.

Меры, направленные на **уменьшение шума**:

- уменьшение уровня источника шума, путем замены устаревшего оборудования на новое, например, шумящего вентилятора на новый, бесшумный;
- размещение источника шума на возможно удаленном расстоянии;
- использование средств звукоизоляции, применение всевозможных глушителей;
- изменение ориентации источника шума.

В городе хорошей защитой от шума являются зеленые насаждения. Так, например, кустарник высотой 1,5 м между дорогой и зданием уменьшает шум в квартирах на 10 дБ, а два ряда деревьев – на 20 дБ.

Защита от **вибрации** включает две группы мер.

1) Снижение вибрации в источнике возникновения, вызванные динамическими процессами, ударами, ускорениями в агрегате, путем устранения плохого крепления деталей, люфтов, разбалансировки.

2) **Виброгашение, виброизоляция.** Это очень близкие, но не одинаковые меры. Виброизоляция заключается в установке мягких (резиновых, пластиковых) прокладок под вибрирующее устройство для уменьшения передачи вибрации на корпус здания. Виброгашение заключается в установке оборудования (1) на отдельные фундаменты, не связанные с фундаментом рабочей площадки (2) здания, где работает обслуживающий персонал (рис. 5.29).

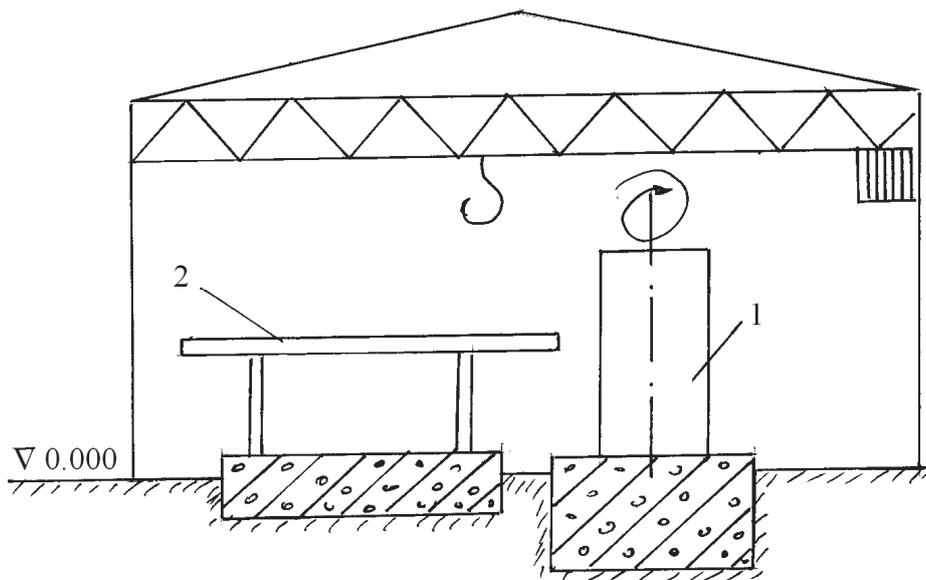


Рис. 5.29. Защита от вибрации методом виброгашения

Защита от электромагнитных полей (ЭМП). Лучшая защита от ЭМП – это защита расстоянием. Поэтому при размещении радиотехнических объектов, линий электропередач (ЛЭП) создаются санитарно-защитные зоны. В цехах предприятий для снижения уровня ЭМП используют экранирование оборудования, поглотители мощности на стенах, потолках. Материалы стен, перекрытий зданий выполняются из материалов, поглощающих или отражающих электромагнитные волны. Так, например, масляная краска поглощает около 30% волн сантиметрового диапазона. Известковое покрытие имеет малую отражательную способность.

Мощным источником ЭМП являются линии электропередач (ЛЭП). В табл. 5.1 представлены безопасные расстояния до ЛЭП различного напряжения.

Таблица 5.1

Санитарно-защитные зоны ЛЭП

Напряжение ЛЭП, кВ	Расстояние, м	Напряжение ЛЭП, кВ	Расстояние, м
1150	300	220	25
750	250	110	20
500	150	35	15
330	75	Менее 20	10

Защита от ионизирующего излучения заключается в регламентации сбора, удаления и обезвреживания радиоактивных отходов (РАО), а также их захоронения. Защита населения осуществляется созданием санитарно-защитных зон. Для предприятий атомной промышленности и ядерной энергетики установлены, зависящие от населения, минимальные расстояния до городов:

Население города, тыс. чел.	Расстояние, км
100	10
300	25
500	30
>1000	40

Классификация жидких радиоактивных отходов (РАО) представлена в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Классификация жидких РАО по активности

Категория РАО	Удельная активность, Бк/л	Практика обращения
Слабоактивные	$<3,7 \cdot 10^5$	Очистка, сброс в окружающую среду
Среднеактивные	$3,7 \cdot 10^5 \dots 3,7 \cdot 10^{10}$	То же
Высокоактивные	$\geq 3,7 \cdot 10^{10}$	Хранение, переработка, захоронение

Для очистки вод от первых двух категорий РАО используются упаривание, ионный обмен, химические методы.

Твердые отходы считаются радиоактивными:

- для источников α -излучения, если их удельная активность $\geq 7,4 \cdot 10^3$ Бк/кг;
- для источников β -излучения, если их удельная активность $\geq 7,4 \cdot 10^4$ Бк/кг;
- для источников γ -излучения, если их удельная активность $\geq 10^{-7}$ г.экв. радия/кг;

Если удельная активность меньше, то отходы удаляют с обычным мусором на захоронение. Короткоживущие нуклиды (≤ 15 суток) выдерживают на предприятии до необходимого снижения активности.

Захороненные РАО выделяют при хранении большое количества тепла, что может привести к взрывам. Поэтому их захоронение навалом в шахтах не производят. Захоронение производят в изолированном виде (в контейнерах из нержавеющей стали, в бетонированном или остеклованном виде) на больших глубинах на дне морей, океанов.

Следует подчеркнуть, что эта проблема до сих пор в полной мере не решена и «переложена на плечи» следующих поколений.

Развитие атомной энергетики

Это тоже одна из нерешенных до конца проблем нашей цивилизации. В РФ атомная энергетика пока единственное средство для производства электрической энергии с затратами, которые обеспечивают самокупаемость АЭС при ценах на электроэнергию, удовлетворяющих платежеспособный спрос населения на нее. Имеются аргументы «за» и «против» АЭС.

Аргументы «за»:

- 1) экономичный и более совершенный способ производства электроэнергии;
- 2) залог развития региона;
- 3) возможность решения проблем ядерной промышленности (переработка ядерных отходов «Маяка», понижения уровня озера Карачай);
- 4) меньше загрязняющих выбросов в атмосферу;
- 5) мировая тенденция.

Аргументы «против»:

- 1) опасения повторения аварий;
- 2) усугубление экологических проблем региона;
- 3) вред здоровью населения.

5.8. Защита литосферы от промышленных загрязнений

Литосфера – верхний покров Земли толщиной 30–40 км. Верхняя часть литосферы – почва. В литосфере сосредоточены основные добываемые источники сырья (уголь, нефть, руда и др.). Сейчас ежегодно из литосферы добывается около 100 млрд. т всевозможного сырья.

Использование минерального сырья сопровождается образованием большой массы **отходов**. Количество отходов зачастую превышает количество полученной продукции. Примеры из металлургии:

- черная металлургия – богатая железная руда содержит максимум 30...35% железа; остальные составляющие добытой руды идут в отходы;
- цветная металлургия – богатая медная руда содержит максимум 4...5% меди, в промышленности используется руда с 3...4% меди. Значительная часть остальных составляющих медной руды идет в отходы.

Твердые отходы подразделяются на 3 категории:

- промышленные;
- сельскохозяйственные;
- бытовые.

Все части нашей планеты (атмосфера, гидросфера, литосфера) связаны кругооборотом веществ. Инженерная защита литосферы условно подразделяется на два направления.

Первое – уменьшение выбросов в атмосферу, из которой на землю выпадают вредные примеси. В связи с этим земля вокруг крупных предприятий на значительные расстояния чрезвычайно загрязнена этими выбросами. Из загрязненной почвы вредные вещества поступают в продукты питания, выращенные на этой почве.

Второе – безотходное и малоотходное производство, т.е. получение таких отходов, которые не загромождают землю, не занимают огромные площади, а ассимилируются природой.

В табл. 5.3 показано поступление вредных веществ из загрязненной почвы в продукты питания.

Таблица 5.3

Движение пестицидов из почвы в растения

Пестицид	Культура	Содержание, мг/кг		Фактор перехода
		в почве	в растениях	
Линдан	Морковь	1,7	6,0	3,5
ДДТ	То же	24,8	3,17	0,13
Линдан	Картофель	3,0	0,62	0,21
ДДТ	То же	24,8	1,63	0,07
Линдан	Горох	0,62	22,9	36,9

ДДТ – дихлортрифенилтрихлорэтан, ПДК = 0,1 мг/кг.

«Ни один вид не может существовать в созданных им отходах».

Акад. Вернадский

Глава 6. Рациональное использование природных ресурсов и отходов

Характеристика природных ресурсов. Концепция безотходного производства. Безотходные и малоотходные технологии. Образование и классификация отходов. Вторичные материальные ресурсы. Комплексная переработка минерального сырья. Энергосбережение в промышленности. Вторичные энергетические ресурсы и их использование. Запасы воды и ее основные потребители. Роль воды в технологических процессах. Методы сохранения водных ресурсов.

6.1. Ресурсосбережение

Хозяйственная деятельность человека связана с потреблением значительного количества природных ресурсов. Любое производство связано с потреблением энергии, сырья и воды. Поэтому природные ресурсы условно подразделяют на минеральные (материальные), энергетические и водные. В связи с этим, когда речь идет о сбережении (экономии) ресурсов в сфере промышленного производства, то весь комплекс ресурсосбережения подразделяют на сбережения минеральных ресурсов, энергосбережения и сбережения водных ресурсов.

Ресурсосбережение – это одно из направлений охраны окружающей среды. Ресурсосбережение распадается на два направления:

- сокращение потребления природных ресурсов;
- утилизация отходов производства.

Природные ресурсы не безграничны. Так стоимость разведанных минеральных запасов сырья в РФ составила 28 трлн. долларов, что эквивалентно 2 млн. т золота или валовому национальному продукту России за 20 лет. Доля России в мировой добыче: газа, нефти, угля – 10–30%, металлов – 10-15%. Однако, крупнейшие месторождения находятся в труднодоступных районах Сибири и Крайнего Севера. Для их добычи и вовлечения в производство требуются огромные капитальные вложения.

Разведанных запасов нефти России хватит на 35–40 лет, золота – на 3-5 лет, практически исчерпаны запасы алмазов в Якутии. Подготовка новых районов и месторождений практически прекращена. Так, например, в настоящее время металлургия Урала осталась без рудной базы. Ожидается, что к 2020 г. будет исчерпана сырьевая база 40% предприятий промышленности и Россия может превратиться в импортера сырья. С распадом

СССР многие месторождения (Mn, Pb, Cr, сурьмы, титана, ртути) остались на территории других государств. Сейчас РФ закупает их на сумму 2 млрд. долл. в год.

Таким образом, вопрос сбережения природных ресурсов актуален и для такой богатой страны, как Россия.

6.2. Концепция безотходного производства

Важнейшим направлением сокращения потребления природных ресурсов является разработка **мало– и безотходных технологий**. Их развитие представляет собой стратегическое направление рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Безотходная технология – это метод производства продукции, при котором все сырье и энергия используются наиболее рационально и комплексно, а воздействие на окружающую среду не нарушает ее равновесия. Важно подчеркнуть, что **безотходная технология – это не технология без отходов**. Отходы образуются при всех технологиях. Однако отходы этой технологии образуются в таком виде, что они не нарушают нормального функционирования природных систем и легко ассимилируются природой, т.е. вступают в круговорот веществ в природе.

Так как создание безотходных технологий длительный процесс, который сравнительно недавно начался в мире, то промежуточным этапом является создание **малоотходных производств**. Под **малоотходным** понимают такое производство, результаты которого при воздействии на окружающую среду не превышают уровня, допустимого санитарно-гигиеническими нормами, т.е. ПДК.

Для количественной оценки эффективности технологии используется критерий, который называется **коэффициентом комплексности переработки сырья K**. Он определяет долю полезных веществ, извлекаемых из сырья, по отношению ко всему его количеству

$$K = \frac{M_{\text{пп}}}{M_c} \cdot 100\%,$$

где M_c – масса сырья; $M_{\text{пп}}$ – масса полезной продукции, извлеченной из этого сырья.

Если $K > 95\%$, то такое производство относят к **безотходному** производству; если $K > 75\%$, то такое производство относят к **малоотходному**. Следует отметить, что такая оценка является весьма односторонней, т. к. не учитывает токсичности отходов.

Переход к безотходному производству сравнительно недавно начался в мировой промышленности, однако уже сейчас можно привести примеры таких производств: **металлургия Японии; завод по переработке нефелинового сырья в г. Волхове (Россия) и др.** Кроме экологического, такая технология имеет еще и экономическое преимущество. За счет пере-

работки отходов и получения из них товарной продукции затраты на основное производство снижаются на 10...15%.

6.3. Образование и классификация отходов

Отходы – это переработанные и видоизмененные по своему физическому, химическому, минералогическому и гранулометрическому составу природные ресурсы, не являющиеся конечным технологическим продуктом и не отвечающие установленным кондициям.

Отходы **классифицируются** по следующим показателям:

- 1) по источникам происхождения – промышленные и бытовые;
- 2) по агрегатному состоянию – твердые, жидкие и газообразные;
- 3) по степени устойчивости в окружающей среде – устойчивые (стекло, полимеры) и неустойчивые (быстроразлагающиеся);
- 4) по токсичности – токсичные и нетоксичные;
- 5) по степени опасности – делятся на 4 класса опасности. Наиболее опасен 1 класс.

Источник образования отходов – хозяйственная деятельность человека (бытовая, промышленная, сельскохозяйственная). Причина образования отходов – узкий, односторонний характер производства, недостаточный уровень использования природных ресурсов и их неэкономичное использование.

Следует отметить, что в своей материальной деятельности человечество не производит ничего, кроме текущих и будущих отходов. Ими заканчивается жизненный цикл любых материальных объектов, включая живое вещество и самого человека.

В Российской Федерации в отходы переходит 90...95% ресурсов. Площади, занимаемые отходами, увеличиваются ежегодно на 250 тыс. га.

6.4. Вторичные материальные ресурсы

Отходы производства и потребления составляют вторичные материальные ресурсы (ВМР). Ежегодно в РФ образуется около 3,5 млрд. т ВМР, из которых 47,4 % используется и обезвреживается. На территории России накоплено около 80 млрд. т твердых промышленных отходов. Это изымает из хозяйственного обихода огромные площади земли. Особую опасность представляют токсичные отходы (~1,5 млрд. т или 18%).

Вместе с тем, отходы являются ценным сырьем. Например: – металлургический шлак служит сырьем для производства пемзы (заполнителя легких бетонов для жилищного строительства), щебенки (заполнителя тяжелых бетонов для промышленного строительства), граншлака (для отсыпки дорог), шлаковаты (теплоизоляционного материала);

– зола ТЭС и ТЭЦ служит сырьем для производства кирпича с высокими теплоизоляционными свойствами.

Ценным сырьем являются **твердые бытовые отходы (ТБО)**. Ежегодно в стране образуется 130...140 млн. м³ ТБО (в том числе в Челябинске около 400 тыс. т), из которых ~4% перерабатывается, остальное везется на свалки. В Челябинске городская свалка находится примерно в 5 км от центра города. Формально она закрыта еще 20 лет назад, но мусор туда сваливают по сей день. Эта свалка является большой экологической и эпидемиологической опасностью миллионного города.

В то же время ТБО – ценный энергетический продукт калорийность его эквивалентна торфу, сланцу. При сортировке из ТБО извлекают стекло, металл, пластик и пр. Тара, сделанная из боя стекла, стоит в 10 раз дешевле, чем из силикатного песка.

При термическом обезвреживании и утилизации ТБО на 65...75% уменьшается объем отходов, уничтожается патогенная микрофлора. При сжигании отходов можно получить тепло, электроэнергию или то и другое вместе. Это связано с тем, что теплота сгорания отсортированных ТБО составляет 3350...10500 кДж/кг. На рис. 6.1 показана схема мусоросжигательного завода.

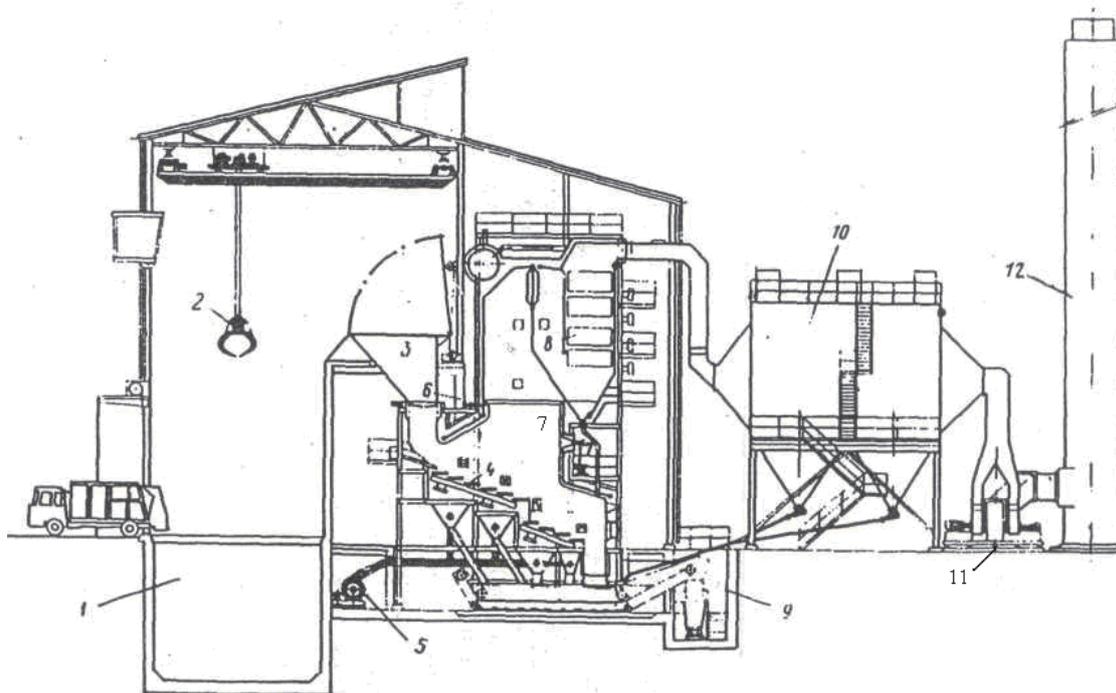


Рис. 6.1. Схема мусоросжигательного завода:

- 1 – приемный бункер; 2 – грейфер; 3 – загрузочный бункер; 4 – колосники;
- 5 – воздуходувка; 6 – камерная печь; 7 – форсунка; 8 – паровой котел;
- 9 – транспортирующее устройство; 10 – электрофильтр; 11 – дымосос;
- 12 – труба

6.5. Комплексная переработка минерального сырья

Генеральным направлением сбережения минеральных ресурсов является **комплексная переработка сырья**. Наибольшее количество отходов образуют отрасли, имеющие горнотехнический передел: энергетика, металлургия, химическая, угольная промышленности. Это вскрышные породы и отходы производства. Кроме того, производство связано с выбросами в атмосферу загрязняющих веществ. Так, например: при выплавке 1000 т стали в атмосферу выбрасывается: 40 т твердых частиц, 30 т SO₂, 50 т CO; выработка 1 млн. кВт·час электроэнергии на ТЭС влечет выброс 10 т золы и 15 т SO₂.

Кардинальное решение вопроса лежит в законодательстве. Оно должно нацеливать производителя на снижение отходов и комплексную переработку сырья, использование отходов.

Технически решение вопроса распадается на два направления:

- **комплексная переработка** отходов должна производиться на самом предприятии; это должно решаться на уровне разработки проекта и контролироваться экологической экспертизой;
- **создание банка** данных по образующимся отходам, так как нередко отходы одних предприятий являются ценным сырьем для других производств.

6.6. Энергосбережение в промышленности

Энергия необходима обществу, как для осуществления промышленного производства, так и для создания определенного уровня жизни населения. *В год в мире производится 8000 млрд. Вт или в среднем по 2 кВт на душу населения.* Из нефти и природного газа получают 24% энергии, из угля – 39%, гидроэнергетика – 17, атомная – 17%, древесное топливо – 2%. Около 1% получают нетрадиционными видами – солнечная энергия, энергия ветра, приливов, геотермальная энергия и др. В РФ основное количество электрической энергии производится на ТЭС – 65,8%, 17,7% – на ГЭС и 16,5% – на АЭС.

Более половины произведенной энергии теряется. Так, например, по отраслям:

- черная металлургия – 55% энергии используется; 45% – энергии теряется;
- энергетика – 30% энергии используется; 70% – энергии теряется;
- транспорт – 25% энергии используется; 75% – энергии теряется.

В отраслях промышленности, где энергия используется во вторичной форме для приведения в действие машинного оборудования, показатели существенно лучше: 75% энергии используется, 25% энергии теряется.

Энергосбережение означает сокращение потерь и повышение степени использования энергии.

Весьма перспективным является ступенчатое использование энергии, то есть утилизация тепла более высокотемпературного процесса в качестве тепла, подводимого к низкотемпературному процессу. Это называется рекуперация и регенерация тепла – повторное использование тепла.

6.7. Вторичные энергетические ресурсы

Энергетические отходы в промышленности называются **вторичными энергетическими ресурсами (ВЭР)**. Это тепло продуктов сгорания, жидкие, газообразные и твердые отходы, обладающие запасом физической и химической энергии, тепло пара, тепло горячей воды и пр.

По виду энергии ВЭР делятся на 3 группы: топливные, тепловые и избыточного давления.

Топливные ВЭР – это побочные газообразные продукты технологических процессов, которые могут быть использованы в качестве топлива. Например, доменный газ, коксовальный газ, генераторный газ и др.

Тепловые ВЭР – это физическая теплота, выделяющаяся при охлаждении основных и побочных продуктов, отходящих газов технологических агрегатов. Например, тепло отходящих газов из сталеплавильных агрегатов.

Физическое и химическое тепло отходящих газов из высокотемпературных агрегатов составляет ~30% от общего прихода тепла. Это тепло наиболее выгодно использовать непосредственно в технологическом процессе для подогрева лома, восстановления руды, разложения известняка и др. Однако удовлетворительных технических решений нет, поэтому тепло отходящих газов используется для получения пара в котлах-утилизаторах.

На рис. 6.2 показана схема устройства для использования теплоты отходящих газов из кислородного конвертера.

Котел-утилизатор состоит из двух частей. В высокотемпературной (радиационной) части (3) котла расположены дымогарные трубки (4). Здесь преобладает лучистый теплообмен, так как газы на входе в котел-утилизатор имеют температуру 1600...1800 °С. Поступающий сюда пар из низкотемпературной части котла (7) перегревается до температуры более 300⁰С. В низкотемпературной части котла-утилизатора расположены экономайзеры (пароперегреватели). Поступающая в экономайзеры (8) вода нагревается, испаряется и пар направляется в радиационную часть котла-утилизатора. Проходящие через котел-утилизатор газы с температурой 1600...1800 °С охлаждаются и на выходе из котла имеют температуру 400...450 °С.

ВЭР избыточного давления – это потенциальная энергия газов, выходящих из технологических агрегатов с избыточным давлением, которое

может быть использовано в установках для получения других видов энергии. Например, газы, выходящие из шахтных печей с высоким давлением.

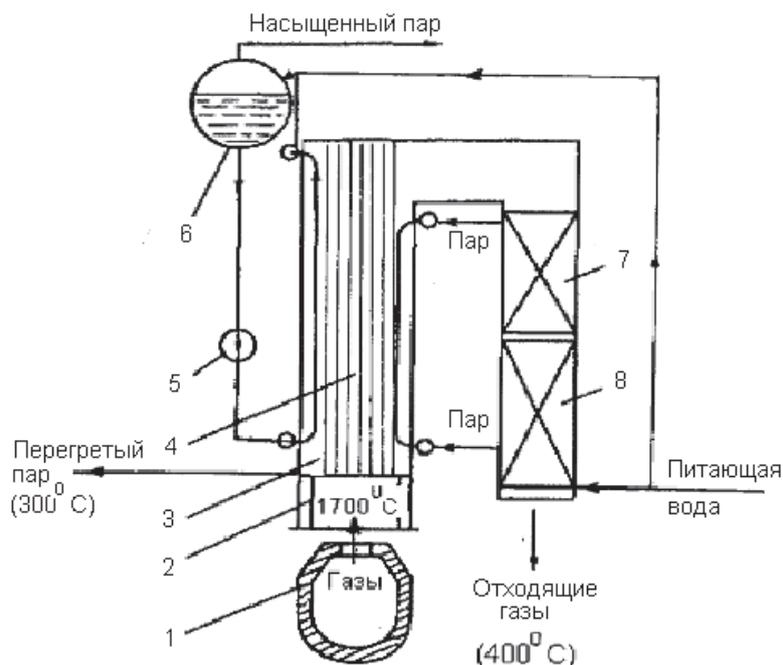


Рис. 6.2. Котел-утилизатор:

1 – конвертер; 2 – водоохлаждаемый камин; 3 – дымогарные трубки; 4 – радиационный газоход; 5 – насос; 6 – барабан-сепаратор; 7 – конвективные испарительные поверхности нагрева; 8 – экономайзер

Запасы ВЭР в России чрезвычайно велики, а используются по-разному.

Использование ВЭР:

- топливные – 90...100%;
- тепловые – 30...35%;
- ВЭР избыточного давления – ~10%.

Имеются следующие пути повышения использования ВЭР:

1. Утилизация физического тепла отходящих высокотемпературных газов в рекуператорах, регенераторах, котлах-утилизаторах.
2. Комбинированная выработка энергии. Такой метод применяется на ТЭЦ, когда использованный в турбогенераторах пар не конденсируют и вновь направляют в котел, а применяют для других нужд, например, для обогрева зданий. При этом КПД повышается с 35...40% до 60...70%.

6.8. Запасы воды и ее основные потребители

Вода – важнейший элемент существования всего живого на Земле. Без воды немислима хозяйственная и производственная деятельность человека. Однако, из имеющихся на Земле $1,8 \cdot 10^9$ км³ воды, только 2,7%

приходится на пресную воду. Подсчитано, что годовое потребление пресной воды на Земле составляет 3500 км^3 или $2,2 \text{ м}^3/\text{сутки}$ на человека.

Обеспеченность ресурсами речного стока, тыс. $\text{м}^3/\text{год}$, составляет: Австралия и Океания – 83; Южная Америка – 34; Северная Америка – 6,5; Африка – 6,5; Европа – 6,0; Азия – 4,5. Среднемировой показатель – 8,0. Россия ~15.

В промышленности главным потребителем пресной воды является энергетика. К другим водоемким отраслям относятся: химическая, целлюлозно-бумажная, металлургия. *Так, например, требуется пресной воды на производство 1 т:*

- синтетического волокна – $2500 \dots 5000 \text{ м}^3$;
- каучука – 2000;
- аммиака – 1000;
- бумаги – $400 \dots 800$;
- никеля – 4000;
- меди – 500;
- стали и чугуна – 200.

В сельском хозяйстве требуется пресной воды (м^3) для выращивания 1 т :

- пшеницы – 1,5;
- риса – 7,0;
- хлопка – 10.

Роль воды в технологических процессах

В промышленности вода служит в качестве:

- **непосредственного химического сырья.** Она используется для получения водорода, хлора (из глубинных слоев Черного моря), поваренной соли и др.;
- **среды, в которой протекают химические процессы.** Вода является прекрасным растворителем, и большинство химических процессов протекает в водных растворах, эмульсиях и суспензиях;
- **теплоносителя.** Используется для поддержания оптимальной температуры высокотемпературных процессов, например, в металлургии;
- **средства для транспортировки** сырья, полуфабрикатов и отходов (гидротранспорт).

Современная промышленность не мыслима без воды. Но вода, поступающая на предприятие, и вода, покидающая его, – это два весьма различных вещества. В последнем случае она чрезвычайно загрязнена, содержит много примесей, в том числе и токсичных, и называется промышленным стоком. Сбрасывать ее в таком виде без соответствующей очистки в водоемы нельзя.

Методы сохранения водных ресурсов

Существующие методы подразделяются на два направления.

- 1) Предотвращение попадания загрязненных сточных вод в водоемы – очистка стоков.

2) Сокращение потребления чистой воды на единицу продукции.

2.1. Создание безводных технологий, например, замена водяного охлаждения воздушным, жидким натрием.

2.2. Создание систем оборотного водоснабжения.

2.3. Повторное использование сточных вод.

Система оборотного водоснабжения (рис. 6.3) включает высокотемпературный агрегат (1) и градирню (2). Вода в градирне служит для охлаждения агрегата, она не загрязняется, а только нагревается. Такая вода называется условно чистой. Нагретая вода в градирне разбрызгивается форсунками, охлаждается и вновь используется для охлаждения высокотемпературного агрегата.

Повторное использование очищенных сточных вод. Из-за недостаточности водных ресурсов водосберегающие технологии приобретают большое значение. Одним из важных направлений является повторное использование очищаемых стоков.

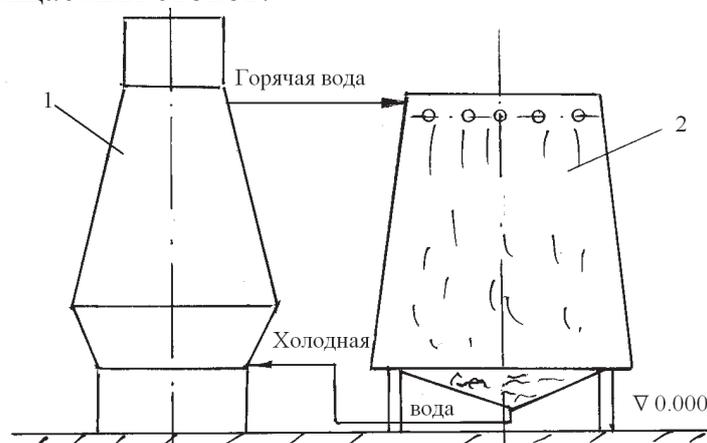


Рис. 6.3. Система оборотного водоснабжения:
1 – высокотемпературный агрегат; 2 – градирня.

Вторичное использование очищенных сточных вод разрешается при условии обеспечения полной экологической безопасности. Для этого требуется их предварительная очистка.

Имеются три направления использования регенерированной воды.

1) Системы орошения (полив участков озеленения, садово-парковых зон, спортивных объектов).

2) Гражданское назначение (мойка тротуаров, мостовых, слив туалетов, санузлов, использование в водоотопительных системах).

3) Промышленное назначение (пожаротушение, моечные системы, термические циклы производственных процессов).

Уже сейчас многие крупные гостиничные комплексы, особенно в жарких странах, снабжены технологиями очистки стоков умывальников, ванн, душевых кабин от мыла и загрязнений, исключая фекальные воды. Очищенная вода направляется в сливные бочки унитазов, используется для мойки автомобилей и других целей. Экономия воды составляет около 50%.

*Всех денег заработать нельзя,
А потратить – можно.
Экономический парадокс.*

Глава 7. Основы экологической экономики

Экологическое образование. Экологическая экспертиза. Экологическая сертификация и аудит. Экологическое страхование. Экологическая аттестация и паспортизация. Экологические фонды.

7.1. Введение

Современный этап экологической экономики представляет собой полицейско-правовую штрафную систему. Она призвана предотвратить загрязнение и наказать тех, кто нарушает допустимые нормы выбросов загрязнений.

Всякий предприниматель, организуя производство, стремится переложить экологические последствия своей деятельности на государство, граждан, следующие поколения людей. Загрязняя окружающую среду, он перекладывает свои затраты на дополнительные затраты людей. *Так, например, если Вы вынуждены каждое утро мыть свой автомобиль от пыли, осевшей за ночь из выбросов ближайшего завода, то ваши затраты времени и средств – это плата, переложенная на вас заводом.*

В современную систему охраны окружающей среды входит ряд инструментов и рычагов, основывающихся на методах правовой защиты. К числу этих методов относятся экологическое образование, экологическая экспертиза, аудит, сертификация, экологическое страхование и др.

7.2. Экологическое образование

Первейшей целью экологического образования является достижение осознания человеком долга его перед природой. Эта задача не решается ни одной из всех других существующих наук. Но если сейчас существующий у человека разрыв между действиями, мотивами и воздействиями последствий не ликвидировать, то человечество погибнет. *Так, например, плутоний, зарытый в землю, сохраняет 50% своей высокотоксичной массы через 24 тыс. лет.*

Проблема сохранения ОПС в значительной степени состоит в преодолении ряда сложившихся стереотипов поведения людей. *Так, если Вы рубите дерево, и оно падает на Ваш дом, то Вы сразу понимаете, что сделали что-то не так. Но если Вы принимаете решение о строительстве предприятия без системы очистки сбрасываемых стоков в реку, то о последствиях своего решения Вы можете не узнать вообще.*

В настоящее время в сознании человечества отсутствует единство экологических знаний. Все, с разной степенью вероятности, предвидят

экологическую катастрофу, но не знают, как ее предотвратить. Многие понимают, что проблема в том, что не работает система стимулов.

Поэтому задача заключается в том, чтобы поднять экологическую культуру человечества, чтобы люди осознали экологическую угрозу и смогли отказаться от многих своих потребностей, губительных для ОПС. Необходимы аскетические идеалы, необходима мудрость для осознания гармонии человека и природы. Эти цели преследует экологическое образование.

7.3. Экологическая экспертиза

Экологическая экспертиза устанавливает соответствие намечаемой хозяйственной или иной деятельности экологическим требованиям в целях предупреждения возможных неблагоприятных экологических воздействий.

Государственная экологическая экспертиза является организационно-правовой формой предупредительного контроля. Цель государственной экологической экспертизы заключается в проверке и оценке объекта экспертизы на соответствие требованиям охраны окружающей природной среды и экологической безопасности.

Поведение экологической экспертизы обязательно для всех проектов и программ. В качестве гарантии обязательности Государственной экологической экспертизы является возможность открытия финансирования работ только при наличии положительного заключения экспертизы. Экологическая экспертиза является одним из механизмов охраны ОПС. Ответственность за нарушения Государственной экологической экспертизы установлена законом РФ.

7.4. Экологическая аттестация и паспортизация

Экологическая аттестация и паспортизация служат для документального описания эколого-экономических характеристик объектов природоохранной деятельности: территорий, территориально-производственных комплексов и хозяйственных объектов.

Экологический паспорт предприятия учитывает все виды техногенных воздействий на окружающую среду и сравнительного анализа вклада производственных процессов в загрязнение окружающей среды. Он содержит нормативно-справочную, фактографическую и отчетную информацию об экологичности производства. В экологический паспорт вносится, периодически корректируется и обновляется информация об исходных данных для расчета материально-энергетических балансов, нормативы ресурсопотребления, производственных циклов. Важными разделами паспорта являются результаты инвентаризации отходов производства, в том числе газовых выбросов, сточных вод, твердых и жидких отходов. Приво-

дятся сведения о планируемых и фактических затратах на мероприятия по достижению нормативных ПДВ и ПДС и других природоохранных мерах.

Паспорт дает возможность осуществить экологическую аттестацию хозяйственного объекта по признакам его соответствия требованиям предельно допустимой техногенной нагрузки и экологической техноемкости территорий.

7.5. Экологическая сертификация

Одним из направлений решения вопросов обеспечения качества окружающей среды, охраны здоровья, обеспечения безопасности потребителя различных товаров и услуг является сертификация. Сертификация может быть обязательной или добровольной. Обязательная сертификация – это подтверждение уполномоченным на то органом соответствия товара, работы, услуг обязательным требованиям стандарта. Добровольная сертификация – сертификация, проводимая на добровольной основе по инициативе изготовителя (исполнителя), поставщика или потребителя продукции.

Сертификация представляет собой систему подтверждения соответствия продукции определенным требованиям. Она широко распространена во всем мире. Используется с двоякой целью:

- 1) для защиты человека и окружающей среды от потенциально опасной продукции;
- 2) для уверенности потребителя в качестве приобретенного товара.

Экологическая сертификация является управленческой мерой по обеспечению качества товара, работ, услуг экологического характера. Она проводится с целью создания экономико-правового механизма по реализации права граждан на благоприятную окружающую среду. Экологическая сертификация способствует:

- 1) внедрению экологически безопасных технологических процессов и оборудования;
- 2) производству экологически безопасной продукции, повышению ее качества и конкурентоспособности;
- 3) совершенствованию управления хозяйственной и иной деятельностью;
- 4) интеграции экономики страны в мировой рынок.

7.6. Экологический аудит

Одним из важных рычагов экологизации управления предприятием является экологический аудит. Экологический аудит – это систематически проводимый и документированный процесс проверки, заключающийся в объективном получении и оценке информации с целью определения соответствия конкретных экологических мероприятий, условий, систем управ-

ления и информации о них критериям аудита. Результаты этого процесса передаются заказчикам.

Экологический аудит проводится при решении вопросов:

- 1) организация природоохранной деятельности на промышленных предприятиях;
- 2) заключение договоров на экологическое страхование;
- 3) финансирование экологических мероприятий и программ;
- 4) инвестирование в природоохранную, хозяйственную и иную деятельность;
- 5) выдачи лицензии на отдельные виды деятельности в области охраны окружающей среды.

Объектами экологического аудита являются действующие и строящиеся предприятия, работа которых оказывает или может оказать воздействие на окружающую природную среду.

7.7. Экологическое страхование

Экологическое страхование означает страхование гражданско-правовой ответственности владельцев потенциально опасных объектов в связи с необходимостью возмещения третьим лицам ущерба, вызванного технологической аварией или катастрофой.

Известно, что деятельность человека всегда связана с экологическим риском. Экологический риск обуславливает экологический ущерб, т.к. экологический риск (*независимо от того, что является источником опасности*) связан с возможным ущербом для состояния экосистемы, хозяйственной деятельности и здоровья людей. Поэтому одним из способов обеспечения экологической безопасности является система экологического страхования. Экологическое страхование создает взаимную заинтересованность и страхователя, и страховщика в снижении риска аварий. Кроме того, оно позволяет уменьшить разовые издержки отдельного предприятия при нанесении им ущерба в результате экологической аварии, а пострадавшим дается гарантия, что они получают причитающуюся по закону сумму компенсаций за причиненный им вред независимо от финансового источника вреда.

Различают следующие *виды экологического страхования*: личное, имущественное и страхование экологической ответственности. Первые два имеют значение для граждан. В страховании экологической ответственности отдельные граждане не участвуют, хотя оно затрагивает и их интересы, создавая дополнительное финансирование гарантии компенсации эколого-экономического ущерба.

Страхование ответственности за причинение ущерба предполагает формирование специальных денежных фондов (резервов) за счет уплачиваемых страхователями страховых взносов для компенсации вероятных

потерь и предотвращения загрязнения окружающей среды. Эти потери принимает на свою ответственность страховщик в соответствии с договором страхования. Экологическое страхование предусматривает покрытие затрат на ликвидацию последствий загрязнения, возмещение имущественного интереса третьими лицами, пострадавшими от вредных воздействий.

Объект страхования – это риск гражданской ответственности, которая выражается в предъявлении страхователю претензий о возмещении вреда юридическими или физическими лицами. Экологическое страхование аккумулирует денежные средства в фондах страховых организаций. При наступлении страховых случаев эти средства используются для компенсации ущерба третьим лицам.

7.8. Экологические фонды

Для решения неотложных природоохранных задач, восстановления потерь в ОПС, компенсации причиненного вреда в РФ создана Единая система внебюджетных государственных экологических фондов. Их образование дает возможность осуществлять дополнительные мероприятия по охране ОПС сверх ассигнований государственного бюджета. Основное назначение экологических фондов заключается в обеспечении надежного финансирования различных видов природоохранной деятельности.

Система экологических фондов включает федеральный (10%), республиканские, краевые, областные (30%) и местные экологические фонды, страховые фонды окружающей среды, а также экологические фонды организаций и предприятий (60%).

Экологические фонды, являются неотъемлемой частью экономического механизма природопользования, образуются за счет средств, поступающих от предприятий, отдельных граждан, а также от иностранных лиц. Данные фонды формируются за счет следующих платежей:

- 1) за загрязнение окружающей среды;
- 2) за сверхнормативное использование природных ресурсов;
- 3) платы по искам в возмещение ущерба;
- 4) штрафов за нарушение природоохранного законодательства, экологических норм, правил, стандартов;
- 5) средств от реализации незаконно добытых природных ресурсов.

Расходование фондов осуществляется по следующим направлениям:

- 1) оздоровление ОПС;
- 2) реализация программ по охране ОПС;
- 3) строительство очистных сооружений;
- 4) внедрение экологически чистой технологии;
- 5) компенсация вреда здоровью граждан;
- 6) научные исследования;
- 7) экологическое воспитание и образование.

7.9. Современный подход к экономическим проблемам экологии

Известно, что корни экологических проблем лежат в экономике. Это предопределяет главную цель современной природоохранной стратегии – увязать экологические требования с объективными экономическими законами, побуждающими вкладывать средства только в то, что дает прибыль. Отсюда вытекает практическая задача: переход в основном от административных, преимущественно к экономическим методам управления природоохранной деятельностью. Трудность состоит в создании мотивации для экологически разумного поведения людей.

Государственная штрафная система оказалась не очень эффективной. Сейчас входит в силу другой подход к охране ОПС. Введение платы за используемые природные ресурсы принципиально меняет отношение предпринимателей к окружающей среде. Если за выбросы в атмосферу, отчуждение земли, складирование отходов следует платить, то цена экологически чистой технологии оказывается ниже других вариантов. Если за воду устанавливается высокая плата, то предприятие готово использовать для технических целей внутренний замкнутый цикл. Переход от штрафных санкций к платежам фактически означает переход от экологии природопользования к экологии природосбережения.

*«Чем горше прошлое,
тем радостнее настоящее»
В.Шекспир*

Глава 8. Международное сотрудничество в области охраны окружающей природной среды

Объекты международно-правовой охраны окружающей среды. Международные природоохранительные организации.

8.1. Введение

Природа Земли едина, ее законы всеобщи. Она не знает государственных и административных границ. Поэтому национальные усилия в природоохранной деятельности дадут положительный результат только тогда, когда они сочетаются с интернациональными мерами по охране ОПС. Осознание этого явилось толчком к развитию важного направления международного сотрудничества – международно-правовой охране окружающей среды. На базе существующего международного законодательства сформировалась правовая структура – международное экологическое право. *Это совокупность норм права, регулирующих межгосударственные*

общественные отношения по сохранению, рациональному использованию международных экологических ресурсов и защите прав человека на благоприятную окружающую среду.

Международные правовые принципы охраны окружающей среды выработаны членами международного сообщества – государствами, международными организациями. Они изложены в решениях Генеральной Ассамблеи ООН и международных конференций. В кратком виде они формулируются следующим образом:

- 1) приоритет экологических прав человека;
 - 2) суверенитет государства на природные ресурсы своей страны;
 - 3) недопустимость экологического благополучия одного государства за счет экологического вреда другому;
 - 4) экологический контроль на всех уровнях;
 - 5) свободный обмен международной экологической информацией;
 - 6) взаимопомощь государств в чрезвычайных ситуациях;
 - 7) разрешение эколого-правовых споров мирным путем.
- Международное сотрудничество имеет два раздела.

8.2. Объекты международно-правовой охраны окружающей среды

К международным объектам охраны окружающей природной среды относятся (рис. 8.1): воздушный бассейн, космос, мировой океан, Антарктида, разделяемые природные ресурсы.

Воздушный бассейн. Как природный объект он охватывает всю атмосферу Земли. В силу постоянной циркуляции атмосферный воздух не может быть чисто национальным достоянием. Международная охрана воздушного бассейна развивается по четырем направлениям:

- предотвращение вредного воздействия на природу и климат;
- предупреждение и устранение трансграничного переноса загрязнителей атмосферы;
- охрана озонового слоя от разрушения;
- сотрудничество в совершенствовании средств очистки и контроля.

Для защиты атмосферы первостепенное значение имеют Договоры о запрещении испытания и применения оружия массового уничтожения – ядерного, биологического, химического.

Космос. Космическое пространство не находится под юрисдикцией какого-либо государства. Это в чистом виде международный объект охраны. В Декларации по использованию космического пространства отмечается, что космос должен использоваться только в мирных целях. Недопустимо вредное воздействие на и загрязнение космического пространства.

Сейчас в околоземном пространстве находится около 3,5 млн. единиц различного космического мусора – остатков космических установок.

Если не принять меры по очистке Космоса от мусора сейчас, то через 20 – 30 лет космические полеты будут невозможны.

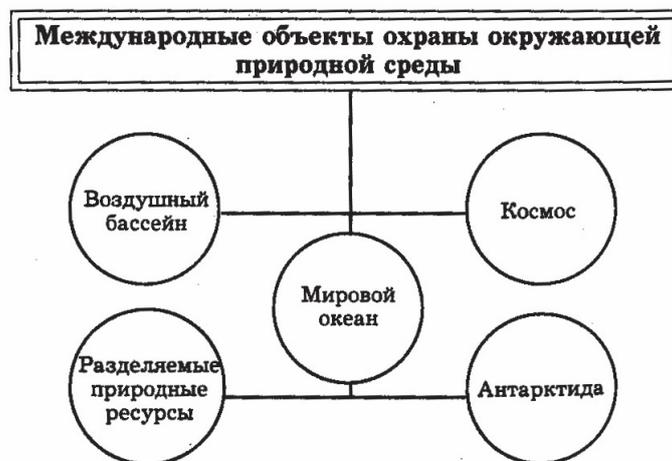


Рис. 8.1. Международные объекты охраны окружающей природной среды

Мировой океан занимает 71% поверхности планеты. Он оказывает решающее влияние на формирование климата и состояние атмосферы Земли. Мировой океан – источник биологических, минеральных, энергетических ресурсов. Загрязнение океана нефтью, химическими и радиоактивными веществами, другими отходами нарушает равновесие в биосфере, уничтожает планктон, сокращает рыбные запасы и другие биологические ресурсы, причиняет вред природе и здоровью человека.

Заключен целый ряд международных Договоров и Конвенций, запрещающих испытание атомного оружия в трех сферах, слив нефти с судов, ограничивающих промысел отдельных животных (китов, котиков, тюленей, белых медведей и др.).

Антарктида. Шестой континент Земли не находится под юрисдикцией какого-либо государства. Это в подлинном виде международный объект охраны окружающей среды. Все взаимоотношения государств по Антарктиде строятся на основе международных Договоров. В Договоре об Антарктиде декларируется: свобода научных исследований, запрет мероприятий военного характера, охрана животного мира. Создана Межведомственная комиссия, которая координирует хозяйственную, научную и природоохранную деятельность в Арктике и Антарктиде.

Разделяемые природные ресурсы. К данной категории относятся природные ресурсы, находящиеся в пользовании нескольких суверенных государств. Характерным примером являются международные водные ресурсы – моря, реки, озера. Например, Балтийское море, реки Дунай, Амур, Великие озера на границе Канады и США. Порядок использования их определяется Договорами, заключенными заинтересованными сторонами. В них предусматривается разрешение споров, внесение платежей, меры ох-

раны, воспроизводства и пр. Так, международным органом управления по Дунаю является Дунайская комиссия, по Балтике – Балтийский совет, по Черному морю – Комитет.

8.3. Международные природоохранные организации

Ведущая роль в международном экологическом сотрудничестве принадлежит ООН и ее специализированным учреждениям (рис. 8.2).



Рис. 8.2. Международные природоохранные организации

Генеральная Ассамблея ООН определяет основные направления экологической политики международного сообщества. Одним из главных органов ООН является Экономический и социальный совет (ЭКОСОС), в рамках которого действуют комиссии и комитеты.

В Программе ООН по окружающей среде (ЮНЕП) имеется семь направлений.

ЮНЕСКО – Организация объединенных наций по культуре, науке, образованию. Природоохранная деятельность эта организация осуществляет по следующим направлениям:

- развитие экологического образования и подготовка специалистов-экологов в развивающихся странах;
- учет и организация охраны природных объектов;
- руководство экологическими программами («Человек и биосфера»).

МСОП – Международный союз охраны природы и природных ресурсов. Основные задачи в деятельности МСОП:

- сохранение естественных экосистем, растительного и животного миров;
- сохранение редких и исчезающих видов растений и животных;

- организация заповедников, национальных природных парков;
- экологическое просвещение.

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения. Она занимается охраной здоровья человека в аспекте взаимодействия его с окружающей средой. ВОЗ осуществляет:

- санитарно-эпидемиологический мониторинг ОС;
- обобщает данные о заболеваемости людей в связи с состоянием окружающей среды;
- проводит санитарно-гигиеническую экспертизу окружающей среды и дает оценку ее качества;
- изучает проблемы оздоровления городов, улучшения санитарно-гигиенических условий жизни человека.

МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии. Создано для обеспечения программы ядерной безопасности, охраны окружающей среды от радиоактивного загрязнения.

МАГАТЭ разрабатывает:

- правила строительства и эксплуатации АЭС;
- проводит экспертизу проектируемых и действующих АЭС;
- устанавливает нормы радиационной безопасности;
- проверяет их выполнение.

ФАО – Сельскохозяйственная и продовольственная организация Объединенных Наций. Сфера ее деятельности – сельское хозяйство и мировые продовольственные ресурсы. Она занимается:

- экологическими проблемами в сельском хозяйстве;
- охраной и использованием земель, водных ресурсов, животного мира и биологических ресурсов Мирового океана.

ИМО – Международная морская организация. Действует в сфере морского судоходства и охраны моря от загрязнений. Ее усилиями разработаны и совершенствуются основные принципы международной политики по защите морской среды.

ВМО – Всемирная метеорологическая организация ООН. Ее задача – изучение и обобщение степени воздействия человека на погоду и климат планеты. В ее составе действует глобальная система мониторинга окружающей среды.

*«Все пройдет. И это тоже»
Надпись на кольце царя Соломона.*

Глава 9. Экологическая обстановка в России и Челябинской области

(Региональная составляющая дисциплины «Экология»).

Особенности экономики Челябинской области. Состояние атмосферного воздуха. Водные ресурсы. Их состояние и использование. Санитарное состояние почвы. Отходы производства и потребления. Радиационно опасные объекты и радиационная ситуация в Челябинской области. Влияние экологических факторов на состояние здоровья населения.

9.1. Введение

Изучение дисциплины «Экология» в настоящее время обусловлено образовательными стандартами общего и высшего образования. В последние годы появилось значительное число учебников по общим вопросам экологии и экологическим проблемам отдельных отраслей промышленности. Изданы учебники и учебные пособия для инженеров, бакалавров, магистров: биологические, медицинские, педагогические, технические. В них изложены общие вопросы экологии и обсуждаются специфичные для данной отрасли проблемы.

Вместе с тем в стороне остается вопрос, включенный в образовательные стандарты всех курсов, об экологических проблемах того региона, где обучается специалист. Региональные проблемы очень близки и актуальны для изучающих любую дисциплину в любой отрасли знаний, так как изучающий тот или иной предмет специалист получает сведения о том регионе, где он живет и учится, его проблемах и задачах конкретных районов и даже предприятий. Тем более это важно, когда это касается состояния среды, где живет человек (рис.9.1), и его здоровья. Все вместе это называется «региональная составляющая» курса «Экология», которую и освещает данный раздел учебного пособия.



Рис. 9.1. Челябинский метеорит

9.2. Особенности экономики Челябинской области

Челябинская область образована 17 января 1934 года. В состав области входят 314 муниципальных образований, в том числе 16 городских округов, 27 муниципальных районов, 27 городских поселений и 244 сельских поселений (рис. 9.2). Областной центр – город Челябинск.



Рис. 9.2. Челябинская область

Общая площадь Челябинской области составляет 88,5 тыс. кв. км. Численность населения Челябинской области на 1 января 2013 года составила 3485,4 тыс. человек, в том числе в городе Челябинск – 1156,2 тыс. чел. В области успешно развивается экономика и продолжается рост валового ре-

гионального продукта (ВРП). В структуре ВРП преобладает доля промышленности (рис. 9.3).

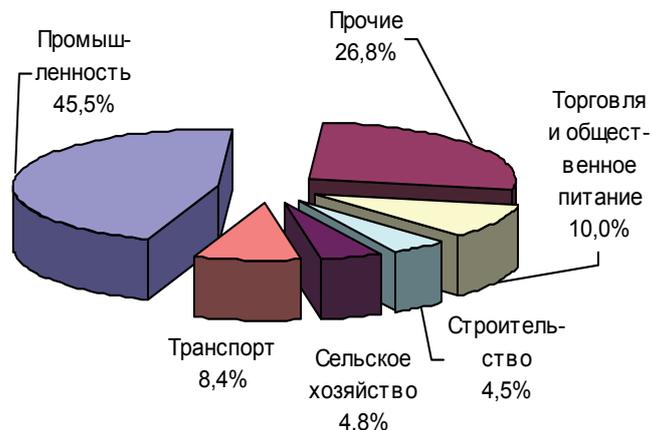


Рис. 9.3. Структура ВРП

В области работают 15 тыс. объектов 61-й отрасли экономики, в том числе 91 горнорудное предприятие, 160 карьеров, 20 шахт. В отвалах области накоплено ~3,5 млрд. т производственных отходов. Ежегодно вновь образуется около 90 млн. т отходов, из которых перерабатывается не более 50%. Обрабатывающее производство – основной вид промышленности Челябинской области (рис. 9.4). В структуре обрабатывающих производств основным является металлургическое производство и производство готовых металлических изделий (60,4%). Экономика Челябинской области базируется на «трех китах» – черной и цветной металлургии и энергетике. Они же, вместе с автомобильным транспортом, являются и основными загрязнителями окружающей природной среды.

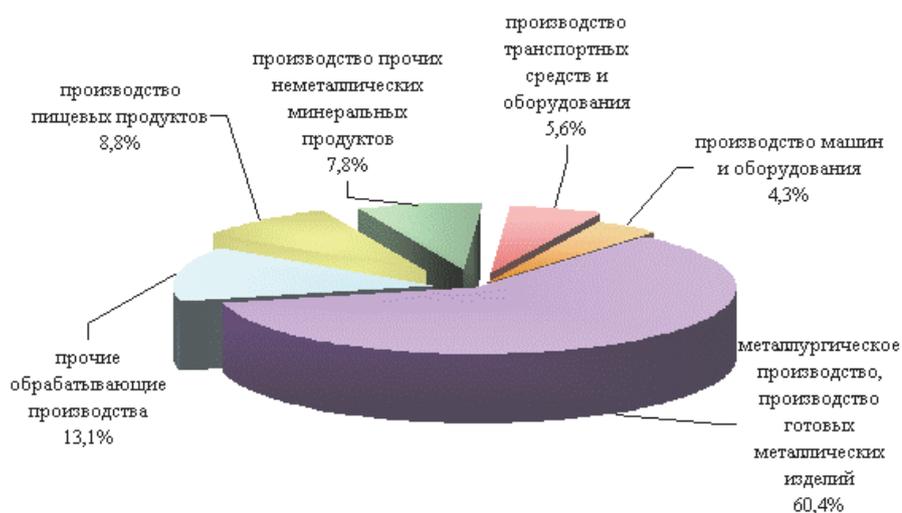


Рис. 9.4. Структура товаров обрабатывающих производств Челябинской области

Так, например, металлургическая промышленность Челябинской области включает около 30 крупных и средних предприятий черной, цветной и горнорудной отраслей. По объему производства черных металлов область лидирует в России, производя более четверти чугуна, 25,7% стали, 26,8% прокатка и 11,4% стальных труб.

Значительный рост объемов производства на основных металлургических предприятиях Челябинской области не сопровождается соответствующей работой в области охраны окружающей среды от промышленных выбросов и ведет к серьезному ухудшению экологической обстановки в Челябинской области.

9.3. Состояние атмосферного воздуха

Челябинская область занимает 5-е место в России по количеству выбросов вредных веществ в атмосферу от стационарных источников. В 2012 году общий объем выбросов составил 975,7 тыс. т, в том числе от стационарных источников – 678,0 тыс. т (70 %), от передвижных – 297,7 тыс. т (30 %).

Стационарные источники. Столь значительное количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу обусловлено тем, что из 15 тыс. промышленных предприятий 600 имеют значительные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от 23 тысяч источников. Предприятиями, выбрасывающими в воздух наибольшее количество вредных веществ, являются: Магнитогорский металлургический комбинат (ММК) – 31,8 %, Троицкая ГРЭС – 15,3 %, ОАО «ЧМК» – 9,3%, ОАО «Уфалейникель» – 7,2%. Из общего количества выбросов в атмосферу 78,5 % составили газообразные вещества и 21,5 % – твердые частицы.

В приоритетный список из 34 городов Российской Федерации с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха входят два города Челябинской области – Челябинск и Магнитогорск. По проведенной в 2011 году оценке уровень загрязнения атмосферного воздуха в г. Челябинске относится к градации «высокий». Индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) составляет 11,3. В Магнитогорске ИЗА в 2011 году составил 21,0, что соответствует «очень высокому» уровню загрязнения атмосферы.

Основной причиной неудовлетворительного состояния атмосферного воздуха является использование устаревших технологий с высоким уровнем износа технологического оборудования, а также эксплуатация оборудования с отступлением от проектных параметров, невыполнение природоохранных мероприятий. Всего на предприятиях области находится свыше 6,5 тысяч установок очистки газов, из них около 40 % к настоящему времени физически и морально устарели и требуют замены, 13,6 % – неисправны и практически не выполняют свою функцию.

Передвижные источники. По магистралям области в 2012 году перемещалось 1 млн. 191 тыс. транспортных средств. Из этого числа 54,5 % составляют автомобили в личной собственности. Из 297,7 тыс. т выбросов от передвижных источников на долю автотранспорта приходится около 97 %, железнодорожного – менее 3 %.

Учитывая ежегодное увеличение автотранспорта можно предвидеть дальнейшее увеличение загрязненности атмосферы области выбросами от передвижных источников.

Основными загрязнителями атмосферного воздуха в Челябинской области являются окись углерода, взвешенные вещества, диоксид серы и оксиды азота, а на магистралях – бенз(а)пирен.

Состояние атмосферы в Челябинске. В миллионном городе работает 120 промышленных предприятий, которые выбросили в 2012 году в атмосферу 146,4 тыс. т загрязняющих веществ (82,5 % газообразных и 17,5 % – твердых частиц). Основные загрязнители – это предприятия металлургии (ЧМК – 49,5%; ЧЭМК, ЧЭЦЗ и др.) и энергетики (ТЭЦ-2 – 9,2%; ТЭЦ-1 – 7,2%).

Кроме того, по городским магистралям перемещается 422,1 тыс. транспортных средств, из них 75% легковых автомобилей и 20 тыс. автобусов, которые выбросили в 2013 году в атмосферу города 86,8 тыс. т загрязняющих веществ.

В целом качество воздуха в городе расценивается как неудовлетворительное (индекс загрязнения атмосферы ИЗА – 11,3). Средние за год значения концентрации бенз(а)пирена составляют 3,1 ПДК, формальдегида – 2,7 ПДК. Однако в отдельных районах города состав атмосферы существенно отличается от средних значений. Так, содержание пыли в воздухе на пересечении проспектов Победы и Свердловского в отдельные месяцы достигает 1,2 ПДК, монооксида углерода – 2,6 ПДК. Содержание оксидов азота в центре города достигает 1,3 ПДК. Содержание бенз(а)пирена на основных магистралях города приближается к 5 ПДК, а в Металлургическом районе – 7 ПДК (в отдельные месяцы – 9,2 ПДК). Максимальное количество проб с превышением гигиенических нормативов зарегистрировано на промышленной площадке ОАО «ЧМК».

Такая неравномерность связана с расположением и работой промышленных предприятий и ситуацией на автомагистралях города.

Для того, чтобы выяснить причины существенных различий состава атмосферного воздуха в различных районах города Челябинска в соответствии с «Методикой расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятия. ОВД-86», был проведен расчет поля рассеяния вредных веществ от выбросов в атмосферу основными промышленными предприятиями Челябинска: ОАО «ЧЭМК», ТОО «Челябинский лакокрасочный завод», ОАО «ЧМК», ОАО «Электро-

литно-цинковый завод», ТЭЦ-1, ТЭЦ-2, Челябинэнерго, ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» (ЧТПЗ).

Для автоматизации расчетов была разработана компьютерная программа, позволяющая рассчитать поле концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы в зависимости от скорости и направления ветра, определить максимальную концентрацию примесей в зоне рассеяния. Были проведены расчеты по следующим основным загрязнителям: пыли (взвешенным веществам), диоксидам серы, оксидам азота, оксидам углерода, бенз(а)пирену и формальдегиду.

В результате проведенных расчетов установлено, что концентрация оксидов азота за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятий ОАО «ЧТПЗ», ТЭЦ-1, ОАО «ЧМК» существенно превышают ПДК. Превышение содержания оксидов азота в приземном слое атмосферы в результате выбросов ОАО «ЧМК» отмечено практически на всей территории Челябинска. Причем максимальная концентрация (6,5 ПДК) зафиксирована на расстоянии 2160 м от источника выбросов в Металлургическом районе Челябинска, захватывает шоссе Metallургов и ул. Б. Хмельницкого. Выбросы оксидов азота ОАО «ЧМК» практически не влияют на состояние атмосферы города при северном, северо-восточном, восточном и юго-восточном направлении ветра. При других направлениях ветра они переносятся почти во все районы города.

Выбросы оксидов азота ОАО «ЧТПЗ» попадают в жилые микрорайоны при южном, юго-западном, западном и северо-западном направлении ветра. При других направлениях ветра они попадают в нежилые районы города. Максимальная концентрация NO_x (2,5 ПДК) зафиксирована на расстоянии 1120 м от источника. Влияние этих выбросов затрагивает Ленинский район города.

Самые большие выбросы оксидов азота поступают в атмосферу от ТЭЦ-1. Максимальная концентрация их равна 10,9 ПДК и отмечена на расстоянии 1400 м от источника. Влияние этих выбросов особенно заметно в Ленинском районе при южном, юго-западном, западном, северо-западном и юго-восточном направлении ветра. В наибольшей степени оксидами азота загрязнен приземный слой атмосферы следующих районов Челябинска: Ленинского (территория, прилегающая к ул. Новороссийской и ул. Чистопольской, пос. ЧКПЗ); Тракторозаводского (территория Северо-Восточного района города) и почти вся территория районов города, вплоть до Ленинского района (почти до озера Смолино) При южном направлении ветра выбросы оксидов азота охватывают значительную часть Калининского района и достигают центра города, включая площадь Революции, пр. Ленина.

В соответствии с расчетами выбросы бенз(а)пирена ОАО «ЧЭМК» и ОАО «ЧМК» способствуют достижению в приземном слое атмосферы концентраций, существенно превышающих санитарные нормы. Эти вы-

бросы распространяются на расстояние до 19 300 м от предприятия при максимальной ширине захвата 4450 м. При юго-западном, южном, юго-восточном, западном направлениях ветра поля концентраций этих выбросов охватывают всю территорию Челябинска.

При северном направлении ветра поле концентраций от ОАО «ЧЭМК» охватывает практически весь Metallургический район. При этом же направлении ветра поле концентраций от ОАО «ЧМК» на жилые районы города не распространяется.

Максимальные концентрации бенз(а)пирена от выбросов этих предприятий составляют соответственно 40,7 и 26,4 ПДК и отмечены на расстояниях 800 м и 1300 м от источников. При южном направлении ветра, а это 14 % времени в году, происходит суммирование выбросов ОАО «ЧЭМК» и ОАО «ЧМК», и они оказывают влияние на атмосферу центральной части города, включая пр. Ленина и ул. Воровского, вплоть до оз. Смолино.

Выбросы от этих источников могут достигать Тракторозаводского и Ленинского районов и даже восточной части Калининского района. Выбросы диоксида серы, превышающие санитарно-гигиенические нормы, ОАО «Электролитно-цинковый завод», ОАО «ЧМК», ОАО «ЧЭМК», ТЭЦ-2, Челябинэнерго и ТЭЦ-1 распространяются на расстояние от 3140 до 14 200 м при максимальной ширине захвата 2170 м (рис. 9.5).

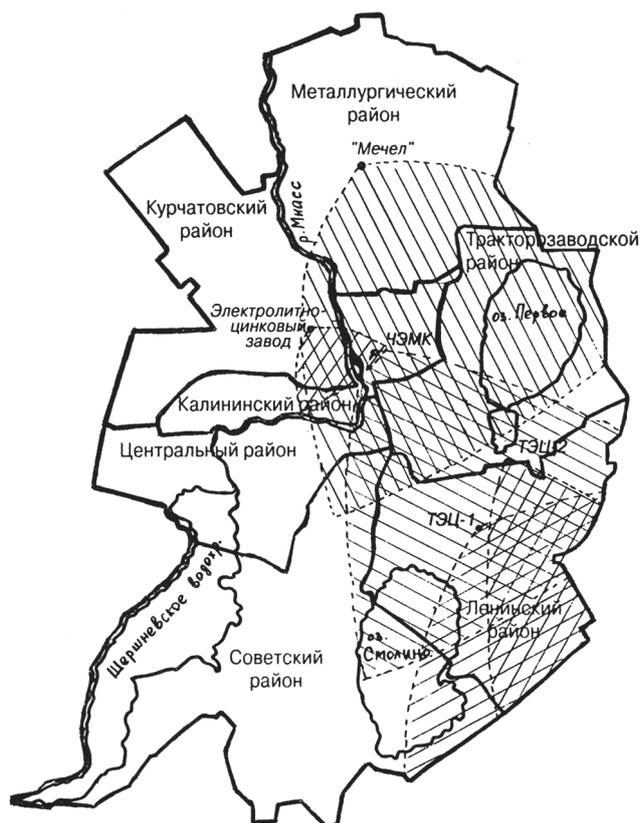


Рис. 9.5. Загрязнение диоксидом серы атмосферы Челябинска

Кашириных, проспектов Победы и Комсомольского.

Влияние выбросов диоксида серы от ОАО «ЧМК» распространяется значительную часть города. Максимальная концентрация (2,3 ПДК) зафик-

сирована на расстоянии 4,32 км от источника и особенно сильно ощущается в Metallургическом районе, захватывает шоссе Metallургов, ул. 50-летия ВЛКСМ и ул. 60 лет Октября. При северном, северо-восточном, восточном, юго-восточном направлениях ветра эти выбросы уносятся в нежилые районы города.

Поле концентраций диоксидов серы от ОАО «ЧЭМК» также охватывает практически всю территорию Челябинска. Причем максимальная концентрация (10,2 ПДК) отмечена на расстоянии 1,6 км от источника. Максимальное влияние их приходится на жилые кварталы вблизи пр. Победы, ул. Артиллерийской, Никольской роши и ул. Российской. При северном, северо-восточном направлениях ветра эти выбросы попадают в нежилые районы города.

Выбросы диоксида серы от ОАО «ЧМК» и ОАО «ЧЭМК» суммируются при южном и северном направлениях ветра и воздействуют на атмосферу над Metallургическим районом, жилыми районами, примыкающими к парку им. Пушкина, улиц Свободы, Красноармейской и Пушкина.

Выбросы диоксида серы от ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 воздействуют на атмосферу значительной части города при южном, юго-западном, западном, северо-западном направлениях ветра. При этом максимальные концентрации диоксида серы от выбросов ТЭЦ-1 составляют 12,7 ПДК и отмечены на расстоянии 1,4 км от источника.

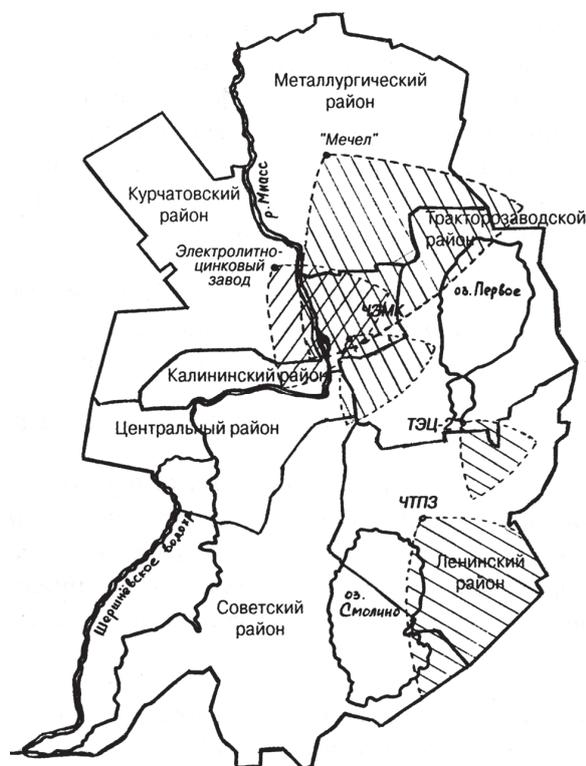


Рис. 9.6. Запыленность атмосферы Челябинска

Содержание диоксидов серы в Ленинском районе при южном направлении ветра может быть выше из-за наложения полей концентраций выбросов от двух электростанций.

В наибольшей степени диоксидами серы загрязнены следующие районы: Тракторозаводский (вблизи Никольской роши), Калининский (жилые кварталы вблизи проспектов Победы, Свердловского и Комсомольского) и Ленинский (пос. ЧКПЗ, жилые районы, прилегающие к ЧТПЗ).

Выбросы взвешенных веществ, превышающие санитарные нормы, имеют ОАО «ЧЭМК», ОАО «Электrolитно-цинковый завод», ТЭЦ-2, ОАО «ЧТПЗ» и ОАО «ЧМК». Эти выбросы распространяются на расстояния от 3,9 до 8,7 км при максимальной ширине захвата 760 м (рис. 9.6).

Максимальная концентрация пыли (взвешенных веществ) в приземном слое атмосферы в выбросах ОАО «ЧЭМК» составляет 3,6 ПДК и отмечается на расстоянии 790 м от предприятия. При южном, юго-восточном, восточном, юго-западном, западном направлениях ветра взвешенные вещества в выбросах предприятия оказывают влияние на уровень загрязнения атмосферы Челябинска. При других направлениях ветра эти выбросы уносятся в нежилые районы города. Выбросы пыли от ОАО «ЧЭМК» достигают центра города, оказывая влияние на атмосферу улиц Тимирязева, Российской, Калинина, 1-й Пятилетки, района Центрального рынка и пр. Победы.

Максимальная концентрация пыли от выбросов ОАО «Электролитно-цинковый завод» (11 ПДК) зафиксирована на расстоянии 120 м от источника. При южном, юго-восточном, северном, западном, юго-западном направлениях ветра вредные вещества этого предприятия распространяются на жилые массивы улиц Братьев Кашириных, Калинина и Комсомольского проспекта.

Максимальная концентрация пыли от выбросов ТЭЦ-2 (18 ПДК) отмечена на расстоянии 70 м от источника. Влияние взвешенных веществ от выбросов ТЭЦ-2 распространяется на жилые районы города при южном, северо-восточном, северо-западном, юго-западном направлениях ветра. В зону влияния попадают поселки ЧКПЗ, Фатеевка и Чурилово, Тракторозаводский район, а также центральная часть пр. Ленина и Копейское шоссе.

Максимальная концентрация пыли от выбросов ОАО «ЧТПЗ» (3,2 ПДК) зафиксирована на расстоянии 730 м от источника. Выбросы пыли оказывают влияние на степень загрязнения атмосферного воздуха Челябинска при всех направлениях ветра в Ленинском и Тракторозаводском районах, поселках Мясокомбината и ЧКПЗ, а также на Копейском шоссе.

Максимальная концентрация пыли в выбросах ОАО «ЧМК» (4,2 ПДК) отмечена на расстоянии 1,62 км от источника. При южном, юго-западном и западном направлениях ветра влияние взвешенных веществ от выбросов «ЧМК» наблюдается в Metallургическом районе, на отдельных территориях Калининского и Курчатовского районов.

В соответствии с полученными результатами наиболее запыленными частями города от перечисленных промышленных предприятий являются Калининский район вблизи Никольской рощи, северная часть Тракторозаводского района, а также пос. ЧКПЗ в Ленинском районе и часть поселка Фатеевка.

Содержание формальдегида, превышающее санитарные нормы, отмечено только в выбросах ОАО «ЧТПЗ» (рис. 9.7). Выбросы распространяются на расстояние до 4 км от источника при максимальной ширине захвата 890 м. Максимальная концентрация (1,8 ПДК) зафиксирована на расстоянии 225 м от завода, на территории жилых кварталов в Ленинском районе города вблизи предприятия.

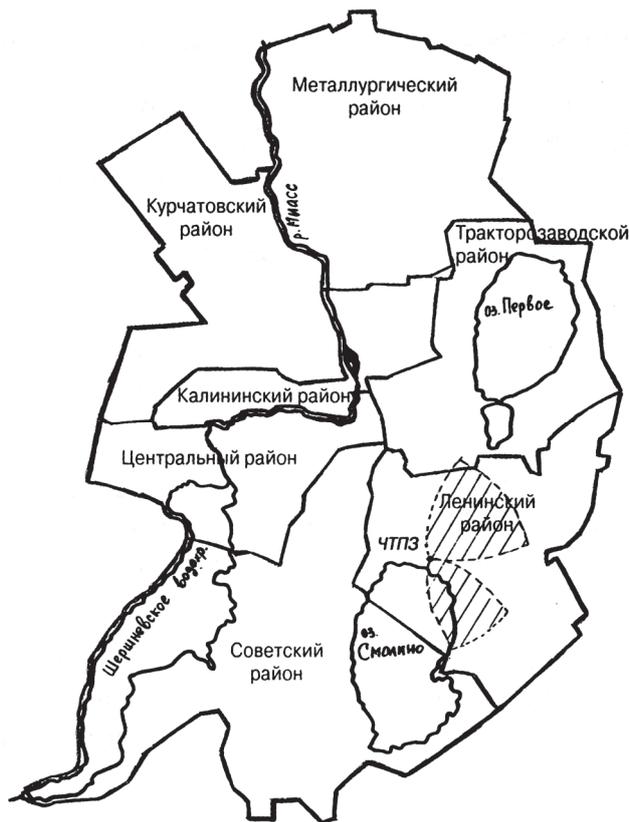


Рис. 9.7. Загрязнение формальдегидом атмосферы Челябинска

Выбросы формальдегида от ОАО «ЧТПЗ» оказывают влияние на уровень загрязнения атмосферы Челябинска при южном, юго-восточном, северо-восточном, северном, северо-западном, западном направлениях ветра. Они затрагивают жилые кварталы вблизи улиц Машиностроителей, Новороссийской и Василевского. При других направлениях ветра влияние этих выбросов практически не сказывается, так как они приходятся на нежилые районы города.

В наибольшей степени формальдегидом загрязнен атмосферный воздух Ленинского района, поселков ЧКПЗ и Мясокомбината.

Выполненные расчеты были проверены при сопоставлении с экспериментальными данными о запыленности снежного покрова, которые были получены специалистами НТЦ «Прогноз». Согласно

этим данным за зимний период на территории Челябинска было накоплено около 670 тыс. т снега, которым аккумуляровано около 17,5 тыс. т пыли. В этой пыли было обнаружено около 148 т железа, 1,2 т свинца и много других металлов.

Зона запыленности более 1 ПДК (порядка 250 мг/л в снегу и 1,5 мг/м³ в воздухе) проходит в западной части ОАО «ЧЭМК», через поворот в Metallургический район от Свердловского тракта, через железнодорожный вокзал, поселки Локомотивный и Новосинегазово. Восточная граница зоны проходит по западному берегу озера Первое. В Ленинском районе в эту зону попадают ЧКПЗ, поселки Чурилово и Фатеевка.

Сопоставляя экспериментальные данные с результатами расчетов, полученными авторами, следует отметить их удовлетворительное совпадение.

В результате ранее проведенных исследований установлено, что уровень запыленности воздуха в южной части Metallургического района, а также на территории, примыкающей с севера к ОАО «ЧЭМК», составляет 2–4 ПДК. Это хорошо согласуется с результатами расчетов.

Результаты расчетов показали, что в указанных районах происходит суммирование полей концентраций от нескольких промышленных предприятий. Поэтому можно предположить, что в южной части Metallургии-

ческого района, а также на участке, примыкающем с севера к ОАО «ЧЭМК», будет наблюдаться концентрация пыли (взвешенные вещества), в несколько раз превышающая ПДК.

Совпадение результатов расчета запыленности в приземном слое атмосферы с экспериментальными данными свидетельствует о корректности использованной авторами методики и дает основание полагать, что выполненные расчеты достаточно объективно отражают уровень загрязнения атмосферного воздуха областного центра и другими компонентами. Выбросы предприятий ОАО «ЧЭМК», ОАО «ЧМК», ОАО «Электролитно-цинковый завод», ЧЭЦ-2, Челябэнерго, ОАО «ЧТПЗ», ТЭЦ-1 распространяются на жилые районы города. Происходит загрязнение атмосферы диоксидом серы, диоксидом азота, формальдегидом, бенз(а)пиреном. Выбросы оксида углерода от перечисленных промышленных предприятий города Челябинска за пределами санитарно-защитной зоны не превышают санитарно-гигиенические нормы. Установлены районы города, подверженные наибольшему загрязнению выше перечисленными компонентами.

Существенное влияние на загрязненность атмосферного воздуха в Челябинске оказывает и городской автотранспорт. Для оценки влияния выбросов автотранспорта на состояние атмосферного воздуха в Челябинске были проведены исследования на 9 крупных автомагистралях и в прилегающих к ним жилых зонах. Рассмотрим результаты, полученные на двух крупнейших автомагистралях города – проспектах Ленина и Свердловском (рис. 9.8).

Проспект Ленина расположен в центральной части Челябинска и имеет длину около 7 км с 4–5 полосами движения в каждом направлении. Свердловский проспект является «транзитной» магистралью и значительно загружен грузовым автотранспортом. Он пересекает почти весь город с севера на юг и имеет 3–4 полосы движения в каждом направлении.

Исследования проводились в течение рабочей недели с 7.00 до 9.00, с 11.00 до 13.00 и с 16.00 до 18.00 часов в соответствии с РД 52.04.186-89 на 10 перекрестках проспекта Ленина и 7 перекрестках Свердловского проспекта и в прилегающей к ним жилой зоне.

Передвижную станцию АМ-71 с комплектом приборов располагали на проезжей части автомагистрали, на границе жилой зоны и на территории прилегающей жилой застройки.

Состояние атмосферного воздуха оценивали по содержанию основных компонентов выхлопных газов: оксида углерода, диоксида азота, диоксида серы, предельных углеводородов, формальдегида, пыли (взвешенные вещества). Одновременно замеряли радиационный фон. Метеорологические наблюдения включали измерение температуры, влажности воздуха, скорости и направления ветра на высоте 1,5 м от поверхности земли.



Рис. 9.8. Карта объекта исследования

Интенсивность движения автотранспорта (G , ед./ч) определяли путем подсчета числа проходящих транспортных средств в течение часа на протяжении 2–3 недель в рабочие дни. На основании результатов наблюдений было рассчитано среднее значение интенсивности движения транспорта в каждом пункте.

Содержание диоксидов азота и серы в атмосферном воздухе определялось с помощью автоматических непрерывно действующих газоанализаторов Р-310 и С-310, а предельных углеводородов – автоматического, непрерывно действующего оптического газоанализатора. Для определения количества пыли (взвешенные вещества) использовали концентратомер «Прима-01». Содержание оксида углерода определяли с помощью автоматического непрерывно-действующего газоанализатора, а содержание формальдегида определяли по результатам анализа взятых проб воздуха в стационарной аналитической лаборатории.

Содержание основных примесей в атмосферном воздухе и рассчитанные комплексные индексы загрязнения атмосферы (ИЗА) приведены в табл. 9.1. Комплексные индексы загрязнения атмосферы I рассчитывали по уравнению

$$I(i) = \sum (C_{\text{мр}} / \text{ПДК}_{\text{мр}})^m,$$

где i – количество веществ; $C_{\text{мр}}$ – максимальная из разовых концентрация i -й примеси, $\text{мг}/\text{м}^3$, зависящая от класса опасности вещества; $\text{ПДК}_{\text{мр}}$ – максимальная разовая предельно допустимая концентрация, $\text{мг}/\text{м}^3$; m – безразмерная константа.

При расчетах величину m для диоксида серы и пыли принимали равной 1, для диоксида азота и формальдегида – 1,3, для оксида углерода и предельных углеводородов – 0,9.

В соответствии с рассчитанными значениями ИЗА уровень загрязнения атмосферного воздуха только на трех перекрестках можно классифицировать как низкий ($ИЗА < 5$), на одиннадцати перекрестках – как средний ($ИЗА < 8$) и на трех перекрестках – как высокий ($ИЗА < 15$). Следовательно, ИЗА возрастает с увеличением транспортного потока. Наибольшее загрязнение воздуха зафиксировано на пересечении проспекта Ленина с улицами Цвиллинга и Свободы. Высокое загрязнение воздуха на пересечении Свердловского проспекта с Комсомольским связано, видимо, с влиянием расположенных вблизи промышленных предприятий. Не исключено, что определенное влияние оказывает высокая интенсивность движения по Комсомольскому проспекту. Проведенные исследования показали, что при определении нагрузки на пересечении дорог следует учитывать не только число автомобилей на контролируемой магистрали, но и число транспортных средств на сопряженной улице. Следовательно, уровень загрязнения воздуха на перекрестке зависит от суммарного числа транспортных средств на сопряженных улицах, так как выбросы автотранспорта при стоянке с включенным двигателем сопоставимы с выбросами при торможении и разгоне. На рис. 9.9 показана зависимость содержания диоксида азота в атмосферном воздухе на проезжей части проспекта Ленина от интенсивности движения автотранспорта. Следует отметить, что такая связь прослеживается только для основных компонентов выхлопных газов автотранспорта (оксид углерода, взвешенные вещества, формальдегид). Можно предположить, что слабая функциональная связь числа автотранспорта и содержания загрязняющих веществ в воздухе определяется влиянием стационарных источников (промпредприятий), выбросы которых содержат те же компоненты. Это и влияет на большой разброс данных.

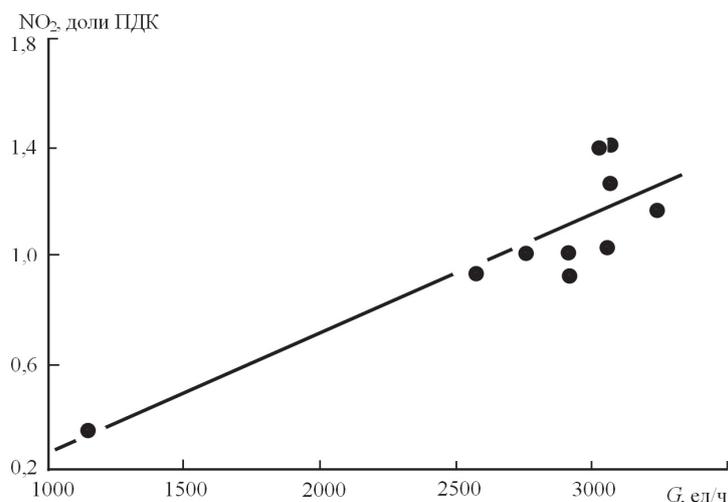


Рис. 9.9. Зависимость содержания диоксида азота в воздухе на проезжей части пр. Ленина от интенсивности движения автомобильного транспорта

Таблица 9.1

Содержание основных компонентов выхлопных газов
в атмосферном воздухе автомагистралей и примыкающих жилых зон

Магистраль	Перекресток	Улица или проспект	G, ед./ч	Содержание компонента, доли ПДК _{мр} /ПДК _{сс}						ИЗА
				SO ₂	NO ₂	C _m H _n	CO	Взвешенные вещества	Формальдегид	
Проект Ленина		Лесопарковая	1140	1,54/0,58	0,35/0,08	0,9/0,09	0,94/0,49	1,2/-	0,23/-	5,148/1,27
		Энтузиастов	3060	1,44/0,54	1,18/0,34	0,63/0,45	2,64/0,45	1,0/-	0,63/0,51	7,366/2,17
		Энгельса	3075	0,34/0,08	1,29/0,31	0,46/0,15	0,96/0,58	2,0/-	0,77/0,53	6,426/1,53
		Свердловский	2590	0,4/0,15	0,94/0,61	0,29/0,60	1,38/0,78	0,94/-	0,89/0,54	4,800/2,56
		Цвиллинга	3230	2/0,2	1,18/0,26	1,62/0,5	2,62/1,27	1,0/-	0,98/-	9,143/2,15
		Свободы	3045	0,06/0,2	1,41/0,26	0,46/0,01	4,28/0,94	2,0/-	0,51/-	8,793/1,32
		Российская	2905	0,3/0,08	0,94/0,34	0,46/0,11	1,64/0,86	0,95/-	0,72/0,63	4,936/1,88
		Артиллерийская	2745	0,3/0,14	1,06/0,37	1,42/0,09	2,36/0,98	0,94/-	0,13/0,09	5,968/1,56
		Горького	3005	0,38/0,14	1,41/0,36	1,05/0,12	2,76/1,24	1,32/-	0,97/0,69	7,886/2,38
		Героев Танкограда	2910	0,32/0,17	1,06/0,36	1,53/0,02	1,38/0,98	0,96/-	1,04/0,46	6,190/1,81
Свердловский проспект		Комсомольский	1700	0,04/0,58	1,76/0,16	2,56/0,06	2,76/1,08	1,2/0,24	0,8/0,12	9,12/2,102
		Победы	1608	0,04/0,01	0,82/0,3	0,54/0,23	1,84/0,66	2,66/0,15	0,7/0,50	6,37/1,77
		Труда	1408	0,02/0,01	0,82/0,36	0,5/0,01	1,84/0,66	0,8/0,18	0,7/0,40	4,45/1,477
ул. Воровского		Воровского	1622	0,04/0,04	0,82/0,18	0,08/0,10	3,98/0,46	0,94/0,22	0,71/0,64	5,99/1,545
		Ленина	1590	0,02/0,15	0,71/0,13	1,74/0,5	2,02/0,85	1,6/0,12	0,66/2,52	6,64/4,201
		Доватора	1686	0,04/0,01	1,18/0,14	0,09/0,13	2,58/0,96	1,0/0,18	0,91/0,48	5,60/1,799
		Блюхера	1596	0,04/0,08	0,94/0,13	1,32/0,02	1,64/0,58	0,95/0,28	1,09/0,7	5,91/1,687

Примечание. В числителе – содержание компонентов на проезжей части, в знаменателе – в примыкающих жилых зонах.

Необходимо отметить, что достаточно высокое и стабильное превышение ПДК_{мр} на всей проезжей части зафиксировано по оксиду углерода, диоксиду азота и взвешенным веществам. Содержание предельных углеводородов не высокое. Исключение составляет перекресток Свердловского и Комсомольского проспектов. Здесь, по-видимому, сказывается воздействие промпредприятий.

Накоплению вредных веществ способствует и понижение рельефа местности. Содержание сернистого ангидрида, как правило, находится в допустимых пределах, а превышение ПДК_{мр} связано, скорее всего, с влиянием промпредприятий.

Результаты исследования атмосферного воздуха в жилых зонах, примыкающих к автомагистралям, приведены в табл. 9.1. Для жилой зоны содержание основных компонентов дано в долях среднесуточных предельно допустимых концентраций ($C_{cc}/ПДК_{cc}$). Так как в работе определены максимальные разовые концентрации вредных веществ в атмосфере, то в соответствии с рекомендациями «Руководства по медико-экологической экспертизе здоровья населения» при расчете ИЗА исходили из того, что отношение максимальных разовых и среднесуточных концентраций составляет 10:4. ИЗА рассчитывали по формуле

$$I(i) = \sum (C_{cc} / ПДК_{cc})^m$$

Как видно из табл. 9.1, практически везде содержание исследованных примесей не превышает санитарно-гигиенические нормативы. Комплексный ИЗА лежит в пределах 1,1–2,2, что позволяет считать уровень загрязнения атмосферы низким, а состояние атмосферного воздуха в жилых зонах вблизи магистралей удовлетворительным.

В результате исследований установлено, что на проезжей части содержание оксида углерода, диоксида азота и твердых взвешенных частиц превышает допустимые максимальные разовые концентрации в 1,5–4 раза. Содержание диоксида серы и формальдегида, как правило, находится в пределах санитарно-гигиенических норм. Содержание предельных углеводородов в атмосфере зависит от выбросов стационарных источников (предприятий Челябинска). ИЗА на проезжей части магистралей составляет 4,45–9,14, что позволяет классифицировать загрязнение атмосферы на большинстве перекрестках как достаточно высокое.

9.4. Водные ресурсы. Их состояние и использование

Челябинская область расположена на водоразделе трех крупных рек: Волги (Кама), Урала и Оби (Тобол). Среднегодовой сток всех рек области составляет 6,34 км³/год. Из протекающих на территории 3602 рек 90 % относятся к очень малым, длиной менее 10 км. Источником питания рек является снежный покров, поэтому на долю весны приходится 80 % годового

стока. Отсюда следует приоритетная роль водохранилищ в сохранении и снабжении населения водой.

На территории области насчитывается 31 водохранилище. Суммарный объем воды в водохранилищах – 2,9 км³. Крупнейшими из них являются: Аргазинское, Нязепетровское, Долгобродское.

Территория области богата озерами. Всего в области насчитывается 3170 озер, однако в хозяйстве используются только наиболее крупные – Тургояк, Чебаркуль, Увильды и др.

В области насчитывается 1254 водных источника хозяйственно-питьевого назначения (в том числе 25 поверхностных), 98 % всех источников – подземные. Доля проб воды водоемов 1-й категории (источники хозяйственно-питьевого назначения), не отвечающих технических нормативам по санитарно-химическим и бактериологическим показателям в 2012 году, составила 38,1 %. Крайне неудовлетворительное качество воды в городах Копейске, Еманжелинске, Южноуральске, Пласте и Верхнем Уфалее.

Забор воды в Челябинской области в 2012 году составил 759,1 млн. м³/год, в том числе из поверхностных источников – 82,1 %, из подземных – 17,9 %. Потребление свежей воды составило 633,4 млн. м³, в том числе %: промышленность – 52,4; коммунальные хозяйства – 39,5; сельские хозяйства – 1,0. Использование воды на бытовые цели в 2012 году составило 200 л/сутки·чел.

В Челябинской области невелико значение поливного земледелия, поэтому структура потребления воды сдвинута в сторону промышленного производства.

В 2012 году обеспеченность питьевой водой, отвечающей требованиям безопасности, имели только 68,3% населенных пунктов.

Основными причинами низкого качества питьевой воды поверхностных и подземных источников являются:

- техногенное загрязнение вод;
- неудовлетворительное состояние водоочистных сооружений. Большая часть очистных сооружений хозяйственно-бытовой канализации, эксплуатируемых на территории области (60 из 71), требуют реконструкции для более глубокой очистки и обеззараживания сточных вод;
- отсутствие зон санитарной охраны водоисточников;
- отсутствие производственного контроля стоков.

Низкое качество воды в водоемах области связано со сбросом в водоемы неочищенных или плохо очищенных стоков. Челябинская область занимает 10 место в России по объему сброса сточных вод (856,0 млн. м³), причем в 2011 году из этого количества было очищено до нормы – 0,9 %, сброшено загрязненных стоков – 99,1 %, в том числе без очистки – 20,1 %. Многолетний сброс неочищенных и плохо очищенных стоков привел к катастрофическому загрязнению водных объектов области.

Характеристика качества воды по удельному комбинаторному индексу загрязнения воды (УКИЗВ) в реке Миасс вблизи города Челябинска представлена в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Качество воды в реке Миасс в 2010...2011 г.г.

Водные объекты	2010 г.		2011 г.	
	УКИЗВ	Класс качества	УКИЗВ	Класс качества
Шершневокское водохранилище, г Челябинск	3,14	3Б очень грязная	3.06	3Б очень грязная
р. Миасс, выше г Челябинска	3,05	3Б очень грязная	2,99	3А загрязненная
р. Миасс, ниже г Челябинска (д. Новое Поле)	6,72	5 класс экстр. грязная	7,10	4Г очень грязная

Перечень предприятий – основных загрязнителей водных объектов Челябинской области представлен в таблице 9.3.

Таблица 9.3

Основные загрязнители водных объектов

Наименование предприятия	Объем сбросов загрязненных сточных вод, всего, млн. м ³	Объем сбросов загрязненных сточных вод без очистки, млн. м ³	Основные сбрасываемые загрязняющие вещества	Количество сбрасываемого загрязняющего вещества, тыс. т
ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»	364,23	105,43	Взвешенные вещества, сухой остаток, кальций, магний, сульфаты, БПК _{полн} , нитраты, нитриты	222,2
МУП ПОВВ г. Челябинск	154,47	0	Взвешенные вещества, сухой остаток, сульфаты, хлориды, фосфаты, БПК _{полн}	101,659
МП трест «Водоканал» МО г. Магнитогорск	58,14	0	Взвешенные вещества, сухой остаток, сульфаты, хлориды, фосфаты, БПК _{полн}	50,456

В Челябинске вода не отвечает санитарно-гигиеническим нормативам в течение года по 3–4 показателям. В 2012 году это были водорастворимые

соли: меди – 2,2 ПДК, цинка – 3,4 ПДК, марганца – 5,8 ПДК. В другие годы к ним добавлялись соли железа и нефтепродукты.

Загрязнение водных объектов Челябинской области проиллюстрируем на примере реки Миасс и озер г. Челябинска.

Река Миасс. Длина реки 658 км. Качество воды в Шершневском водохранилище – основном источнике питьевого водоснабжения миллионного города – соответствует классу – «очень грязная». Сбросы промышленных предприятий и хозяйственно-бытовые стоки в черте города привели к существенному ухудшению качества воды в реке. Ниже Челябинска в воде содержатся: азот аммония – 8,7 ПДК; соли цинка – 3,7 ПДК; марганца – 12,3 ПДК; меди – 4,3 ПДК; фосфаты – 2,9 ПДК; нефтепродукты – 7,4 ПДК; органические вещества – 2,5 ПДК. Кроме того, в воде содержится до 1,14 мг/л сероводорода. Вода относится к классу «очень грязная».

На территории г. Челябинска расположено 4 озера. Самое загрязненное из них по санитарно-химическим показателям – оз. Шелюгино (соли цинка – 4,5 ПДК; марганца – 24,1 ПДК; азот аммония – 18,0 ПДК; азот нитратов – 3,0 ПДК; нефтепродукты – 2,8 ПДК; органические вещества – 1,8 ПДК). Вода относится к классу «очень грязная». По микробиологическим показателям к наиболее неблагоприятным водным объектам относятся р. Уй (Троицк), а в Челябинске – оз. Смолино. Наиболее благополучными в санитарном отношении водоемами 1-й категории являются реки Уфа, Сим, Урал, озера Зюраткуль, Тургойак, Аракуль, Ильменское и Аргазинское водохранилище.

9.5. Санитарное состояние почвы

Земельный фонд области составляет 8,85 млн. га. Распределение земель по категориям, %: земли сельскохозяйственного назначения – 58,7; лесного фонда – 31,4; земли поселений – 4,4. При этом городские поселения занимают 3,1 %, где проживает 81,5 % населения области. Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи и пр. занимают 2,9 %, а земли особоохраняемых природных территорий 0,7 %. Земли водного фонда и запаса занимают 0,3 % территории области.

В землях сельскохозяйственного назначения доли пашни, сенокосов и пастбищ составляют, соответственно, 60,0, 11,6 и 26,6%.

В 2012 контроль состояния почвы осуществлялся в 106 мониторинговых точках на территории 36 муниципальных образований области.

Состояние земельного фонда Челябинской области характеризуется как критическое. На территории области в разной степени развиваются негативные процессы: уменьшается гумус, закисление, засоление, заболачивание, эрозия и пр. Вблизи городов – Челябинска, Магнитогорска, Карабаша, Пласта, Верхнего Уфалея, Южноуральска, Сатки, Коркино – очень

высокий уровень содержания тяжелых металлов (кадмий, кобальт, цинк, медь и др.).

Почва на территории населенных мест является основным накопителем вредных веществ, образующихся в процессе жизнедеятельности человека, при этом наибольший вклад принадлежит выбросам промышленных предприятий. Загрязнение почвы – результат вторичного загрязнения атмосферного воздуха выбросами промышленных предприятий, свалками, полигонами, отвалами и пр. В 39,6 % проб почвы, взятых в 2012 году в селитебной зоне населенных мест, содержание примесей превышает гигиенические нормативы, в том числе 33,4 % – по содержанию тяжелых металлов.

Почва в городах и прилегающих к ним сельских поселениях постоянно подвергается интенсивному антропогенному воздействию. Загрязненная почва является источником вторичного загрязнения атмосферного воздуха, водоемов, подземных вод, продуктов питания растительного происхождения и тем самым влияет на эколого-гигиеническую обстановку в целом.

Кроме того, почва в крупных городах имеет высокое биологическое загрязнение. Загрязненность почвы гельминтами (аскаридами и др.) связана с нарушениями складирования бытового мусора (несанкционированные свалки), неудовлетворительным состоянием канализационных сетей, использованием дворовых территорий для выгула собак, изношенностью и дефицитом специализированных транспортных средств и контейнеров для сбора бытовых и пищевых отходов, крайне низкой экологической культурой населения.

В загрязнение почвы определенный вклад вносит и автомобильный транспорт. Дорожные выбросы накапливаются на поверхности земли постепенно в зависимости от интенсивности движения транспортных средств и сохраняются очень долго. Накапливающиеся в почве химические элементы, особенно металлы, хорошо усваиваются растениями придорожных земель и через них по пищевым цепочкам переходят в организм человека и животных. Исследования показали, что при общем фоновом содержании свинца в траве 5 мг/кг сухого веса на обочине шириной 150 м его оказалось в 40 раз, а на разделительной полосе – в 100 раз больше. Во многих странах использование фуражной травы запрещено в полосе 150 м от магистралей.

В Челябинске вблизи крупных промышленных предприятий содержание тяжелых металлов в почве в десятки раз превышает нормативы. Так, вблизи Челябинского электролитно-цинкового завода содержание в почве цинка превышает нормативы в 15–25 раз, свинца – в 12–78 раз. Содержание тяжелых металлов в почве на территории садов, расположенных вблизи этих предприятий, также высокое. Особенно загрязнена почва в садах ЧМК, Першино, Локомотив-2, Чурилово.

Это вызывает соответствующее превышение содержания тяжелых металлов в растениях, выращенных на этой территории. Особенно высокое

содержание тяжелых металлов (кадмий, никель, железо, хром) обнаружено в травянистых растениях (укроп, петрушка, кинза) и ягодах. Так, например, содержание Cr^{+6} в ягодах, выращенных в садах ЧМК, Першино, Чурилово, превышает нормативы в 100 и более раз.

9.6. Отходы производства и потребления

Рациональное и эффективное использование природных ресурсов является важным элементом развития экономики. Отходы – это значительная потеря материальных и энергетических ресурсов. Свалки и полигоны для хранения образовавшихся отходов являются причиной загрязнения окружающей среды и воздействия вредных веществ на организм людей. Сокращение объема отходов, требующих удаления, в свою очередь снижает объемы использования сырья и способствует сокращению добычи природных ресурсов.

На территории области накоплено 3 млрд. 218 млн. т отходов, в том числе 10,8 тыс. т отходов I класса опасности (чрезвычайно опасные). Челябинская область занимает третье место в Российской Федерации по объему образующихся токсичных отходов. На территории области находится 196 мест размещения отходов производства. Основные отходообразующие производства Челябинской области – горнодобывающая и металлургическая промышленности. Крупнейшие источники образования отходов в 2011 году:

- ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» – 48,8 тыс. т (53%);
- ОАО «Южуралзолото» – 12,4 тыс. т (13%);
- ОАО «Еткульзолото» – 3,9 тыс. т (4%);
- ОАО «Челябинский металлургический комбинат» – 3,2 тыс. т (3%).

Основная доля промышленных отходов приходится на предприятия металлургии (61 %), топливной промышленности (26,9 %), промышленности строительных материалов (4,3 %).

В городах области самыми проблемными являются свалки твердых бытовых отходов (ТБО). Ежегодный объем образования ТБО составляет около 1800 тыс. т. Всего в области насчитывается 574 свалки и ни одного мусороперерабатывающего завода. Строительство первого в области мусороперерабатывающего завода в Челябинске производительностью 150 тыс. т ТБО в год ведется много лет и до сих пор не завершено.

Городская свалка ТБО Челябинска расположена в 5 км от центра города между двумя районами – Металлургическим и Калининским. Она занимает площадь 45 га и давно исчерпала свои возможности. Однако ежегодно туда вывозится около 400 тыс. т ТБО. Челябинская городская свалка в том виде, в котором она сейчас существует, представляет собой грозную экологическую и эпидемиологическую опасность для миллионного города.

Другая серьезная опасность для здоровья челябинцев – это шлакоотвал ЧЭМК. Содержащийся в нем шестивалентный хром распространяется практически по территории всего города. Особенно от этого страдают люди, проживающие в районе кинотеатра «Искра», Никольской рощи, т.е. там, куда направлена в основном «роза ветров» этого шлакоотвала. По данным исследований, у населения в этих микрорайонах города повышена заболеваемость кожными болезнями, происходит накопление шестивалентного хрома в коронарных сосудах сердца, повышающее риск сердечно-сосудистых заболеваний.

9.7. Радиационная обстановка в Челябинской области

Челябинская область испытала экологические последствия эволюции человечества при освоении ядерных технологий. Первым предприятием в СССР, предназначенным для получения делящихся ядерных материалов, был химкомбинат «Маяк» (впоследствии ПО «Маяк»).

Мировая атомная промышленность значительно повысила радиоактивный фон всей планеты, изменив тем самым среду обитания всего живого. Так, например, до появления атомной промышленности во всем мире было несколько сотен Кюри радиоактивных излучений. В результате же только одной Чернобыльской аварии в окружающую среду было выброшено 500 млн. Ки, а деятельность Челябинских атомных объектов по самым скромным оценкам привела к выносу за эти годы в окружающую среду 1 млрд. 200 млн. Ки общей активности.

Всего на территории Челябинской области находится 454 объекта, использующие источники ионизирующего излучения, в том числе 3 объекта 1-ой категории и один объект 2-ой категории. Эти четыре объекта носят название радиационно опасных объекта (РОО). Кроме того, к северной границе области примыкает еще три РОО, хотя и находящихся на территории Свердловской области, однако значительная часть Челябинской области входит в 100-километровую зону влияния этих объектов. Таким образом, всего на территорию области оказывают влияние семь РОО (рис. 9.10).

Первым по значимости РОО Челябинской области является ПО «Маяк». Текущие выбросы и сбросы предприятия, а также аварийные ситуации привели к загрязнению территории четырех областей России: Челябинской, Свердловской, Курганской и Тюменской. Общая площадь вокруг ПО «Маяк», загрязненная радионуклидами, составляет 446,8 км². Поступление радионуклидов в окружающую среду обусловлено удалением в атмосферу технологических вентиляционных выбросов, сбросом жидких радиоактивных отходов и др.

Самым известным радиоактивным загрязнением местности является авария 1957 г. на ПО «Маяк» и ее следствие – Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС). В результате этой аварии из хозяйственного оби-

хода на долгие годы были выведены огромные территории (рис. 9.11). До сих пор, более 50 лет спустя, 8–10 тыс. кв. км четырех областей России не пригодны для нахождения людей и всего живого (общая площадь ВУРСа – 23 тыс. кв. км). От ВУРСа в наибольшей степени пострадал Каслинский район области (село Багаряк). Значительное число людей, проживающих там, было переселено, многие заболели разными формами лучевой болезни. И даже сейчас 57 лет спустя, в области проживает 15946 человек, пострадавших в результате радиационных аварий и деятельности ПО «Маяк», в том числе с накопленной дозой более 7 сантиЗивертов – 527 человек.

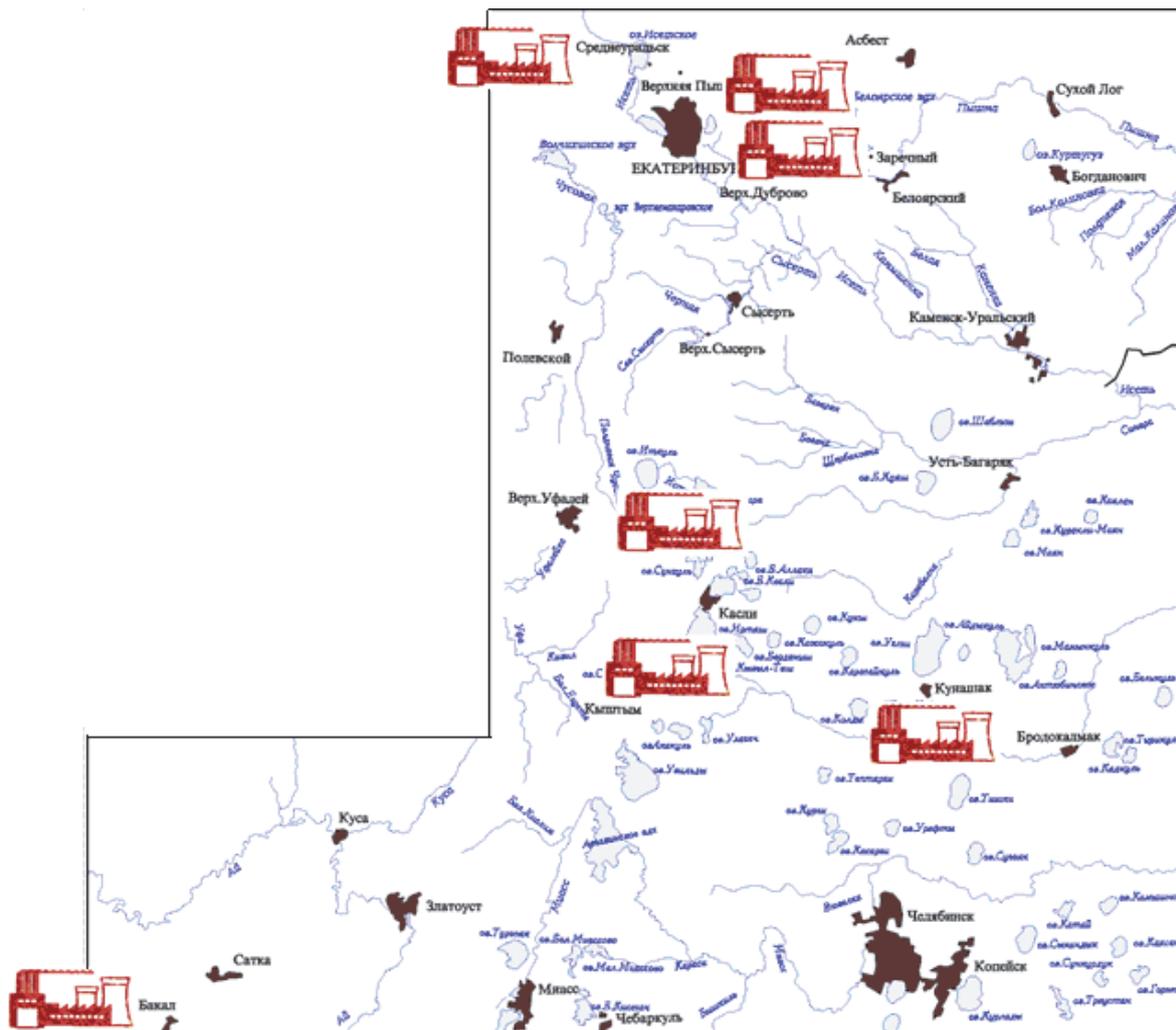


Рис. 9.10. Радиационно-опасные объекты Челябинской и Свердловской областей

Менее известна другая авария, произошедшая в 1967 засушливом году, когда в результате ветрового разноса пыли с берегов оз. Карачай и транспирации воды с поверхности водоема огромные территории области (~1800 км²) были загрязнены изотопом Cs¹³⁷ (рис. 9.12). Карачаевский след в наибольшей степени задел Кунашакский район Челябинской области. Всего в оз. Карачай – основном техническом объекте ПО «Маяк» – накоп-

лено 130 млн. Ки радиоактивности (это эквивалентно 65 аварий 1957 г.). Оз. Карачай – грозная опасность для Челябинской области. Уже сейчас в п. Новогорный (6 км от оз. Карачай) из скважин идет радиоактивная вода. Под озером образовалась линза загрязненных радионуклидами подземных вод, которая продвигается к р. Мишеляк. Скорость распространения подземных вод составляет около 80 м в год. Это угрожает расположенному недалеко озеру Увильды и, если все будет продолжаться такими темпами, то по расчетам ученых лет через 200 поток может достигнуть и Челябинска.

В настоящее время сброс жидких радиоактивных отходов в оз. Карачай продолжается. Оно остается источником загрязнения окружающей среды в случае уноса воды с поверхности озера.

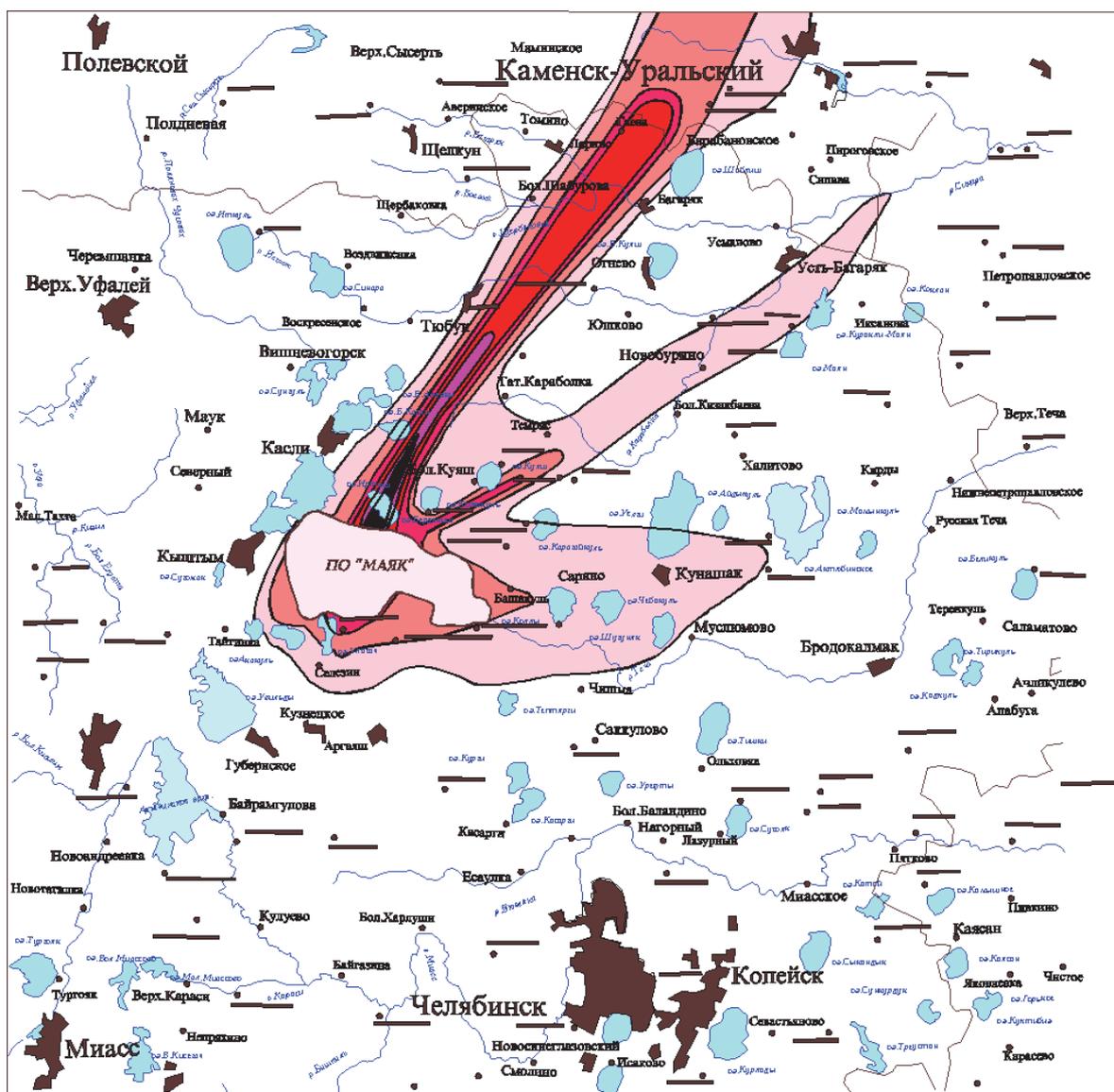


Рис. 9.11. Карта-схема плотности загрязнения почв стронцием-90 территории Челябинской области



Рис. 9.12. Карта-схема плотности загрязнения почв цезием-137 территории Челябинской области

Особое место в загрязнении территории Челябинской области занимает река Теча, в которую некоторое время осуществлялся сброс радиоактивных отходов ПО «Маяк». Река Теча имеет связь с открытой гидрографической системой (рис. 9.13), поэтому загрязнение прослеживается вплоть до Северного Ледовитого океана. Даже сейчас загрязненность воды в районе моста на автодороге Челябинск – Екатеринбург в 420 раз выше глобально-го фона.

Река Теча на всем своем протяжении выведена из всех видов водопользования. Основными техногенными радиоактивными загрязнителями реки являются стронций-90 и цезий-137. Наличие в верхнем течении реки Теченского каскада промышленных водоемов ПО «Маяк» и системы обвод-

ных каналов оказывает влияние на уровень радиоактивного загрязнения реки. В 2011 году среднегодовая концентрация стронция-90 в воде р. Теча на территории Челябинской области превышала значение Уровня вмешательства в три раза. Фильтрация загрязненных вод в р. Теча происходит через и под боковыми ограждающими дамбами в обводные каналы, а также под телом плотины.



Рис. 9.13. Карта-схема открытой гидрографической сети в зоне влияния ПО «Маяк»

ПО «Маяк» расположено на восточном берегу оз. Иртыш и является ведущим ядерно-промышленным комплексом страны. И хотя предприятие в последние годы существенно уменьшило радиоактивные выбросы в атмосферу, однако по-прежнему представляет серьезную экологическую опасность из-за наличия на его территории огромного количества радиоактивных отходов (РАО). Так, в могильниках ПО «Маяк» накоплено ~224 млн. Ки твердых РАО. В емкостях, приповерхностных водоемах скопилось более 1 млрд. Ки жидких РАО. Общая активность РАО на территории санитарно-защитной зоны ПО «Маяк» оценивается в 2,3 млрд. Ки.

Краткая характеристика других РОО области. Недалеко от Златоуста в г. Трехгорном расположен ФГУП «Приборостроительный завод» – завод по монтажу–демонтажу ядерных боеголовок. За год этот приборостроительный завод осуществляет замену около полутора тысяч боеголовок. В отходах этого предприятия имеется высокообогащенный уран, тритий и плутоний.

На север от Касли на берегу оз. Синара расположен г. Снежинск, являющийся жилой зоной Всероссийского НИИ технической физики (ВНИИТФ). На территории ФГУП «РФЯЦ – ВНИИТФ» функционирует экспериментальная ядерная установка, имеется хранилище жидких и твердых

РАО (~2 тыс. Ки), полигон для испытания и отработки новых процессов и устройств.

К северу от Челябинска недалеко от с. Чешма размещается спецкомбинат «Радон». ФГУП «РосРАО» – это российский и мировой могильник ядерных отходов. Предприятие имеет 8 хранилищ, из которых полностью заполнено 6. Среди радионуклидов в составе РАО преобладают Cs-137, Pu-239, Sr-90.

Все измеряемые параметры радиационной обстановки в Челябинской области в 2012 г. были нормальными, и величина мощности экспозиционной дозы гамма-излучения находилась на уровне фона для данной местности (~11 мкР/ч). Повышений данного параметра выше фонового уровня в 2 раза и более не наблюдалось.

В области действует развитая **система радиационного мониторинга**. Она начинает свою историю с 4 наблюдательных постов. Масштабность радиоактивного загрязнения территорий после аварии 1957 г. на ПО «Маяк» и ее последствия позволили осознать необходимость ведения регулярных наблюдений за изменением радиационного фона в зоне влияния потенциально-опасного ядерного объекта. Поэтому с конца 1958 года на метеостанциях, расположенных в радиусе до 60 км от ПО «Маяк», стали осуществлять отбор проб атмосферных выпадений на горизонтальные планшеты без бортиков с суточной экспозицией на местности. Пробы атмосферных выпадений анализировались в стационарной лаборатории на суммарную β -активность.

Несовершенство сети государственного контроля вокруг ПО «Маяк» выявилось в 1967 году, когда повышение уровня радиоактивности в приземном слое атмосферы, связанное с ветровым разносом радиоактивной пыли из оз. Карачай, не было зафиксировано гидрометовскими постами. Основными причинами такого расклада событий были следующие:

1) Расположение постов контроля на значительном удалении от санитарно-защитной зоны радиационно-опасного объекта (до 60 км). В то время как основное загрязнение «Карачаевским» следом получили территории в радиусе до 30 км вокруг ПО «Маяк»;

2) Анализ проб атмосферных выпадений осуществлялся только на суммарную β -активность (из-за отсутствия приборов не производилось определение γ -излучающих изотопов). В то же время в выносе из оз. Карачай содержание γ -излучающего Cs¹³⁷ к β -излучающему Sr⁹⁰ составляло 3 к 1.

В дальнейшем, начиная с 1968 года, сеть постов Гидромета была увеличена на 9 пунктов наблюдения в ближней 30-километровой зоне вокруг ПО «Маяк» (рис. 9.14). С 1972 года и до настоящего времени годовая плотность β -активных выпадений из приземного слоя атмосферы характеризуется колебаниями от 0,15 кБк/м² до 2,9 кБк/м² в зависимости от удаленности наблюдательного поста от источника загрязнения и расположения относительно преобладающей розы ветров.



Рис. 9.14. Расположение пунктов радиационного мониторинга в 100-км зоне вокруг ПО «Маяк»

Динамика среднесуточных значений плотности β -активных выпадений по годам подчиняется тем же закономерностям, что и годовая. С десятков Бк/м² в сутки в начале 60-х годов, 5–9 Бк/м² в сутки в 70-е годы и до 1 Бк/м² в сутки – в 90-е годы. В настоящее время среднесуточные значения плотности β -выпадения на территории Челябинской области и в зоне влияния радиационно-опасных объектов близки к фоновым значениям в среднем по России (1 Бк/м² в сутки).

Значения максимальных суточных выпадений суммарной β -активности изменялись за период ведения наблюдений в широких пределах. В начальный период наблюдения плотность суточных β -выпадения достигала величин 2,4 кБк/м², что составляло 57 среднесуточных величин за исследуемый год. Высокие уровни активности в атмосферных выпадениях наблюдались и в 70–80-е годы. Например, в мае 1988 года в п. Аргаш плотность β -активных выпадений в один из дней составила 0,2 кБк/м², при среднесуточном значении за год – 0,0019 кБк/м² (1,9 Бк/м²).

Для динамики плотности β -активных выпадений вокруг ПО «Маяк», начиная с 70-х годов, характерна зависимость от времени года. В летний бесснежный период плотность β -выпадения увеличивается в среднем в 2–6 раз. Это объясняется тем, что в последнее время количество выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду через трубы предприятия «Маяк» практически близко к нулю. Поэтому преобладающую роль в за-

грязнении прилегающих территорий стал играть вторичный ветровой перенос радиоактивной пыли с санитарно-защитной зоны объекта. Определенный вклад в увеличение плотности радиоактивных выпадений в летний период также вносит транспирация в атмосферу радионуклидов с поверхности техногенных водоемов.

Анализ плотности выпадений Cs^{137} из приземного слоя атмосферы в зоне влияния ПО «Маяк» начал осуществляться Гидрометом с 1968 г. на вновь организованных наблюдательных постах, расположенных в ближнем тридцатикилометровом радиусе вокруг ПО «Маяк». Суммарное количество выпадающего Cs^{137} колебалось от 0,14 до 2,20 Бк/м² в разные годы. Временная динамика Cs^{137} характеризуется теми же закономерностями, что и по колебаниям суммарной β -активности.

Современный радиационный мониторинг. Система радиационного контроля состояния окружающей природной среды в районах расположения ядерных объектов создается с целью надзора за безопасностью работы этих объектов. Основное назначение системы контроля – достоверное и оперативное обнаружение и оценка изменений радиационной обстановки с целью максимально возможного снижения последствий вероятных аварийных ситуаций.

Атмосферный воздух является наиболее мобильной природной средой, мгновенно изменяющей качественный состав при выбросе загрязняющих веществ. Поэтому система экспрессного радиационного мониторинга Гидромета строится на измерении параметров радиоактивного загрязнения в первую очередь этой природной среды.

В настоящее время на территории Челябинской области данная система представлена:

- 50 контрольными постами регулярного ежесуточного 3–8 разового измерения мощности экспозиционной дозы γ -излучения переносными дозиметрами ДБГ-06Т и ДРГ-107Ц; измерения осуществляются наблюдателями постов и метеостанций; посты и метеостанции расположены как в зоне влияния радиационно-опасных объектов, так и на остальной территории области (рис. 9.15, 9.16);

- 36 сборниками атмосферных выпадений, 34 из которых расположены в зоне влияния радиационно-опасных объектов; наблюдатели постов осуществляют отбор проб с суточной (недельной) экспозицией на местности;

- 8 средствами отбора проб аэрозолей воздуха для анализа на радиоактивное загрязнение (фильтровентиляционные установки и изокINETические пробоотборники); наблюдателями постов осуществляется отбор проб атмосферного воздуха с различным временем экспозиции.

- 3 постами автоматического контроля за изменением мощности экспозиционной дозы γ -излучения в ближней зоне влияния ПО «Маяк»; информация в автоматическом режиме поступает в Челябинский гидромет [12].

Анализ проб атмосферного воздуха производится в стационарной лаборатории по единым аттестованным методикам Росгидромета. В настоящее время анализ проб в лаборатории осуществляется на следующие радиационные параметры:

- суммарная β -активность;
- γ -спектрометрический анализ.

Оценивая функционирующую систему радиационного мониторинга Гидромета, следует отметить, что основная сеть постов расположена в зоне влияния ПО «Маяк», как наиболее потенциально-опасного ядерного объекта. Посты вокруг ПО «Маяк» расположены равномерно как в ближнем радиусе (30 км), так и в дальнем – до 100 км. Вокруг других радиационных объектов сеть наблюдения имеется, но она явно недостаточна и плохо дифференцирована.

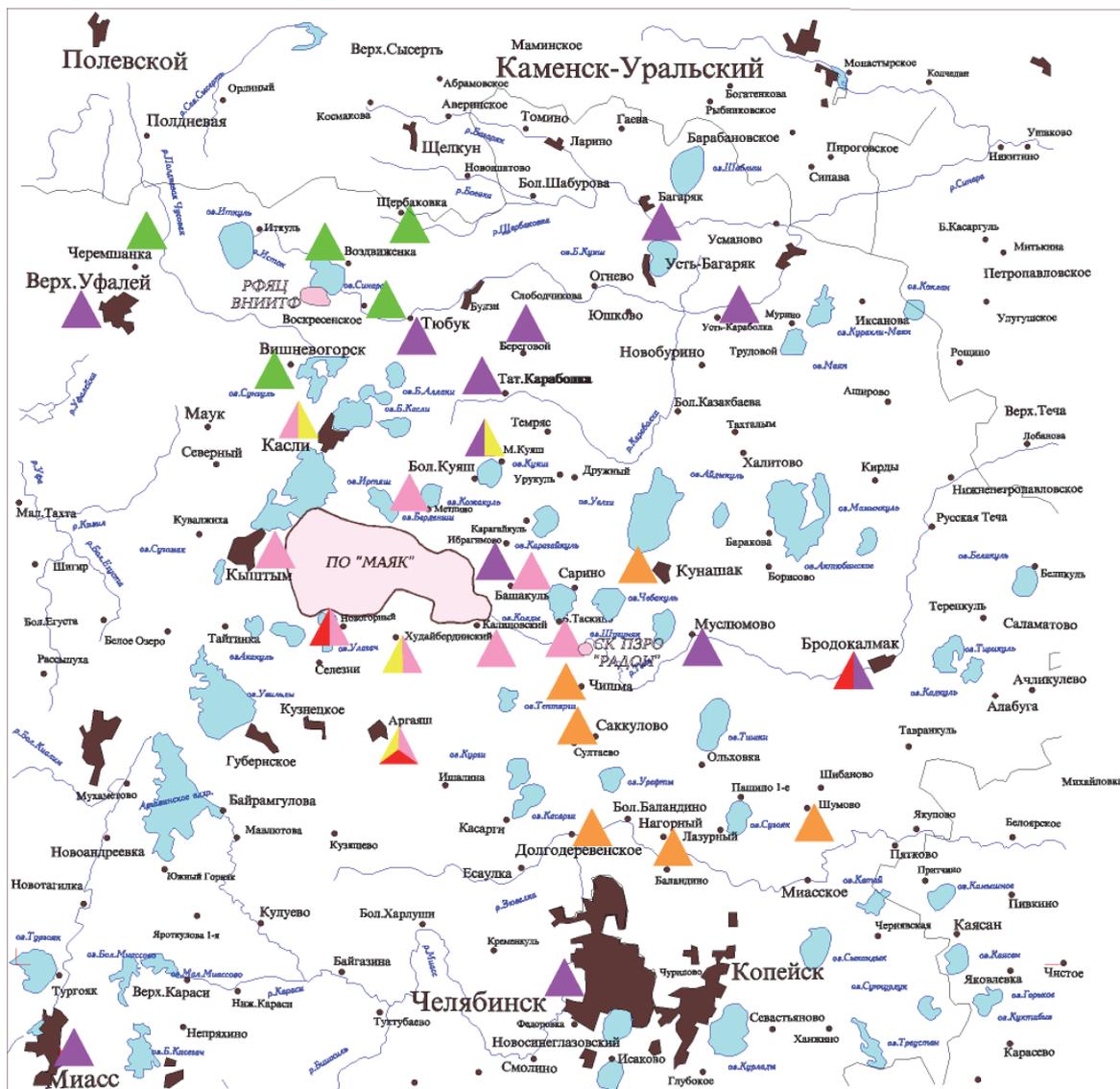
Анализ существующей системы наблюдения и контроля и перспективы ее совершенствования. Основными технологическими параметрами, которые должны учитываться при построении системы радиационного мониторинга, являются:

- время (с какой периодичностью осуществлять радиационный контроль);
- пространство (как организовать оптимальную систему контроля, разнесенную в пространстве);
- качественный состав (какие виды радиационных наблюдений осуществлять).

По временному параметру наблюдения осуществляются с достаточной периодичностью: измерения МЭД γ -излучения – 3–8 раз в сутки, с автоматических датчиков – каждые 20 минут.

Оценивая имеющуюся систему построения радиационного контроля Гидромета, следует отметить, что вокруг ПО «Маяк» функционирует достаточно разветвленная сеть постов как в ближней 30-километровой зоне, так и в 100-километровом радиусе (рис. 9.14). Вокруг других ядерных объектов Челябинской области сеть радиационного мониторинга не сформирована. Следует отметить, что все потенциально-опасные объекты расположены на расстоянии до 100 км друг от друга. В связи с этим может происходить перекрывание зон их воздействия на прилегающие территории.

Поэтому посты контроля вокруг ПО «Маяк» частично осуществляют контроль и за другими объектами. Но для того, чтобы надежно идентифицировать источник возможного загрязнения, необходимо организовать наблюдения за изменением радиационных параметров в ближней 30-километровой зоне вокруг всех ядерных объектов.



Условные обозначения

- Радиационно опасные объекты
- Пункт отбора проб атмосферных выпадений в 30 км вокруг ПО "Маяк"
- Пункт отбора проб атмосферных выпадений в радиусе 100 км от ПО "Маяк" и других РОО.
- Пункт отбора проб атмосферных выпадений с недельной экспозицией вокруг ПЗРО "РАДОН"
- Пункт отбора проб аэрозолей воздуха на ФУ "Тайфун-3"
- Пункт отбора проб аэрозолей воздуха с помощью ИПА

Рис. 9.16. Карта-схема расположения контрольных постов по отбору проб атмосферного воздуха и атмосферных осадков сети радиационного мониторинга ГУ Челябинский ЦГМС

9.8. Влияние экологических факторов на здоровье населения

В структуре факторов, влияющих на здоровье населения, по данным Минздрава РФ включены:

- 1) питание – 35 %;
- 2) экологические факторы – 25 %;
- 3) условия труда – 20%;
- 4) условия воспитания – 20%.

Питание населения области. Среди основных факторов, определяющих состояние здоровья населения является питание. Правильное полноценное питание обеспечивает организм человека пищевыми веществами и энергией, способствует повышению сопротивляемости организма неблагоприятному воздействию окружающей среды, профилактике элементарно-зависимых заболеваний.

Отклонения от рекомендуемых норм питания во всех возрастных группах отрицательно отражаются на здоровье населения в целом. Кроме того, продукты питания должны быть безопасными, соответствовать гигиеническим нормативам по химическим и микробиологическим показателям.

Суточный рацион питания для большинства жителей области меньше физической потребности 2500 ккал. В среднем по России суточный рацион составляет 2390 ккал. Это гораздо меньше, чем потребительская корзина (2775 ккал) и рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) – 2961 ккал. Причем, даже при такой калорийности структура питания населения области сильно искажена. Доля углеводов существенно выше рекомендованных ВОЗ 58 % (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Потребление основных продуктов питания на душу населения
в Челябинской области за 2009-2011 г.г. (кг/год)

Вид продукции	2009г.	2010г.	2011г.
Хлебопродукты	87,7	89,7	88,9
Мясо и мясопродукты	70,5	77,0	78,1
Молоко и молочные продукты	236,5	257,8	249,8
Рыба и рыбные продукты	21,1	22,8	24,1
Сахар и кондитерские изделия	29,9	31,5	31,1
Овощи и бахчевые	98,0	94,8	102,1
Картофель	57,0	55,7	54,3
Яйцо (штук)	174	193	187

Структура питания населения области в целом не отвечает физиологическим нормам. Она характеризуется пониженным потреблением таких

биологически ценных продуктов питания, как яйца, молоко, овощи, дефицит потребления которых составляет 27-36%. Уровень потребления прочих пищевых продуктов (сахар, кондитерские и хлебобулочные изделия, картофель) также ниже нормируемого и находится в пределах 46-80% от физиологической нормы.

Медико-демографическая ситуация. К важнейшим параметрам, характеризующим состояние здоровья населения, относятся медико-демографические показатели. Демографическая ситуация как результат взаимодействия процессов естественного движения и миграции населения формирует состояние и структуру численности населения. Впервые за много лет за последний год численность населения области увеличилась на 6000 человек (на 0,2%). Показатель рождаемости в Челябинской области выше общероссийского уровня и ниже Уральского региона, а показатель смертности находится в пределах общероссийского уровня и выше Уральского региона (табл. 9.5). Число родившихся впервые за многие годы превысило число умерших на 518 человек.

Таблица 9.5

Естественное движение населения Челябинской области за 2010-2012г.г.
(показатель на 1000 человек)

Наименование Показателя	2010г.			2011г.			2012
	область	УФО	РФ	область	УФО	РФ	область
Рождаемость	13,3	14,1	12,5	13,6	14,2	12,6	14,3
Смертность	14,3	13,0	14,2	14,2	12,7	13,5	14,2
Естественный прирост	-1,0	1,1	-1,7	-0,6	1,5	-0,9	+0,1
Младенческая смертность	7,6	6,7	7,5	7,6	6,6	7,4	8,7

На изменение численности оказывает влияние миграция населения. В 2011 году в область прибыло 78865 человек, убыло 72233 человека. Миграционный прирост составил 6572 человека. Он, по сути, и обеспечил увеличение численности населения.

Заболеваемость населения. Состояние здоровья и уровень смертности населения непосредственно связан с экологической и социальной обстановкой в регионе. Основными причинами смертности населения в 2011 году являются:

- 1) болезни органов кровообращения – 53,4%;
- 2) новообразования – 16,6%;
- 3) травмы, отравления и др. причины – 11,7%;
- 4) болезни органов пищеварения – 4,7%;
- 5) болезни органов дыхания – 4,3%.

Среди умерших мужчины составляют 54,3 %, женщины – 45,7 %. Такая тенденция отражается на балансе соотношения полов в области, кото-

рое составляет 46,6 % (мужчины) и 53,4 % (женщины). Продолжительность жизни женщин в среднем на 12 лет больше, чем мужчин.

Структура смертности населения является отражением структуры его заболеваемости, в свою очередь зависящей от экологической и социальной обстановки в Челябинской области. Ниже (табл. 9.6) представлена структура заболеваемости детей и взрослых.

Как видно, состав атмосферы Челябинской области пагубно сказывается на органах дыхания, как детей, так и взрослых, причем дети с их неокрепшими организмами страдают от этого сильнее. Еще один фактор обращает на себя внимание. Это выход в число основных и массовых заболеваний челябинцев глазных болезней. Скорее всего, это плата за компьютеризацию, злоупотребление телевидением.

Таблица 9.6

Заболеваемость населения Челябинской области в 2011 году

Дети		Взрослые	
Болезни	Доля, %	Болезни	Доля, %
Болезни органов дыхания	53,3	Болезни органов дыхания	17,2
Болезни органов пищеварения	5,8	Болезни органов кровообращения	15,0
Болезни кожи	4,8	Болезни костно-мышечной системы	8,5
Травмы, отравления	4,7	Травмы, отравления, несчастные случаи	7,7
Инфекционные и паразитарные болезни	4,6	Болезни глаз	7,7

В области имеет место устойчивая тенденция увеличения заболеваемости населения злокачественными новообразованиями. Показатель заболеваемости составил 409 на 100 тыс. человек, тогда как в РФ в среднем он составляет 364. Ведущее место в структуре этой заболеваемости занимают злокачественные новообразования кожи, органов дыхания, желудка и молочной железы.

Инфекционная и паразитарная заболеваемость. В 2012 году зафиксировано 1 млн. 138 тыс. случаев инфекционных заболеваний, 92 % из которых приходится на грипп и ОРВИ (острые респираторные вирусные инфекции). Однако кроме этих, самых массовых, на территории области встречаются случаи заболевания дизентерией (рост в 1,5 раза по сравнению с предыдущим годом), вирусным гепатитом (6,5 на 100 тыс. человек). Продолжается рост больных туберкулезом. За год число заболевших составило 2434 человек, 484 человека умерли от этого заболевания.

С каждым годом увеличивается число больных клещевым энцефалитом и клещевым боррелиозом (болезнь Лайма). За год с укусами клещей обратилось более 21517 человек, из них заболело 197 человек.

На территории области продолжает распространяться «чума XXI века» – ВИЧ-инфекция. Всего в области выявлено 29 843 больных, в основном молодежь 18–29 лет – 62,6 %. Среди них школьники – 4 человека, учащиеся средних учебных заведений – 15 человек, ВУЗов – 19 человек. Причины инфицирования: 36 % путем введения наркотиков; 60 % – половым путем. Мужчин, среди инфицированных, в полтора раза больше, чем женщин.

9.9. Заключение

Наука «Экология» возникла и сформировалась как ответ на запросы общества, обеспокоенного состоянием среды обитания и здоровья населения. При этом возникла необходимость исследовать как внешнюю среду, так и специфику процессов жизнедеятельности населения. Экология человека – это наука, изучающая закономерности воздействия на население конкретных регионов природных, социально-бытовых и производственных факторов. Краткое изложение в учебном пособии этих факторов позволяет заключить, что природная среда в Челябинской области по-прежнему подвергается высокой техногенной нагрузке. Выбросы загрязняющих веществ от хозяйственных комплексов отрицательно сказываются на экологическом состоянии воздушного бассейна, земельных и водных ресурсах, негативно отражаются на природе Южного Урала. Все это, в свою очередь, отрицательно влияет на состояние здоровья южноуральцев.

На пирамиде Хеопса написано, что люди погибнут от неумения пользоваться силами природы и от незнания истинного мира. Автор очень надеется, что, ознакомившись с ситуацией в регионе, молодые специалисты проникнутся тревогой, займут правильную гражданскую позицию и свою деятельность направят на то, чтобы предсказания древних египтян никогда не осуществились.

Библиографический список к части 1

1. Инженерная экология: учебник / под ред. В.Т. Медведева. – М.: Гардарики, 2002. – 687 с.
2. Юсфин, Ю. С. Промышленность и окружающая среда / Ю.С. Юсфин, Л.И. Леонтьев, П.И. Черноусов. – М.: Академкнига, 2002. – 468 с.
3. Инженерная защита окружающей среды / под общей редакцией Ю.А. Бирмана, Н.Г. Вурдовой. – М.: Изд. АСВ, 2002. – 296 с.
4. Карабасов, Ю. С. Экология и управление: учебник / Ю.С. Карабасов, В.М. Чижикова. – М.: МИСИС, 2006. – 708 с.
5. Калыгин, В.Г. Промышленная экология: учебное пособие / В.Г. Калыгин. – М. Академия, 2006. – 430 с.
6. Родионов, А.И. Защита биосферы от промышленных выбросов: Основы проектирования технологических процессов: учебное пособие / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьев. – М.: Химия: КолосС, 2007. – 386 с.
7. Семенова, И.В. Промышленная экология: учебное пособие / И.В. Семенова. – М.: Изд. Центр «Академия», 2009. – 528 с.
8. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты газоочистки: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд. ПГУ, 2006. – 201 с.
9. Ветошкин, А.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы: учебное пособие / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд. ПГУ, 2004. – 188 с.
10. Шицкова, А.П. Охрана окружающей среды от загрязнения предприятиями черной металлургии / А.П. Шицкова, Ю.П. Новиков, Н.В. Климкина. – М.: Металлургия, 1982. – 288 с.
11. Красавцев, Г.Н. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Г.Н. Красавцев, Ю.И. Ильичев, А.И. Кашуба. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.
12. Розенгарт, Ю.И. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование: учебное пособие / Ю.И. Розенгарт, Б.И. Якобсон, З.А. Мурадова. – Киев: Высшая школа, 1988. – 328 с.
13. Чоджой, М.Х. Энергосбережение в промышленности / М.Х. Чоджой. – М.: Металлургия, 1982. – 270 с.
14. Мазур, И.И. Курс инженерной экологии / И.И. Мазур, О.Н. Молдованов. – М.: Высшая школа, 1999. – 446с.
15. Челябинская область // Экономический обзор. – 2013. – 68 с. <http://www.econom-chelreg.ru/review>
16. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Челябинской области в 2012 году». Челябинск, 2013. – 283 с. <http://74.rospotrebnadzor.ru>.

17. Комплексный доклад о состоянии окружающей природной среды в Челябинской области в 2011 г., Челябинск, 2012. – 184 с. <http://minesco174.ru/files/media/doclad/2011>.
18. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2012 году», Москва: Госцентр экологических программ, 2013. – 483 с.
19. Государственный доклад "О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2011 году". Москва, Изд. «Консультант плюс», 2013. – 266 с. <http://www.gospotrebnadzor.ru>.
20. Фадеева, М.В. Состояние атмосферного воздуха г. Челябинска / М.В. Фадеева, О.К. Токовой, М.Я. Лебзак // Экология и промышленность России. – 2002. – № 5. – С. 27–30.
21. Фадеева, М.В. Загрязнение атмосферного воздуха г. Челябинска автотранспортом / М.В. Фадеева, В.Ю. Знамеровский, О.К. Токовой и др. // Экология и промышленность России. – 2001. – № 12. – С. 31–33.
22. Иваницкая, М.В. К вопросу о концепции рационального радиационного мониторинга Росгидромета на территории Челябинской области / М.В. Иваницкая, О.К. Токовой // Экология и промышленность России. – 1998. – № 9. – С. 42–46.
23. Кимстач, В.А. Концепция системы экологического мониторинга России/ В.А. Кимстач, Ш.Д. Фридман, Е.С. Дмитриев и др. // Метеорология и гидрология. – 1992. – № 10. – С. 5–18.
24. Руководство по организации контроля состояния природной среды в районе расположения АЭС / Под ред. К.П. Махонько. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 264 с.
25. Малахов, С.Г. Загрязнение природных сред СССР радиоактивными продуктами ядерных взрывов в 1967 году/ С.Г. Малахов, К.П. Махонько, А.Н. Силантьев и др. – Обнинск; М., 1968. – 170 с.
26. Радиоактивное загрязнение территории Челябинской области / Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1992. – 55 с.
27. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2012 г.: ежегодник / Обнинск: НПО «Тайфун», 2013. – 344 с.
28. Букова, Н.А. Автоматизированная система радиационного мониторинга Челябинской области / Н.А. Букова, М.В. Иваницкая, С.П. Куликов // Современные технологии автоматизации. – 1997. – № 4. – С. 40–44.
29. Итоговый аналитический отчет по контролю за радиационными параметрами атмосферного воздуха / Челябинск: Челябинский ЦГМС: филиал ФГБУ «Уральское УГМС», 2013. – 17 с.
30. Комплексный доклад о состоянии окружающей природной среды в Челябинской области в 2012 г. / Министерство по радиац. и эколог. безопасности Челяб. области. – Челябинск, [б.и.], 2013. – 232 с.

Часть 2

Решение прикладных задач

Раздел 1. Контроль окружающей среды

1.1. Контроль атмосферы

1.1.1. Расчет индекса загрязнения атмосферы

Общие положения

Для сравнения степени загрязнения атмосферы в различных городах или в одном городе в различные периоды времени используется комплексный показатель – индекс загрязнения атмосферы (ИЗА). Это безразмерная функция характеристик степени загрязнений атмосферы несколькими веществами. Показатель характеризует уровень длительного загрязнения воздуха. В соответствии с существующими методами оценки уровень загрязнения считается при ИЗА: менее 5 – относительно удовлетворительным; 5...6 – повышенным; 7...13 – высоким; более 14 – очень высоким.

Комплексный ИЗА, учитывающий l веществ, присутствующих в атмосфере, рассчитывается по уравнению

$$I(l) = \sum_{i=1}^l I_i = \sum_{i=1}^l \left(\frac{\bar{c}}{ПДК_{cc}} \right)^{m_i}, \quad (1.1)$$

где \bar{c} – средняя для поста или города концентрация i -й примеси, мг/м³; m_i – безразмерная константа, позволяющая привести степень вредности i -го вещества к вредности диоксида серы; $ПДК_{cc}$ – среднесуточная предельно допустимая концентрация, мг/м³. Безразмерная константа m_i для 1, 2, 3, 4 классов опасности веществ равна, соответственно, 1,7; 1,3; 1,0 и 0,9.

Расчет ИЗА основан на предположении, что на уровне ПДК все вредные вещества характеризуются одинаковым влиянием на человека, а при дальнейшем увеличении концентрации степень их вредности возрастает с различной скоростью, которая зависит от класса опасности вещества.

Количество веществ l , учитываемых при расчете комплексного ИЗА руководящим документом не устанавливается, однако на практике число веществ составляет не менее 5.

Решение типовой задачи

Рассчитайте индекс загрязненности атмосферы в городе С. Среднегодовая концентрация примесей в воздухе и их ПДК приведены в таблице.

Примесь воздуха	Бенз(а)перен	Формальдегид	Фенол	NO ₂	SO ₂
Концентрация примесей, мг/м ³	2,9·10 ⁻⁶	0,006	0,004	0,05	0,03
ПДК _{сс} , мг/м ³	1·10 ⁻⁶	0,003	0,003	0,04	0,05
Класс опасности	1	2	2	2	3

Безразмерная константа m_i равна: для бенз(а)пирена (БП) – 1,7; для формальдегида, фенола и NO₂ – 1,3; для SO₂ – 1,0. Оцените уровень загрязнения воздуха в городе С.

Решение

Комплексный ИЗА

$$I = \sum_{i=1}^l \left(\frac{\bar{c}}{ПДК_{сс}} \right)^{m_i} = \left(\frac{2,9 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-6}} \right)^{1,7} + \left(\frac{0,006}{0,003} \right)^{1,3} + \left(\frac{0,004}{0,003} \right)^{1,3} + \left(\frac{0,05}{0,04} \right)^{1,3} + \left(\frac{0,03}{0,05} \right)^{1,0} = 11,96$$

Уровень загрязнения воздуха – высокий.

Задача

Среднегодовая концентрация примесей в атмосфере городов Ч. и М. представлена в таблице. Используя комплексный ИЗА, сравните степень загрязнения атмосферы в этих населенных пунктах. Сделайте оценку степени загрязнения воздуха в этих городах.

Примесь воздуха	БП	Фенол	Формальдегид	NO ₂	Железо	Пыль	SO ₂	CO
Концентрация примесей, мг/м ³ в городе Ч.	—	—	0,006	0,03	—	0,1	0,015	1,0
Концентрация примесей, мг/м ³ в городе М.	9,2·10 ⁻⁶	0,004	—	0,07	7,63·10 ⁻⁶	0,4	—	—
ПДК _{сс} , мг/м ³	1·10 ⁻⁶	0,003	0,003	0,04	4,0·10 ⁻⁶	0,15	0,05	3
Класс опасности	1	2	2	2	2	3	3	4

Домашнее задание

Рассчитайте ИЗА в городе Т, если среднегодовая концентрация основных примесей в воздухе составляет, мг/м³: бенз(а)пирен – 3,4·10⁻⁶; формальдегида – 0,006; NO₂ – 0,04; пыль – 0,1; SO₂ – 0,025. Сравните загрязненность атмосферы в этом населенном пункте с загрязненностью атмосферы в городах Ч. и М., приведенной в предыдущей задаче и оцените состояние атмосферного воздуха по ИЗА.

1.1.2. Оценка степени загрязненности атмосферного воздуха по комплексному показателю для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия

Общие положения

Такая оценка может быть произведена по максимально разовым, среднесуточным или среднегодовым концентрациям. Самая надежная оценка получается по среднегодовым данным.

Степень загрязненности рассчитывается с учетом кратности превышения среднегодового ПДК_г веществ, их класса опасности, допустимой повторяемости концентрации заданного уровня, количества веществ, одновременно присутствующих в воздухе, и коэффициентов их комбинированного действия.

При этом среднегодовые ПДК_г могут быть выражены через среднесуточное значение ПДК_{сс}

$$\text{ПДК}_g = a \cdot \text{ПДК}_{cc} \quad (1.2)$$

Значения коэффициента a приведены в табл. 2.4.

Степень загрязнения воздуха веществами разных классов опасности определяется “приведением” их концентрации (C_ϕ), нормированных по ПДК, к концентрациям веществ 3-го класса опасности

$$K^{(3кл)} = K_J^n, \quad (1.3)$$

где n – коэффициент изоэффективности, равный для 1, 2 и 4 классов опасности, соответственно 2,3; 1,3 и 0,87;

J – класс опасности.

При величине нормированных по ПДК концентраций выше 2,5 (1 класс); 5 (2 класс); 8 (3 класс) и 11 (4 класс), “приведение” к 3-му классу осуществляется путем умножения значений, нормированных по ПДК концентраций на 3,2; 1,6; 1,0 и 0,7, соответственно.

Нормирование по ПДК

$$K = C_\phi / \text{ПДК}_g \quad (1.4)$$

Комплексный показатель загрязнения атмосферного воздуха веществами разного класса опасности

$$P = \sqrt{\sum K_i^2}, \quad (1.5)$$

где K_i – нормированная по ПДК концентрация i -го компонента, приведенная к концентрациям веществ 3-го класса опасности.

Оценка степени загрязнения атмосферного воздуха и выявления зон ЧС и ЭБ производится по данным табл. 1.2. При этом если в комплексном показателе любое из веществ будет иметь значение, превышающее величину показателя для одного вещества, то оценка степени загрязнения осуществляется по этому веществу.

Таблица 1.1

Значение коэффициентов a для различных веществ

Вещества	Коэффициент a
Аммиак, азота оксид, азота диоксид, бензол, бенз(а)пирен, марганца диоксид, озон, серы диоксид, сероуглерод, синтетические жирные кислоты, фенол, формальдегид, хлоропрен	1
Трихлорэтилен	0,4
Амины, анилин, взвешенные вещества (пыль), углерода оксид, хлор	0,34
Сажа, серная кислота, фосфорный ангидрид, фториды (твердые)	0,3
Ацетальдегид, ацетон, диэтиламин, толуол, фтористый водород, хлористый водород, этилбензол	0,2
Акролеин	0,1

Таблица 1.2

Критерии оценки среднегодового загрязнения атмосферного воздуха

Показатели	Параметры		
	экологическое бедствие	чрезвычайная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация
Комплексный показатель среднегодового загрязнения воздуха: 1 вещество	более 16	8 – 16	менее 8
2 – 4 вещества	более 32	16 – 32	менее 16
5 – 9 веществ	более 48	32 – 48	менее 32
10 – 15 веществ	более 64	48 – 64	менее 48
16 – 25 веществ	более 80	64 – 80	менее 64

Решение типовой задачи

Среднегодовая концентрация в воздухе города Ч. составляет ($\text{мг}/\text{м}^3$): бенз(а)пирен – $0,78 \cdot 10^{-5}$; аммиак – 0,06; SO_2 – 0,065; формальдегид – 0,0069. Среднесуточные ПДК_{сс}: бенз(а)пирен – 10^{-6} $\text{мг}/\text{м}^3$; формальдегид – 0,003; SO_2 – 0,05; NH_3 – 0,04. Класс опасности: бенз(а)пирен – 1; формальдегид – 2; аммиак – 4; SO_2 – 3. Рассчитать комплексный показатель загрязненности атмосферного воздуха и оценить экологическую обстановку в районе.

Решение

Рассчитаем кратность превышения ПДК для анализируемых веществ (нормирование по ПДК)

$$K = C_{\phi} / \text{ПДК}_{\Gamma}$$

Бенз(а)пирен: $K_1 = 0,78 \cdot 10^{-5} / 10^{-6} = 7,8 > 2,5$

формальдегид: $K_2 = 0,0069 / 0,003 = 2,3$

SO₂: $K_3 = 0,065 / 0,05 = 1,3$

аммиак: $K_4 = 0,06 / 0,04 = 1,5$

Приведем эти значения к нормированным показателям III класса опасности

$$K_1(I \text{ кл}) = 7,8 \cdot 3,2 = 24,96$$

$$K_2(II \text{ кл}) = 2,3^{1,3} = 2,95$$

$$K_3(III \text{ кл}) = 1,3$$

$$K_4(IV \text{ кл}) = 1,5^{0,87} = 1,42$$

Комплексный показатель загрязненности атмосферного воздуха

$$P = \sqrt{24,96^2 + 2,95^2 + 1,3^2 + 1,42^2} = 25,3$$

По табл.2.5 для 4-х элементов ($P = 16...32$) ситуацию следует отнести к чрезвычайной.

Задача

Определите загрязненность атмосферного воздуха по комплексному показателю. Состав атмосферного воздуха и ПДК соответствующих компонентов (мг/м³) представлены в таблице.

Вещество	Среднесуточная концентрация	ПДК _{сс}	Класс опасности
Свинец сернистый	0,004	0,0017	1
Сероводород	0,011	0,008	2
Фенол	0,031	0,003	2
Формальдегид	0,026	0,003	2
Пыль неорганическая	0,12	0,1	3
Окись цинка	0,14	0,05	3
Аммиак	0,36	0,04	4

Оцените экологическую ситуацию в регионе.

Домашнее задание

Рассчитать комплексный показатель загрязненности атмосферного воздуха и оценить экологическую обстановку в городе Л., если среднесуточная концентрация в воздухе составляет, мг/м³: Cr⁺⁶ (I) – 0,004; бенз(а)пирен (I) – 10⁻⁵; фенол (II) – 0,0048; NO₂ (II) – 0,066; пыль (III) – 0,18; СО (IV) – 3,1. Среднесуточные предельно допустимые концентрации, мг/м³: Cr⁺⁶ (I) – 0,0015; бенз(а)пирен (I) – 10⁻⁶; фенол (II) – 0,003; NO₂ (II) – 0,04; пыль (III) – 0,10; СО (IV) – 1,0.

1.2. Контроль вод

1.2.1. Расчет разбавления сточных вод в воде проточного водоема

Общие положения

Степень полного разбавления сточных вод в вод проточного водоема (рис. 1.1) выражается кратностью разбавления

$$n = (Q + q) / q, \quad (1.6)$$

где Q – разбавляющая вода водоема,
 q – сточная вода.

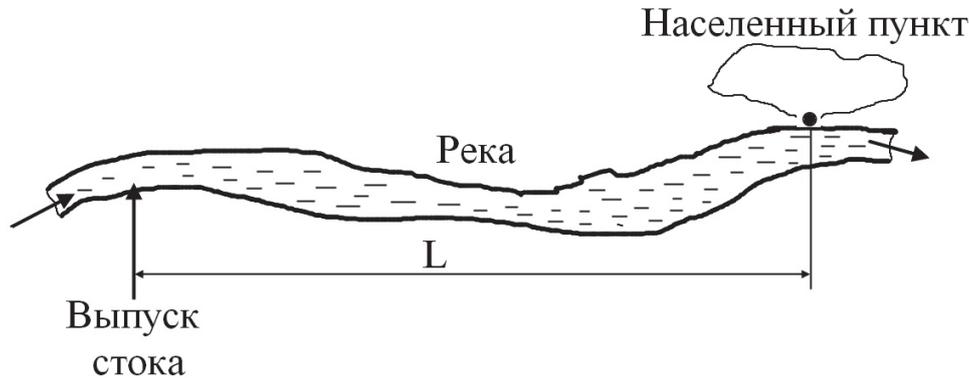


Рис. 1.1 Схема сброса стока в проточный водоем:
 L – расстояние от места сброса

Фактически на некотором расстоянии от спуска воды смешение не полное

$$n = (\gamma Q + q) / q, \quad (1.7)$$

где γ – коэффициент полноты смешения.

Степень смешения зависит от конструкции выпускного устройства. При сбросе с берега неполное смешение может распространяться на десятки километров. Лучше всего сбрасывать сточные воды из подводного трубопровода в район фарватера. Еще лучшее разбавление дает рассеивающий выпуск (в нескольких точках).

Общее разбавление усиливается рассеивающим выпуском ($n_{p.в.}$)

$$n_{\Sigma} = n \cdot n_{p.в.}, \quad (1.8)$$

где $n_{p.в.}$ – начальное разбавление, обеспеченное рассеивающим выпуском.

Число рассеивающих насадок

$$N = \frac{2l \cdot \sin 30^\circ}{H_{cp}} + 1, \quad (1.9)$$

$$l = (n_{p.в.} - 1)q / H_{cp} V_{cp}, \quad (1.10)$$

где l – длина рассеивающей части;

q – расход стока;

H_{cp} и V_{cp} – глубина и скорость течения.

Расчет коэффициента смешения сточных вод с водой проточного водоема

Коэффициент полноты смешения

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + (Q/q)\beta} \quad (1.11)$$

$$\beta = \frac{1}{e^{\alpha \sqrt[3]{L}}} \quad (1.12)$$

где $e = 2,72$ – основание натурального логарифма;

α – коэффициент, учитывающий гидравлический фактор смешения;

L – расстояние по течению от места сброса, м.

Величина α – эмпирическая

$$\alpha = \xi \varphi \sqrt[3]{D_T / q} \quad (1.13)$$

где ξ – коэффициент, зависящий от места выпуска стока в реку (принимается при выпуске с берега – 1; при выпуске в фарватер – 1,5); D_T – коэффициент турбулентной диффузии.

Коэффициент извилистости реки

$$\varphi = L_{tm} / L_{np} \quad (1.14)$$

где L_{φ} – расстояние по фарватеру от места сброса;

L_{np} – расстояние по прямой от места сброса;

Коэффициент турбулентной диффузии

для равнинных рек

$$D_T = \frac{V_{cp} H_{cp}}{200} \quad (1.15)$$

где V_{cp} – скорость течения, м/с; H_{cp} – глубина, м ;

в общем виде

$$D_T = \frac{V_{cp} \cdot H_{cp} \cdot g}{2mC} \quad (1.16)$$

где $g = 9,81$ м/с²; $m = 24$ – коэффициент Буссинского; C – коэффициент Шези.

для рек любого характера

$$D_T = \frac{V_{cp} H_{cp}}{37C^2} \quad (1.16a)$$

Коэффициент Шези

$$C = \frac{V_{cp}}{\sqrt{H_{cp} i}} \quad (1.17)$$

где i – уклон водной поверхности (берется из “Гидрологического ежегодника”)

$$C = \frac{1}{n} \sqrt[6]{H_{cp}}, \quad (1.17a)$$

где n – коэффициент шероховатости русла для открытых русел (табл.1.3).

$$C = \frac{1}{m} R^y, \quad (1.17б)$$

где R – гидравлический радиус

$$R = S / \chi.$$

Здесь: S – площадь сечения, m^2 ; χ – периметр смоченный, м;

Показатель

$$y = 1,5\sqrt{m} \quad (\text{для } R < 1 \text{ м}),$$

$$y = 1,3\sqrt{m} \quad (\text{для } R > 1 \text{ м}).$$

Для достаточно широких рек

$$R \approx H_{cp}.$$

Для зимних условий, когда реки покрыты льдом в уравнениях для определения D_T вместо H_{cp} подставлять значение приведенного радиуса R_{np}
 $R_{np} = 0,5H_{cp}$.

Приведенный коэффициент шероховатости

$$m_{np} = m(1 + e^{1,5}) \cdot 0,67 = m \left(1 + \left\{ \frac{m_{л}}{m} \right\}^{1,5} \right) \cdot 0,67,$$

где $m_{л}$ и m – коэффициенты шероховатости, соответственно, льда и русла реки (табл. 1.3, 1.4)

Коэффициент Шези
$$C_{np} = \frac{1}{m_{np}} R_{np}^y.$$

При решении задачи обычно задаются: q – сток, V_{cp} , H_{cp} , φ , L – расстояние, Q – расход реки.

Решение начинают с расчета коэффициент Шези

$$C = \frac{1}{n} \sqrt[6]{H_{cp}},$$

принимая n – по данным табл. 1.3. Затем рассчитывают коэффициент турбулентной диффузии для рек любого характера

$$D_T = \frac{V_{cp} \cdot H_{cp}}{37 \cdot C^2}.$$

Коэффициент извилистости реки определяется по карте или задается по условию задачи

$$\varphi = L_{тм} / L_{np}.$$

Таблица 1.3

Коэффициент шероховатости для открытых русел по М.Ф.СРИБНЕРУ

Характеристика русла	Коэффициент шероховатости, m	$\frac{1}{n}$
Естественные русла в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, не засоренное, земляное со свободным течением)	0,025	40
Русла постоянных водотоков равнинного типа, преимущественно больших и средних рек, в благоприятных условиях состояния ложа и течения воды. Периодические водотоки (большие и малые) при очень хорошем состоянии поверхности и формы ложа	0,03	33,8
Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков в обычных условиях, извилистые, с некоторыми неправильностями в направлении струй или же прямые, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камни). Земляные русла периодических водотоков (сухих логов) в относительно благоприятных условиях	0,04	25
Русла больших и средних рек, значительно засоренные, извилистые и частично засоренные, каменистые, с беспокойным течением. Периодические (ливневые и весенние) водотоки с крупногалечным или покрытым растительностью ложем. Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые растительностью (травы, кустарники)	0,05	20
Русла периодических водотоков, сильно засоренные и извилистые. Сравнительно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек (промоины, кустарники, деревья с наличием заводей). Галечно-валунные русла горного типа с неправильной поверхностью водного зеркала. Порожистые участки равнинных рек.	0,067	15
Русла со слабым течением и поймы, значительно заросшие, с большими глубокими промоинами. Валунные, горного типа русла с неправильной поверхностью водного зеркала (с летящими вверх брызгами воды)	0,08	12,5

Характеристика русла	Коэффициент шероховатости, m	$\frac{1}{n}$
Русла горно-водопадного типа с крупновалунным извилистым строением ложа, перепады ярко выражены, извилистость весьма сильная. Поймы значительно заросшие, но с резко выраженным косо-струйным течением, заводами и др.	0,1	10
Русла болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и др.). Поймы с очень большими мертвыми пространствами, с местными углублениями (озерами и др.)	0,133	7,5

Таблица 1.4

Значения коэффициентов шероховатости льда

Периоды ледостава	m_L
Первые 10 дней ледостава (первая – вторая декада)	0,15+0,05
10 – 20-й дни после ледостава (последняя декада декабря – начало января)	0,1+0,04
20 – 60-й дни после ледостава (середина января – первая декада февраля)	0,05+0,03
60 – 80-й дни после ледостава (конец февраля – начало марта)	0,04+0,015
80 – 110-й дни после ледостава	0,025+0,01

Рассчитывается коэффициент α , учитывающий гидравлические факторы смешения

$$\alpha = \xi \varphi \sqrt[3]{D_T / q}.$$

Рассчитывается коэффициент β

$$\beta = \frac{1}{2,72^{\alpha \sqrt[3]{L}}}.$$

Определяется коэффициент смешения

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q}{q} \cdot \beta}.$$

Кратность разбавления

$$n = \frac{\gamma Q + q}{q}.$$

Расстояние до места полного смешения

$$L_{\text{полн}} = \left[\frac{2,3}{\gamma} \lg \frac{\gamma Q + q}{(1-\gamma)q} \right]^3. \quad (1.18)$$

После определения кратности разбавления рассчитывают содержание примеси в реке, если фоновая концентрация равна нулю

$$C_p = C_{cm}/n. \quad (1.19)$$

Решение типовой задачи

Определите концентрацию шестивалентного хрома в реке $C_{\text{рек}}$ на расстоянии $L = 3,5$ км от места выпуска стока в реку и расстояние до створа полного смешения $L_{\text{полн}}$. Исходные данные: $V_{cp} = 0,64$ м/с; $Q = 30$ м³/с; $H_{cp} = 1,2$ м; $q = 0,6$ м³/с; $\varphi = 1,0$; $C_{CT}^{Cr^{+6}} = 1,2$ мг/л; ПДК^{Cr⁺6} = 0,1 мг/л. Река – равнинная. Выпуск стока производится с берега $\xi = 1$. Фоновая концентрация $C_{\phi} = 0$.

Решение

Коэффициент турбулентной диффузии

$$D_T = \frac{V_{cp} \cdot H_{cp}}{200} = \frac{0,64 \cdot 1,2}{200} = 0,00384.$$

Коэффициент α $\alpha = \xi \varphi \sqrt[3]{D_T / q} = 1 \cdot 1 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,00384}{0,6}} = 0,185.$

Коэффициент β $\beta = \frac{1}{2,72^{\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}} = \frac{1}{2,72^{0,185 \cdot \sqrt[3]{3500}}} = \frac{1}{2,72^{2,8}} = 0,061.$

Коэффициент смешения $\gamma = \frac{1-\beta}{1 + \frac{Q}{q} \cdot \beta} = \frac{1-0,061}{1 + \frac{30}{0,6} \cdot 0,061} = 0,23.$

Кратность разбавления $n = \frac{\gamma Q + q}{q} = \frac{0,23 \cdot 30 + 0,6}{0,6} = 12,5.$

Расстояние до места полного смешения

$$L_{\text{полн}} = \left[\frac{2,3}{\gamma} \lg \frac{\gamma Q + q}{(1-\gamma)q} \right]^3 = \left[\frac{2,3}{0,23} \lg \frac{0,23 \cdot 30 + 0,6}{(1-0,23) \cdot 0,6} \right]^3 = 1771,6 \text{ м.}$$

$$\text{Содержание } Cr^{+6} \text{ в реке } C_{\text{рек}} = \frac{1,2}{12,5} = 0,096 \text{ мг/л} < \text{ПДК}^{Cr}.$$

Задача

Определить расстояние до створа полного смешения по течению равнинной реки К., если расход сточных вод предприятия З. составляет

1,0 м³/с. Выпуск стока – рассредоточенный. Содержание анилина в стоке – 2,4 мг/л. Характеристика реки: $\varphi = 1,0$; $V_{cp} = 0,5$ м/с; $H_{cp} = 1,4$ м; $Q = 30$ м³/с.

Оцените возможность водозабора в районном центре Ш., расположенном ниже по течению на расстоянии 8,8 км. ПДК_{анил.} = 0,1 мг/л.

Домашнее задание

Определить возможность водозабора в д.С., расположенной на р.М., если сброс сточных вод предприятия К. находится выше по течению на расстоянии 18,4 км. Остальные данные: $V_{cp} = 0,7$ м/с; $Q = 40$ м³/с; $H_{cp} = 0,9$ м; $q = 0,8$ м³/с; $\varphi = 1,1$. Выпуск – рассредоточенный, производится под воду. Река с коэффициентом шероховатости русла 0,05. Содержание фенола в стоке – 0,033 мг/л. ПДК_{фенола} = 0,001 мг/л.

Определить расстояние до створа полного смешения.

1.2.2. Расчет предельно допустимой концентрации вредных веществ в сточных водах, сбрасываемых в проточные водоемы

Общие положения

Балансное уравнение

$$qC_{ст} + \gamma Q C_p = (q + \gamma Q) C_{пдк}, \quad (1.20)$$

где q , Q – расходы стока и воды в реке;

γ – коэффициент смешения;

$C_{ст}$, C_p , $C_{пдк}$ – концентрация загрязнения в стоке, реке и ПДК в точке забора воды.

Отсюда

$$C_{ст} = \frac{\gamma Q}{q} (C_{пдк} - C_p) + C_{пдк}. \quad (1.21)$$

Решение типовой задачи

Определить допустимую концентрацию фенола в стоке химкомбината. Расход стока 0,5 м³/с; расход воды в реке – 30 м³/с; ПДК_{фенола} = 0,001 мг/л. В речной воде фенола нет.

Коэффициент смешения $\gamma = 0,23$.

Решение

$$C_{ст} = \frac{\gamma Q}{q} (C_{пдк} - C_p) + C_{пдк} = \frac{0,23 \cdot 30}{0,5} (0,001 - 0) + 0,001 = 0,015 \text{ мг / л.}$$

Задача

В стоке предприятия содержится 17,3 мг/л лигнина. Оцените возможность сброса сточных вод в реку, если расход стока 0,7 м³/с, ПДК_{лигнина} = 1,6 мг/л. Характеристика реки: расход воды – 35 м³/с; коэффициент смешения $\gamma = 0,29$. В речной воде лигнина нет.

Домашнее задание

Определить возможность сброса сточных вод медеплавильного завода в реку, если $q = 0,8 \text{ м}^3/\text{с}$; $Q_p = 40 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_p^{\text{свинца}} = 0,02 \text{ мг/л}$; ПДК_{свинца} = 0,1 мг/л; концентрация свинца в стоке – $C_{cm} = 1,5 \text{ мг/л}$; $\gamma = 0,33$, $C_{\phi} = 0$.

1.2.3. Расчет температуры водоемов у пунктов водопользования

Общие положения

При нагреве вода теряет свои освежающие качества. Известно, что вода не утоляет жажду при температуре выше 25 °С. Кроме того, нагрев воды вызывает “цветение” водоема.

Согласно законодательству, температура воды летом в результате сброса сточных вод не должна повышаться более, чем на 3°С.

Уравнение теплового баланса (разбавления)

$$\gamma \cdot Q \cdot t_{\max} + qt_{cm} = (\gamma \cdot Q + q)(t_{\max} + t_{\text{дон}}). \quad (1.22)$$

Здесь: γ – коэффициент смешения; Q – расход воды в реке, $\text{м}^3/\text{с}$; q – расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{с}$. Отсюда

$$t_{cm} = \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1 \right) \cdot t_{\text{дон}} + t_{\max}, \quad (1.23)$$

где t_{cm} – температура сточной воды;

t_{\max} – максимальная температура воды в водоеме в летнее время;

$t_{\text{дон}} = 3^\circ\text{С}$ – допустимое повышение температуры воды в водоеме.

Решение типовой задачи

Определить допустимую температуру стока, если расход воды в реке 30 $\text{м}^3/\text{с}$, расход сточной воды 0,5 $\text{м}^3/\text{с}$, коэффициент смешения $\gamma = 0,23$; средняя температура воды водоема 15 °С.

Решение

$$t_{cm} = \left(\frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1 \right) \cdot t_{\text{дон}} + t_{\max} = \left(\frac{0,23 \cdot 30}{0,5} + 1 \right) \cdot 3 + 15 = 59,4^\circ\text{С}.$$

Задача

Температура сточной воды ТЭЦ 75 °С, расход стока 0,6 $\text{м}^3/\text{с}$. Определите допустимую температуру стока в проточный водоем и оцените возможность сброса сточных вод в июле, если расход воды в реке 25 $\text{м}^3/\text{с}$, ее температура 18 °С. Коэффициент смешения принять равным 0,3.

Домашнее задание

Определить возможность сброса сточных вод ТЭС в реку в августе, если их расход 0,4 $\text{м}^3/\text{с}$, расход воды в реке 25 $\text{м}^3/\text{с}$, $\gamma = 0,27$. Температура воды в реке в августе 19 °С. Температура сточных вод 65 °С.

1.2.4. Определение кратности разбавления сточных вод в непроточных водоемах

Общие положения

При выпуске сточных вод в непроточные водоемы (озера или водохранилища) разбавление стока происходит путем перемещения воды под действием ветра (рис. 1.2). При этом перемещаются верхние слои воды, которые в свою очередь приводят в движение нижние (они имеют обратные ветру направления).

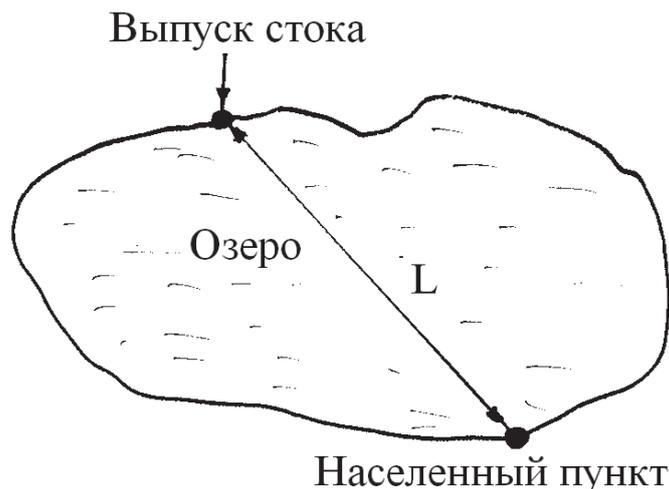


Рис. 1.2. Схема выпуска стока в непроточный водоем:
L – расстояние от места сброса

Различают начальное разбавление n_n , происходящее непосредственно у выпуска сточных вод, и основное n_o , в воде водоема. Полное разбавление

$$n_n = n_n \cdot n_o \quad (1.24)$$

Начальное разбавление определяется отношением концентрации вредного вещества в сточной воде к его концентрации в ближайшем к выпуску месте (с вычетом фоновой концентрации)

$$n_n = \frac{q + 0,111 \cdot H_{cp}^2 \cdot V_{cp}}{q + 0,111 \cdot H_{cp}^2 \cdot r}, \quad (1.25)$$

где q – расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{с}$; H_{cp} – средняя глубина водохранилища, м; V_{cp} – средняя скорость течения, м/с; r – отношение концентрации вредных веществ в воде к концентрации в стоке.

Принимается V_{cp} : для верхней трети глубины водоема – 0,106 м/с, для средней – 0,28 м/с, для нижней – 0,078 м/с, при этом принимается: $r = 0,1$ – при выпуске в верхнюю треть водоема и в мелководье; $r = 0,05$ – при выпуске в нижнюю треть глубины.

Полное разбавление при выпуске в верхнюю треть глубины или мелководье

$$n_n = \frac{q + 0,111 \cdot V_{cp} \cdot H_{cp}^2}{q + 0,111 \cdot V_{cp} \cdot r \cdot H_{cp}^2} \left[1 + 0,412 \cdot \left(\frac{L}{48} \right)^{0,627 + 10^{-5} \cdot 0,42 \cdot L} \right], \quad (1.26)$$

где L – расстояние, м.

Полное разбавление при глубинном выпуске

$$n_n = \frac{q + 0,111 \cdot V_{cp} \cdot H_{cp}^2}{q + 0,111 \cdot V_{cp} \cdot r \cdot H_{cp}^2} \left[1,85 + 2,32 \cdot \left(\frac{L}{27,2} \right)^{0,41 + 0,00023 \cdot L} \right]. \quad (1.27)$$

Решение типовых задач

1. Определить полное разбавление при выпуске стоков (расход $0,057 \text{ м}^3/\text{с}$) металлургического комбината в верхнюю треть водоема глубиной $5,5$ м на расстоянии 6 км от места выпуска. При выпуске в верхнюю треть глубины водоема: $r = 0,1$; $V_{cp} = 0,106$ м/с.

Решение

$$\begin{aligned} n_n &= \frac{q + 0,111 V_{cp} \cdot H_{cp}^2}{q + 0,111 V_{cp} \cdot r \cdot H_{cp}^2} \left[1 + 0,412 \cdot \left(\frac{L}{48} \right)^{0,627 + 10^{-5} \cdot 0,42 \cdot L} \right] = \\ &= \frac{0,057 + 0,111 \cdot 0,106 \cdot 5,5^2}{0,057 + 0,111 \cdot 0,106 \cdot 0,1 \cdot 5,5^2} \left[1 + 0,412 \cdot \left(\frac{6000}{48} \right)^{0,627 + 0,42 \cdot 10^{-5} \cdot 6000} \right] = 38,0. \end{aligned}$$

2. Определить разбавление при глубинном выпуске в озеро на расстоянии 240 м от стоков, при $r = 0,05$, $V_{cp} = 0,078$ м/с. Остальные условия те же, что и в предыдущем примере.

Решение

$$\begin{aligned} n_n &= \frac{q + 0,111 \cdot V_{cp} \cdot H_{cp}^2}{q + 0,111 \cdot V_{cp} \cdot r \cdot H_{cp}^2} \left[1,85 + 2,32 \cdot \left(\frac{L}{27,2} \right)^{0,41 + 0,00023 \cdot L} \right] = \\ &= \frac{0,057 + 0,111 \cdot 0,078 \cdot 5,5^2}{0,057 + 0,111 \cdot 0,078 \cdot 0,05 \cdot 5,5^2} \left[1,85 + 2,32 \cdot \left(\frac{240}{27,2} \right)^{0,41 + 0,00023 \cdot 240} \right] = 37,5. \end{aligned}$$

Таким образом, при глубоководном спуске на расстоянии 240 м от берега возможно $37,5$ кратное разбавление. При выпуске в мелководье почти такое же разбавление возможно только на расстоянии 6000 м.

Задача

Оценить возможность сброса в озеро Ч. стока химкомбината (расход – $0,08 \text{ м}^3/\text{с}$), содержащего 32 мг/л бария (ПДК = $0,1$ мг/л), если глубина водоема $4,8$ м. Сброс производится в верхнюю часть водоема. Озеро имеет форму близкую к окружности диаметром $4,6$ км. На противоположной стороне озера располагается детский лагерь. Изменится ли ситуация, если предприятие организует глубинный выпуск стока?

Домашние задания

1) Определить полное разбавление при глубоководном и выпуске в верхние слои водоема стоков металлургического комбината на расстоянии 1 км от места сброса. Расход стоков $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Глубина водоема 7 м.

2) Определить возможность сброса в озеро стока ЦБК, содержащего $0,1 \text{ мг/л}$ метилмеркаптана (ПДК= $0,0002 \text{ мг/л}$), если расход стока $0,03 \text{ м}^3/\text{с}$, глубина водоема 5,6 м. На расстоянии 3,9 км располагается деревня М. Оценку произвести для сброса в верхнюю часть водоема и для глубинного выпуска.

1.2.5. Расчет суммарного показателя химического загрязнения сточных вод для выявления зон чрезвычайной ситуации и экологического бедствия

Общие положения

Суммарный показатель химического загрязнения вод (ПХЗ-10) рассчитывается при выявлении зон чрезвычайной ситуации (ЧС) или зон экологического бедствия (ЭБ). Расчет производится по 10 соединениям, максимально превышающим ПДК.

$$\text{ПХЗ} - 10 = \left(\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_{10}}{\text{ПДК}_{10}} \right), \quad (1.28)$$

где C_i – концентрация химического вещества в воде; ПДК – рыбохозяйственные нормативы.

Если каких-либо показателей для расчета ПХЗ-10 не хватает, то эти значения $C_i/\text{ПДК}_i$ условно принимаются равными 1. Заключение о степени неблагоприятия может быть сделано на основе одного из основных показателей (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Критерии оценки степени химического загрязнения поверхностных вод

Показатели	Параметры		Относительно удовлетворительное состояние
	экологическое бедствие	чрезвычайная экологическая ситуация	
Химические вещества, ПДК			
класс опасности			
1 – 2	более 10	5 – 10	менее 5
3 – 4	более 100	50 – 100	менее 50
ПХЗ – 10, класс опасности			
1 – 2	более 80	35 – 100	менее 35
3 - 4	более 500	500	менее 500

Решение типовой задачи

Рассчитать суммарный показатель химического загрязнения вод и оценить экологическое состояние воды в р.Миасс на участке ЧЭГРЭС – с. Новое поле в г. Челябинске, если концентрация химических веществ в воде, мг/л:

Наименование	Класс опасн.	Концентрация, мг/л	ПДК, мг/л
Азот нитритов	4	0,241	0,02
Азот аммония	3	7,93	0,40
Фосфаты	3	1,120	0,20
Медь	3	0,007	0,001
Цинк	3	0,048	0,01
H ₂ S	1	0,54	10 ⁻⁵
Никель	3	0,020	0,01
Фенолы	4	0,003	0,001
Нефтепродукты	4	0,33	0,05
Железо	4	1,12	0,1

Решение

$$\begin{aligned}
 ПХЗ - 10 = & \frac{0,241}{0,02} + \frac{7,93}{0,40} + \frac{1,12}{0,2} + \frac{0,007}{0,001} + \frac{0,048}{0,01} + \frac{0,54}{10^{-5}} + \\
 & + \frac{0,02}{0,01} + \frac{0,003}{0,001} + \frac{0,33}{0,05} + \frac{1,12}{0,1} = 54072
 \end{aligned}$$

По данным табл. 1.5 экологическое состояние воды в р. Миасс на этом участке следует отнести к зоне экологического бедствия.

Задача

Рассчитайте суммарный показатель химического загрязнения озера П., если концентрация химических веществ в воде, мг/л:

Наименование	Класс опасности	Концентрация, мг/л	ПДК, мг/л
Медь	3	0,005	0,001
Цинк	3	0,022	0,01
Нефтепродукты	3	0,110	0,05
Азот нитритов	4	0,034	0,02
Марганец	3	0,018	0,01
Ванадий	3	0,002	0,001
Железо	4	0,08	0,1
Хром (6 ⁺)	3	0,016	0,02

Оцените экологическое состояние воды в озере.

Домашнее задание

Рассчитать суммарный показатель химического загрязнения водохранилища и оценить экологическое состояние в нем воды. Концентрация химических веществ в воде представлена в таблице:

Наименование	Концентрация, мг/л	ПДК, мг/л
Азот нитритов	0,027	0,02
Азот нитратов	0,48	9,1
Азот аммония	0,3	0,40
Нефтепродукты	0,01	0,05
Фосфаты	0,243	0,20
Медь	0,03	0,001
Цинк	0,033	0,01
Фториды	2,08	0,75
Никель	0,006	0,01
Железо	0,29	0,1

1.2.6. Расчет индекса загрязнения вод и критерия изменения качества вод

Общие положения

Для определения качества воды и выявления динамики его изменения используется критерий, который называется индекс загрязненности вод (ИЗВ). Расчет ИЗВ для поверхностных водоемов производится по строго ограниченному количеству ингредиентов. Число ингредиентов должно быть:

- для поверхностных пресных вод – 6;
- для морских вод – 4.

Для расчета берутся показатели (ингредиенты), имеющие наибольшее значение. Для представления качества вод в виде единой оценки показатели выбираются независимо от лимитирующего признака вредности, при равенстве концентрации предпочтение отдается веществам, имеющим токсикологический признак вредности (более высокий класс опасности). Для пресноводных водоемов обязательно включаются два ингредиента независимо от того, превышают они ПДК или нет. Это показатель растворенного кислорода и показатель биохимического потребления кислорода (БПК₅).

Расчет ИЗВ производится по уравнениям

для пресноводных водоемов
$$\text{ИЗВ} = \frac{\sum \frac{c}{\text{ПДК}}}{6}, \quad (1.29)$$

для морских вод
$$\text{ИЗВ} = \frac{\sum \frac{c}{\text{ПДК}}}{4}. \quad (1.30)$$

Учитывая, что показатель БПК₅ является интегральной величиной легкоокисляемых органических веществ в воде, а также то, что с увеличением содержания легкоокисляемых органических веществ уменьшается содержание растворенного кислорода и качество воды снижается очень резко, принимаются следующие нормативные показатели (табл. 1.6, 1.7).

Сопоставление концентрации растворенного кислорода с нормативом рассчитывается по уравнению

$$c_T = \frac{\text{Норматив}}{\text{Фактическое содержание}} \quad (1.31)$$

Расчет изменения качества воды производится по уравнению

$$K = \frac{\text{ИЗВ}_{n-1} - \text{ИЗВ}_n}{\text{ИЗВ}_{n-1}} 100\%, \quad (1.32)$$

где n – год, по отношению к которому оценивается изменение качества воды.

Таблица 1.6

Нормативные величины БПК₅

Потребление кислорода, мг/л	Норматив, мг/л
менее 3	3
3–15	2
более 15	1

Таблица 1.7

Нормативная величина для растворенного кислорода

Содержание кислорода, мг/л	Норматив, мг/л
более 6	6
от 6 до 5	12
от 5 до 4	20
от 4 до 3	30
от 3 до 2	40
от 2 до 1	50
менее 1	60

Показатель качества воды K служит для оценки тенденции изменения качества вод в пределах одного класса (табл. 1.8, 1.9). Так, если рассчитанный по уравнению (1.32) показатель K превышает представленные в табл. 1.8 и 1.9 величины изменения ИЗВ, то это является основанием для про-

гнозирования изменения качества вод (ухудшение – при отрицательном значении или улучшение – при положительном значении показателя K).

Таблица 1.8

Величина ИЗВ и изменение величины ИЗВ для поверхностных пресных вод

Класс качества воды	Текстовые описания	Величина <i>ИЗВ</i>	Изменение величины <i>ИЗВ</i> , %
1	Очень чистая	0,3 и менее	100
2	Чистая	более 0,3 до 1	более 50
3	Умеренно загрязненная	более 1 до 2,5	более 30
4	Загрязненная	более 2,5 до 4	более 25
5	Грязная	более 4 до 6	более 20
6	Очень грязная	более 6 до 10	более 15
7	Чрезвычайно грязная	более 10	более 10

Таблица 1.9

Величина ИЗВ и изменение величины ИЗВ для морских вод

Класс качества воды	Текстовые описания	Величина <i>ИЗВ</i>	Изменение величины <i>ИЗВ</i> , %
1	Очень чистая	0,25 и менее	100
2	Чистая	более 0,25 до 0,75	более 50
3	Умеренно загрязненная	более 0,75 до 1,25	более 30
4	Загрязненная	более 1,25 до 1,75	более 25
5	Грязная	более 1,75 до 3	более 20
6	Очень грязная	более 3 до 5	более 15
7	Чрезвычайно грязная	более 5	более 10

Решение типовой задачи

Рассчитайте индекс загрязнения воды, оцените состояние воды в реке М. в 2012 году, если $БПК_5 = 7$ мг/л, содержание растворенного кислорода 5,5 мг/л, концентрация, мг/л: азота аммония – 0,36; азота нитритного – 0,022; нефтепродуктов – 0,25; фенола – 0,003, а их ПДК, соответственно, 0,4; 0,02; 0,05 и 0,001. Определите тенденцию изменения качества воды, если в предыдущем году $ИЗВ = 1,99$.

Решение

В соответствии с табл. 1.7 для содержания растворенного кислорода 5,5 мг/л нормативная величина составляет 12 мг/л. Тогда степень превышения концентрации растворенного кислорода

$$c_T = \frac{12 \text{ мг/л}}{5,5 \text{ мг/л}} \approx 2,18.$$

Норматив БПК₅ при потреблении кислорода 7 мг/л (табл. 1.6) составляет 2 мг/л. Тогда безразмерная величина БПК₅

$$\frac{7 \text{ мг/л}}{2 \text{ мг/л}} = 3,5.$$

Индекс загрязнения воды

$$\text{ИЗВ} = \frac{\sum \frac{c}{\text{ПДК}}}{6} = \frac{\frac{0,36}{0,4} + \frac{0,022}{0,02} + \frac{0,025}{0,05} + \frac{0,003}{0,001} + 2,18 + 3,5}{6} = \frac{11,8}{6} = 1,86.$$

В соответствии с данными табл. 1.8 такую воду следует отнести к умеренно загрязненной.

Изменение качества воды по уравнению (1.32)

$$K = \frac{1,99 - 1,86}{1,99} 100\% = -6,5\%.$$

Так как показатель изменения качества воды $K = 6,5\%$ не превышает для 3 класса качества воды 30% (табл. 1.8), то следует считать, что качество воды в реке М. в 2012 г. не имело тенденции к ухудшению.

Задача

Рассчитайте индекс загрязнения воды и оцените ее состояние в реке М. в 2013 году, если БПК₅ = 12 мг/л; содержание растворенного кислорода 4,5 мг/л, концентрация азота аммония, азота нитритного, нефтепродуктов, фенола, соответственно, мг/л: 4,8; 0,16; 0,025 и 0,004. Используя пример расчета, проследите тенденцию изменения качества воды в реке М. в 2013 году.

Домашнее задание

Сравните качество воды в реке М. и в реке У. Состав воды и ПДК ингредиентов (мг/л) представлены в таблице.

Химсостав, мг/л Река	Кислород	БПК ₅	Азот аммонийный	Азот нитритный	Железо общее	Фосфаты
М.	4,38	8,79	4,70	0,553	0,76	1,25
У.	9,09	3,14	0,38	0,423	0,32	0,05
ПДК, мг/л	—	—	0,4	0,02	0,1	0,2

Дайте заключение об изменении качества воды в реках, если в предыдущем году ИЗВ в реке М. и У. был равен, соответственно, 8,63 и 1,38.

1.3. Контроль отходов

1.3.1. Определение класса опасности промышленных отходов

Общие положения

В соответствии с ГОСТ 12.1.007–76 все промышленные отходы подразделяются на 4 класса опасности (табл.1.10, 1.11). В качестве критериев вредного действия приняты: ПДК химических веществ в почве, ЛД₅₀ (летальная доза), концентрация компонентов в общей массе отходов, растворимость в воде, летучесть.

Определение класса опасности при наличии ПДК в почве

Индекс опасности

$$K_i = \frac{\text{ПДК}_i}{(S_i + C_b)_i}, \quad (1.33)$$

где ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация *i* – го химического вещества в смеси, мг/кг;

S_i – растворимость этого вещества в воде, г/ 100 г воды;

C_b – содержание вещества в общей массе отходов, т/т.

Определение класса опасности при отсутствии ПДК в почве

Расчет ведут используя величину летальной дозы ЛД₅₀.

$$K_i = \frac{\lg(\text{ЛД}_{50})_i}{(S + 0,1F + C_b)_i}, \quad (1.34)$$

где *F* – летучесть.

Определение класса опасности при отсутствии ПДК в почве и ЛД₅₀

При отсутствии ПДК в почве и ЛД₅₀ для некоторых компонентов смеси, но при известных классах опасности в воздухе рабочей зоны в уравнение 1.34 подставляют условные величины ЛД₅₀, ориентировочно определяемые по классу опасности по табл. 1.12.

Таблица 1.10

Классификация опасности химических веществ на основе их ПДК в почве

Расчетная величина <i>K</i> по ПДК в почве	Класс опасности	Степень опасности	Примеры веществ, принимаемых в качестве ведущих компонентов
< 2	I	Чрезвычайно опасные	Сулема, хром (VI), бензапирен
2 – 16	II	Высоко опасные	Медь хлористая, свинец азотнокислый
16,1 – 30	III	Умеренно опасные	Оксид свинца, никель сернокислый
> 30	IV	Мало-опасные	Диоксид марганца

Таблица 1.11

Классификация опасности химических веществ по ЛД₅₀

Величина K_{Σ} , полученная на основе ЛД ₅₀	Класс опасности	Степень опас- ности	Примеры веществ, принимаемых в каче- стве ведущих компо- нентов
< 1,2	I	Чрезвычайно опасные	Сулема, цианистый ка- лий, хром (VI)
1,2 – 2,2	II	Высоко опас- ные	Медь хлористая
2,3 – 10	III	Умеренно опасные	Ацетофенон, четырех- хлористый углерод
> 10	IV	Малоопасные	Кальций хлористый

Таблица 1.12

Классы опасности в воздухе рабочей зоны
и соответствующие им условные величины ЛД₅₀

Класс опасности в воздухе рабочей зоны	Эквивалент ЛД ₅₀ , мг/кг
I	15
II	150
III	5000
IV	Более 5000

ПДК, ЛД₅₀ и растворимость в воде определяют из справочников [1 – 8, 15 – 17]. Последнюю величину делят на 100 и получают безразмерный коэффициент S , величина которого находится в интервале (0...1). По справочным данным определяют давление насыщенного пара индивидуальных компонентов, имеющих $t_{\text{кип}} \leq 80^\circ$ (при 100 кПа). Если давление дано в мм рт.ст., то делят на 760 мм рт.ст., получая безразмерную величину $F(0...1)$.

Решение типовых задач

1) Растворимость трисульфида мышьяка в воде составляет 0,00005 г/100 г воды при 20 °С.

$$S = 0,00005/100 = 0,5 \cdot 10^{-6}.$$

ЛД₅₀ имеет минимальное значение для крыс и составляет 185 мг/кг. Давление насыщенного пара As₂S₃ при температуре 25 °С равно 0, следовательно, $F=0$, $C_b=1$.

Решение

Индекс опасности

$$K = \frac{\lg(\text{ЛД}_{50})}{(S + 0,1F + C_b)} = \frac{\lg(185)}{(0,0000005 + 0 + 1)} = 2,27$$

Согласно расчету индекс опасности химических веществ по ЛД_{50} K для трисульфида мышьяка равен 2,3, что согласно классификации соответствует III классу опасности вещества.

2) Растворимость арсената марганца составляет 0,00001 г/100 г воды при 25 °С. Следовательно, $S = 0,00001/100 = 0,1 \cdot 10^{-6}$; $\text{ЛД}_{50} = 791$ мг/кг; $F = 0$, $C_b = 1$.

Решение

$$K = \frac{\lg 791}{0,0000001 + 0 + 1} = 2,9.$$

Арсенат марганца относится к веществам, соответствующим III классу опасности.

Задачи

1) Растворимость в воде арсената железа 0,015 г/100 г воды при 25 °С. Летальная доза – $\text{ЛД}_{50} = 1132$ мг/кг, летучесть близка к нулю, а $C_b = 1$. Определите класс опасности отходов, содержащих арсенат железа.

2) Определите класс опасности промышленных отходов содержащих мышьяковистый ангидрид (As_2O_3), если ПДК в почве 2 мг/кг, растворимость в воде – 2,1 г/100 г воды, $C_b = 0,13$.

Домашние задания

1) Растворимость в воде арсената кальция 0,013 г/100 г при 25 °С, $S = 0,013/100 = 0,13 \cdot 10^{-3}$. ЛД_{50} имеет минимальное значение для крыс и составляет 114,2 мг/кг; $F = 0$; $C_b = 1$. Определите класс опасности арсената кальция.

2) Определить класс опасности шлака производства нержавеющей стали, содержащего Cr^{+6} . Концентрация $\text{Cr}^{+6} = 0,5\%$, $\text{ПДК}_{\text{Cr}^{+6}} = 0,02$ мг/л, растворимость $\text{Cr}^{+6} = 87,1$ г/100 г.

1.3.2 Определение предельного содержания токсичных веществ в общей массе отходов

Общие положения

Расчет может быть произведен, если известны классы опасности в воздухе рабочей зоны и соответствующее значение ЛД_{50} (табл.1.12).

Предельное содержание токсичных веществ в общей массе отходов

$$C_{\text{пр}} = \frac{\lg(\text{ЛД}_{50})_i \sum a_i}{n^2 K_1} - (S_i + 0,1F). \quad (1.35)$$

Здесь:

S_i – растворимость компонента K_i ;

F – летучесть компонента K_i ;

$\lg(\text{ЛД}_{50})$ – логарифм ЛД_{50} с минимальной величиной K , т.е. для K_1 (уравнение 1.34);

K – индекс токсичности.

Сумма отношений к минимальной величине K_1

$$\Sigma a_i = 1 + K_2 / K_1 + K_3 / K_1 . \quad (1.36)$$

Решение типовой задачи

Определите предельное содержание трисульфида мышьяка (индекс опасности $K_1 = 2,36$) в промышленных отходах, содержащих арсенат марганца (индекс опасности $K_2 = 2,9$) и хлористый кальций ($K_3 = 11,2$). Данные о трисульфиде мышьяка принять те же, что и в разделе 1.3.1.

Решение

Определяем сумму отношений

$$\Sigma a = 1 + K_2 / K_1 + K_3 / K_1 = 1 + 2,9 / 2,36 + 11,2 / 2,36 = 1 + 1,23 + 4,75 = 6,98$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{\lg(\text{ЛД}_{50})_{\text{As}_2\text{S}_3} \cdot \Sigma a}{n^2 \cdot K_1} - (S_1 + 0,1 \cdot F) = \frac{\lg 185 \cdot 6,98}{3^2 \cdot 2,36} - (0,5 \cdot 10^{-6} + 0,1 \cdot 0) = 0,745 \text{ т/т или } 745 \text{ кг в } 1 \text{ т отходов.}$$

Задача

Определите предельное содержание сулемы (хлорная ртуть) в промышленных отходах (индекс опасности 1,26), содержащих четыреххлористый углерод (индекс опасности 3,65) и оксид свинца (индекс опасности 4,22). Растворимость HgCl_2 в воде 0,59 г/100 г воды. Летальная доля для мышей – 17,5 мг/кг, $F = 0,26$.

Домашнее задание

Определите предельное содержание четыреххлористого углерода (индекс опасности 11,75) в 14 т промышленных отходов, содержащих 2 т сулемы (индекс опасности 6,22) и 8 т арсената кальция (индекс опасности 3,61). Растворимость CCl_4 в воде 0,08 г/100 г воды. Летальная доза 5760 мг/кг, давление насыщенного пара 112,2 мм рт. ст.

1.3.3 Расчет суммарного индекса опасности

твердых отходов, содержащих несколько токсикантов

Рассчитав K_i для отдельных компонентов, выбирают 1–3 ведущих, имеющих минимальное значение K , причем $K_1 < K_2 < K_3$ и кроме того должно соблюдаться условие $2K_1 \leq K_3$.

Суммарный индекс опасности

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n^2} \sum_1^n K_i, \text{ при } n \leq 3, \quad (1.35)$$

где n – число компонентов.

Класс опасности определяют по данным табл.1.11, 1.12

Решение типовой задачи

В 10 т промышленных отходов содержится 8 т четыреххлористого углерода и 2 т сулемы (хлорная ртуть – HgCl_2). Определить класс опасности отходов.

1. Четыреххлористый углерод (CCl_4): температура кипения $76,5^\circ\text{C}$; растворимость в воде $0,08$ г/100 г.

Растворимость CCl_4

$$S = 0,08 / 100 = 0,0008$$

Давление насыщенного пара $112,2$ мм рт.ст. Отсюда

$$F = \frac{112,2}{760} = 0,15$$

$$C_b = \frac{8}{10} = 0,8 \text{ т/т.}$$

По справочнику [3] определяем ЛД_{50} для морских свинок – 5760 мг/кг

$$K_{\text{CCl}_4} = \frac{\lg(\text{ЛД}_{50})_{\text{CCl}_4}}{(S + 0,1F + C_b)_{\text{CCl}_4}} = \frac{\lg 5760}{0,0008 + 0,2 \cdot 0,15 + 0,8} = 4,53$$

2. Ртуть хлорная (сулема)

Растворимость в воде $0,59$ г/100 г воды;

ЛД_{50} $17,5$ мг/кг (для мышей) [3].

Давление насыщенного пара $0,6 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.

$$F = \frac{0,6 \cdot 10^{-3}}{760} = 7,9 \cdot 10^{-7}$$

$$C_b = 2 \text{ т/}10 \text{ т} = 0,2$$

$$S = 0,59 / 100 = 0,0059$$

$$K_{\text{HgCl}_2} = \frac{\lg 17,5}{0,0059 + 0,1 \cdot 7,9 \cdot 10^{-7} + 0,2} = 6,04$$

3. Суммарный индекс опасности

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{2^2} (4,53 + 6,04) = 2,64$$

т.е. (табл. 1.11) – III класс опасности.

Задача

Определите класс опасности промышленных отходов, содержащих 21 т оксида ртути (1 класс опасности), 10 т бромной ртути (2 класс опасности) и 11 т сульфата меди (ПДК в почве – $3,0$ мг/кг). Растворимость в воде, г/100 г воды: HgO – $0,518$; HgBr_2 – $6,2$; CuSO_4 – $23,05$. Давление насыщенного пара, мм рт.ст.: HgO – $0,59 \cdot 10^{-10}$; HgBr_2 – $0,195 \cdot 10^{-3}$.

Домашнее задание

Определить класс опасности 14 т промышленных отходов, содержащих 3,5 т арсената железа ($ЛД_{50} = 1132$ мг/кг, $S = 0,015$ г/100 г воды, $F = 0$), 4,5 т трисульфида мышьяка ($ЛД_{50} = 185$ мг/кг, $S = 0,00005$ г/100 г воды, $F = 0$) и остальное количество арсената кальция ($ЛД_{50} = 114$ мг/кг, $S = 0,013$ г/100 г воды, $F = 0$).

Раздел 2. Техника и технология защиты окружающей среды

2.1. Расчет рассеивания выбросов в атмосфере

2.1.1. Расчет приземных концентраций вредных веществ в атмосфере

Общие положения

Данная методика применима для расчета рассеивания в атмосфере пыли, сернистого газа, CO, NO_x, хлора и др.

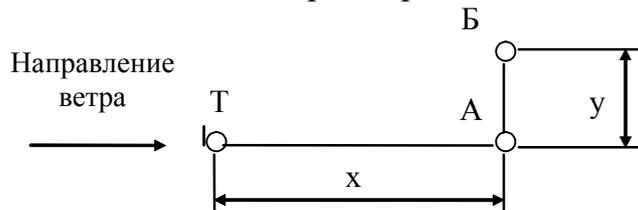


Рис. 2.1. Схема расположения расчетных точек и источника загрязнения (Т)

Требуется определить приземную концентрацию в расчетной точке А (рис. 2.1), расположенной на расстоянии x по оси направления ветра и в расчетной точке Б, смещенной от оси на величину y .

Максимальная приземная концентрация загрязнителя от одиночного источника выброса

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2 \sqrt[3]{V\Delta T}}, \text{ мг/м}^3, \quad (2.1)$$

где A – коэффициент, зависящий от распределения температуры по высоте атмосферы (Сибирь, Дальний Восток, Нижнее Поволжье – 200; Урал, Украина, Север и Северо-запад России – 160; Центр Европейской части России – 120);

M – количество загрязнителя из источника, г/с;

H – высота трубы, м;

V – расход газов из трубы, м³/с.

$\Delta T = T_{d.g.} - T_g$ – разность температур дымовых газов и воздуха, °С;

F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосфере ($F=1$ – для газообразных загрязнителей; $F=2$ – для пыли при степени очистки $\geq 90\%$; $F=2,5$ – для пыли при степени очистки $<90\%$);

n, m – безразмерные коэффициенты, учитывающие выход газов из трубы.

Безразмерный коэффициент m определяют по величине параметра $f, \text{м/с}^2 \cdot \text{град}$

$$f = \frac{10^3 \cdot W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (2.2)$$

где W – скорость выхода дымовых газов из трубы, м/с;

D – диаметр устья трубы, м

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{V}{W_0}}, \quad (2.3)$$

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{f} + 0,34 \sqrt[3]{f}}. \quad (2.4)$$

Безразмерный коэффициент n определяют по величине параметра $V_m, \text{м/с}$

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}}. \quad (2.5)$$

В зависимости от параметра V_m определяют значение коэффициента n и опасную скорость U_m ветра, при которой достигается наибольшая концентрация загрязнителя в приземном слое

Таблица 2.1

Значение коэффициента n и опасной скорости ветра U_m

V_m	n	U_m
$< 0,3$	3,0	0,5
0,3...2,0	$n = 3 - \sqrt{(V_m - 0,3) \cdot (4,36 - V_m)}$	V_m
$> 2,0$	1,0	$U_m = V_m \cdot (1 + 0,12 \sqrt{f})$

Если нужно определить максимальную концентрацию загрязнителя в приземном слое при другой скорости ветра, то

$$(C_m)_u = r \cdot C_m. \quad (2.6)$$

Величину r определяют по графику (рис.2.2) в зависимости от отношения U/U_m (кривая r).

При опасной скорости ветра U_m максимум концентрации загрязнителя находится расстоянии:

$$x_m = d \cdot H, \text{ если } F < 2, \quad (2.7)$$

$$x_m = \frac{5 - F}{4} \cdot dH, \text{ если } F \geq 2. \quad (2.8)$$

Параметр d :

$$d = 4,25 \cdot U_m \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}), \text{ если } U_m \leq 2; \quad (2.9)$$

$$d = 7,0 \cdot \sqrt{U_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}), \text{ если } U_m > 2. \quad (2.10)$$

Расстояние x_u , на котором при скорости ветра U , отличающейся от опасной, концентрация загрязнителя достигает максимальных значений

$$x_u = p \cdot x_m. \quad (2.11)$$

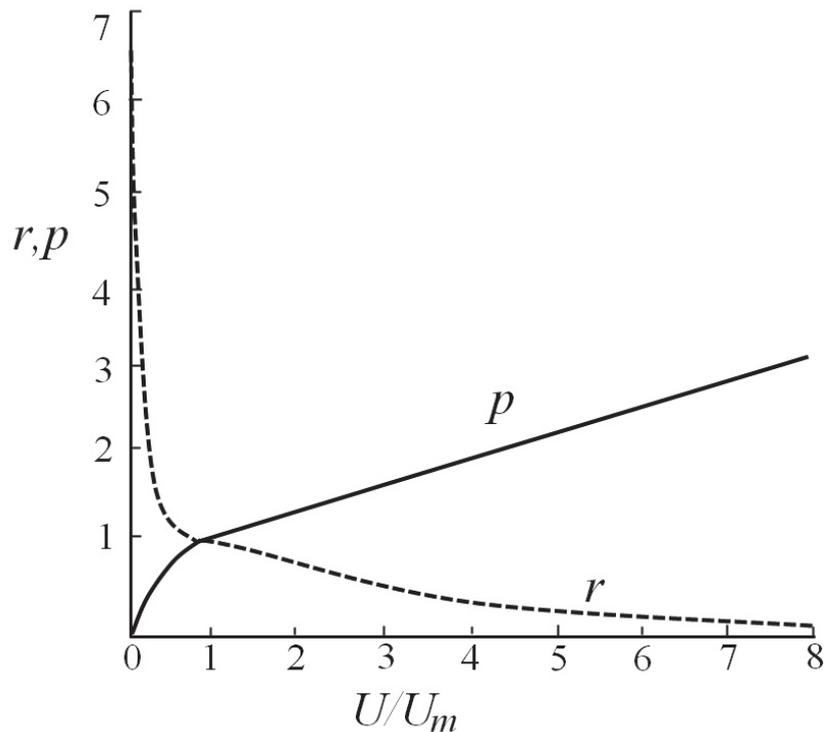


Рис. 2.2. График для определения вспомогательных величин r и p

Распределение концентраций вредных веществ по оси факела выброса на различном расстоянии x

$$C_x = S_1 \cdot C_m. \quad (2.12)$$

Безразмерная величина S_1 зависит от отношения x/x_m и определяется следующим образом:

$$S_1 = 3\bar{x}^4 - 8\bar{x}^3 + 6\bar{x}^2, \quad \text{если } \bar{x} \leq 1;$$

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13\bar{x}^2 + 1}, \quad \text{если } 1 < \bar{x} \leq 8;$$

$$S_1 = \frac{1}{3,18\bar{x}^2 + 3,52\bar{x} + 12}, \quad \text{если } \bar{x} > 8 \text{ и } F = 1;$$

$$S_1 = \frac{1}{0,1\bar{x}^2 + 2,47\bar{x} - 17,8}, \quad \text{если } \bar{x} > 8 \text{ и } F = 2; 2,5; 3,0,$$

где $\bar{x} = x/x_m$.

При $\bar{x} > 8$ безразмерная величина S_1 зависит от скорости оседания частиц.

Если требуется определить концентрацию для других скоростей ветра, то по уравнению (2.11) находят соответствующие значения x_u , а затем – S_1 и по уравнению (2.12) рассчитывают концентрацию.

Концентрация загрязнителя в приземном слое на расстоянии y от оси факела

$$C_y = S_2 \cdot C_x, \quad (2.13)$$

где

$$S_2 = \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot U \cdot (y/x)^2\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot U^2 \cdot (y/x)^4\right]}, \quad (2.14)$$

при	$V_m < 0,3 \text{ м/с}$	$U_m = 0,5 \text{ м/с};$
	$0,3 \leq V_m \leq 2 \text{ м/с}$	$U_m = V_m \text{ м/с};$
	$V_m > 2 \text{ м/с}$	$U_m = V_m (1 + 0,12 \cdot \sqrt{f}) \text{ м/с}.$

Решение типовых задач

1. Высота трубы $H = 100 \text{ м}$, ее диаметр $D = 2,5 \text{ м}$. Расход газа $V = 35 \text{ м}^3/\text{с}$, содержание в нем SO_2 $M = 100 \text{ г/с}$. Разность температур выброса и окружающей атмосферы – $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Районный коэффициент $A = 200$. Определить приземную концентрацию SO_2 на расстоянии 2000 м по оси и в точке, удаленной от оси на 300 м , при опасной скорости ветра.

Решение

Параметр

$$f = \frac{10^3 \cdot W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = \frac{10^3 \cdot \left(\frac{35}{3,14 \cdot 2,5^2 / 4}\right)^2 \cdot 2,5}{100^2 \cdot 50} = 0,25.$$

Здесь

$$W_0 = \frac{V}{S_{\text{тр}}} = \frac{V}{\pi D^2 / 4}.$$

Безразмерный коэффициент

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

$$= \frac{1}{0,67 + 0,1 \cdot \sqrt{0,25} + 0,34 \sqrt[3]{0,25}} = 1,07.$$

Параметр V_m

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{35 \cdot 50}{100}} = 2,72.$$

Безразмерный коэффициент $n = 1$ при $V_m > 2$ (табл. 2.1).

Опасная скорость ветра

$$U_m = V_m (1 + 0,12 \sqrt{f}) = 2,72 (1 + 0,12 \sqrt{1,07}) = 3,05.$$

Максимальная приземная концентрация SO_2 (при $F = 1$)

$$C_m = \frac{AMFmn}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V \Delta T}} = \frac{200 \cdot 100 \cdot 1 \cdot 1,07 \cdot 1}{100^2 \cdot \sqrt[3]{35 \cdot 50}} = 0,18 \text{ мг/м}^3.$$

Опасная скорость ветра $U_m = V_m = 1,69$ м/с.

При $U_m = 3,05$ м/с ($U_m > 2$, ур 2.10)

$$d = 7,0 \cdot \sqrt{U_m} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f}) = 7,0 \cdot \sqrt{3,05} \cdot (1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,25}) = 14,4.$$

Максимум концентрации загрязнителя SO_2 находится на расстоянии

$$x_m = d \cdot H = 14,4 \cdot 100 = 1440 \text{ м, если } F < 2.$$

Отношение $\frac{x}{x_m} = \frac{2000}{1440} = 1,39.$

Безразмерная величина S_1

$$S_1 = \frac{1,13}{0,13 \bar{x}^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13 \cdot 1,39^2 + 1} = 0,904, \text{ при } \bar{x} = 1,39.$$

Концентрация SO_2 по оси факела на расстоянии 2000 м в т.А

$$C_x = 0,904 \cdot 0,18 = 0,16 \text{ мг/м}^3.$$

Вспомогательная величина S_2 при $V_m = 2,72$ и $U_m = 3,05$

$$S_2 = \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot U \cdot (y/x)^2\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot U^2 \cdot (y/x)^4\right]} =$$

$$= \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot 3,05 \cdot 0,15^2\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot 3,05^2 \cdot 0,15^4\right]} = 0,56.$$

Здесь $y/x = 300/2000 = 0,15.$

Концентрация загрязнителя SO_2 в приземном слое на расстоянии 300 м от оси факела и на удалении 2000 м

$$C_y = S_2 \cdot C_x = 0,56 \cdot 0,16 = 0,09 \text{ мг/м}^3.$$

2. При тех же условиях определить приземную концентрацию при скорости ветра 3,5 м/с.

Решение

Отношение расчетной скорости ветра к опасной

$$\frac{U}{U_m} = \frac{3,5}{2,72} = 1,29.$$

По графикам рис. 2.2 определяем r и p (вспомогательные величины).

$$r = 0,9; \quad p = 1,1.$$

Максимальная приземная концентрация при скорости ветра 3,5 м/с

$$(C_m)_u = r \cdot C_m = 0,9 \cdot 0,18 = 0,16 \text{ мг/м}^3.$$

Максимальная приземная концентрация находится на расстоянии от трубы

$$x_u = p \cdot x_m = 1,1 \cdot 1440 = 1584 \text{ м.}$$

Отношение $\frac{x}{x_m} = \frac{2000}{1584} = 1,26$.

$$\text{При } \frac{x}{x_m} = 1,26 \quad S_1 = \frac{1,13}{0,13\bar{x}^2 + 1} = \frac{1,13}{0,13 \cdot 1,26^2 + 1} = 0,94.$$

Приземная концентрация по оси факела в т.А при скорости ветра 3,5 м/с

$$C_x = S_1 \cdot C_m = 0,16 \cdot 0,94 = 0,15 \text{ мг/м}^3.$$

Отношение $\frac{y}{x} = \frac{300}{2000} = 0,15$,

$$S_2 = \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot U \cdot (y/x)^2\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot U^2 \cdot (y/x)^4\right]} = \\ = \frac{1}{\left[1 + 8,4 \cdot 3,5 \cdot 0,15^2\right] \cdot \left[1 + 28,2 \cdot 3,5^2 \cdot 0,15^4\right]} = 0,51.$$

Приземная концентрация в т. Б при скорости ветра 3,5 м/с на расстоянии 300 м по оси факела

$$C_y = S_2 \cdot C_x = 0,15 \cdot 0,51 = 0,077 \text{ мг/м}^3.$$

Задачи

1) Определите максимальные приземные концентрации золы при выбросе газов из четырех одинаковых труб ТЭЦ высотой 90 м с диаметром устья 3,4 м, если расход газа через трубу $V = 300 \text{ м}^3/\text{с}$, его температура $120 \text{ }^\circ\text{C}$, температура воздуха $5 \text{ }^\circ\text{C}$, содержание золы в газах $16,25 \text{ г/с}$. ТЭЦ расположена в Северо-Западной части России.

2) Химический завод расположен в Поволжье на расстоянии 2,5 км от центра поселка М. Определите возможность выбросов из трубы газа, содержащего 20 г/с сероводорода, если высота трубы 120 м, ее диаметр 6 м, расход газов $285 \text{ м}^3/\text{с}$, их температура $50 \text{ }^\circ\text{C}$. Направление ветра таково, что

ось факела проходит через центр поселка. Расчет произвести для опасной скорости ветра и скорости ветра 6 м/с. Оценку сделать для условий проживания в центре поселка и на его окраине, расположенной в 270 м от центра перпендикулярно оси факела. ПДК_{сероводорода} = 0,008 мг/м³.

Домашнее задание

Определить приземные концентрации пыли от одного источника по оси факела на расстоянии 2400 м и в точке, отстоящей от оси факела на 200 м. Исходные данные: районный коэффициент $A = 160$; содержание пыли в выбросах $M = 150$ г/с; высота трубы $H = 80$ м; диаметр трубы $D = 2,0$ м; разность температур $\Delta T = 120$ °С; расход газа $V = 62,8$ м³/с; скорость газа при выходе из трубы $W_0 = 20$ м/с; среднесуточная ПДК_{пыли} = 0,15 мг/м³.

Расчеты провести для опасной скорости ветра и скорости ветра 5 м/с.

2.1.2. Расчет высоты дымовой трубы и предельно допустимых выбросов загрязнителя в атмосферу

Общие положения

Минимальная высота дымовой трубы, при которой обеспечивается концентрация в приземном слое вредных веществ не выше ПДК, рассчитывается по уравнению

$$H = \sqrt{\frac{AMFmn}{(\text{ПДК} - C_\phi)^3 \sqrt{V \cdot \Delta T}}}. \quad (2.15)$$

Обозначения те же, что и в расчете 2.1.1. Величины m и n зависят от H , поэтому в первом приближении полагают $m \cdot n = 1$ и по уравнению 2.15 определяют H . После этого по уравнению

$$f = \frac{10^3 \cdot W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T}, \quad (2.16)$$

по уравнениям (2.2)...(2.5) и данным табл.2.1 уточняют значения m и n . Затем производят пересчет величины H .

Если из трубы выбрасывается несколько загрязнителей, то высоту трубы следует брать по наибольшему значению, которое получается при расчете по уравнению (2.15) для каждого загрязнителя.

Высота трубы должна превосходить высоту расположенных вблизи зданий не менее чем в 2,5 раза.

Предельно допустимый выброс (ПДВ, г/с) загрязнителя в атмосферу, при котором загрязненность в приземном слое не превышает ПДК:

для нагретого выброса

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_\phi) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}{AFmn}, \quad (2.17)$$

для холодного выброса

$$\text{ПДВ} = \frac{8 \cdot (\text{ПДК} - C_{\phi}) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{H \cdot V}}{AFnD}. \quad (2.18)$$

При нескольких источниках выбросов

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n. \quad (2.19)$$

Решение типовых задач

1) Определить высоту трубы ТЭС, если содержание NO_2 в выбросах 140 г/с, а температура превышает атмосферную на 75° . Объем выбросов $40 \text{ м}^3/\text{с}$; диаметр устья трубы 2,2 м; среднесуточный $\text{ПДК}_{\text{NO}_2} = 0,05 \text{ мг}/\text{м}^3$; фоновую концентрацию диоксида азота принять равной нулю.

Решение

Принимаем $m \cdot n = 1$, $F = 1$ (газ)

$$H = \sqrt{\frac{AMFmn}{(\text{ПДК} - C_{\phi}) \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}} = \sqrt{\frac{160 \cdot 140 \cdot 1 \cdot 1}{(0,05 - 0) \cdot \sqrt[3]{40 \cdot 75}}} = 176,3 \text{ м},$$

$$W_0 = \frac{4 \cdot V}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 40}{3,14 \cdot 2,2^2} = 10,52 \text{ м/с},$$

$$f = \frac{10^3 \cdot W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = \frac{10^3 \cdot 10,52^2 \cdot 2,2}{176,3^2 \cdot 75} = 0,1.$$

По уравнению (1.4)

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,1} + 0,34\sqrt[3]{0,1}} = 1,164.$$

Безразмерный параметр

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{40 \cdot 75}{176,3}} = 2,68.$$

По табл. 1.1 при $V_m = 2,68$ ($V_m > 2$) $n = 1$.

Уточненная высота трубы

$$H = \sqrt{\frac{AMFmn}{(\text{ПДК} - C_{\phi}) \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}} = \sqrt{\frac{160 \cdot 140 \cdot 1,164 \cdot 1}{(0,05 - 0) \cdot \sqrt[3]{40 \cdot 75}}} = 190,2 \text{ м}.$$

2) Определить предельно допустимый выброс сажи из трубы ТЭС высотой 100 м, если территориальный коэффициент $A = 160$; объем выбросов $V = 45 \text{ м}^3/\text{с}$; перепад температур $\Delta T = 40^\circ$; диаметр устья трубы – $D = 2,7 \text{ м}$; среднесуточный $\text{ПДК}_{\text{сажи}} = 0,05 \text{ мг}/\text{м}^3$.

Решение

Принимаем $m \cdot n = 1$, $F = 2$ (твердые частицы), тогда

$$\text{ПДВ} = \frac{(\text{ПДК} - C_{\phi}) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}{AFmn} = \frac{0,05 \cdot 100^2 \cdot \sqrt[3]{45 \cdot 40}}{160 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1} = 19,0 \text{ г/с}.$$

Уточняем значения m и n .

Скорость газа

$$W_0 = \frac{4 \cdot Q}{\pi D^2} = \frac{4 \cdot 45}{3,14 \cdot 2,7^2} = 7,86 \text{ м/с}$$

Параметр

$$f = \frac{10^3 \cdot W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = \frac{10^3 \cdot 7,86^2 \cdot 2,7}{100^2 \cdot 40} = 0,417$$

Безразмерный коэффициент (по уравнению 2.4)

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}} = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{0,417} + 0,34\sqrt[3]{0,417}} = 1,01$$

Безразмерный параметр

$$V_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{40 \cdot 45}{100}} = 1,70$$

6. По табл. 2.1 при $V_m=1,70$ $V_m=U_m$

$$n = 3 - \sqrt{(V_m - 0,3)(4,36 - V_m)} = 3 - \sqrt{(1,70 - 0,3)(4,36 - 1,70)} = 1,07$$

7. Уточненное значение ПДВ

$$ПДВ = \frac{(ПДК - C_\phi) \cdot H^2 \cdot \sqrt[3]{V \cdot \Delta T}}{AFmn} = \frac{0,05 \cdot 100^2 \cdot \sqrt[3]{40 \cdot 45}}{160 \cdot 1 \cdot 1,01 \cdot 1,07} = 17,6 \text{ г/с}$$

Задачи

1) Определить высоту дымовой трубы для выбросов в атмосферу $100 \text{ м}^3/\text{с}$ газа, содержащего 100 г/с хлористого водорода, если температура газа $125 \text{ }^\circ\text{C}$, температура воздуха $32 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрация хлористого водорода в атмосфере $0,01 \text{ мг/м}^3$. Объект расположен в Западной Сибири. Диаметр устья трубы 3 м . $ПДК_{\text{HCl}} = 0,2 \text{ мг/м}^3$.

2) Определить ПДВ в атмосферу фенола из трубы высотой 80 м , если диаметр трубы $2,4 \text{ м}$, расход газа $40 \text{ м}^3/\text{с}$, фоновая концентрация $0,002 \text{ мг/м}^3$, а температура дыма превышает атмосферную на 45 ° . Предприятие располагается на Урале. Среднесуточная $ПДК_{\text{фенола}} = 0,003 \text{ мг/м}^3$.

Домашнее задание

1) Определить высоту трубы котельной, если содержание пыли в выбросах 70 г/с , а $\Delta T = 35 \text{ }^\circ\text{C}$. Степень очистки газов $\geq 90\%$; $A = 120$; $D_{\text{тр}} = 1,8 \text{ м}$; $V = 35 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_{\text{тм}} = 0,002 \text{ мг/м}^3$; $ПДК_{\text{пыли}} = 0,15 \text{ мг/м}^3$.

2) Рассчитать ПДВ аммиака из трубы химкомбината высотой 120 м . Остальные данные: $A = 120$; $D_{\text{тр}} = 2,6 \text{ м}$; $V = 50 \text{ м}^3/\text{с}$; $C_\phi = 0$; $ПДК_{\text{аммиака}} = 0,04 \text{ мг/м}^3$; $\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2. Эффективность очистки промышленных газов от пыли

2.2.1. Расчет очистки в пористых фильтрах

Общие положения

Показателем эффективности работы фильтра принято считать отношение количества уловленной фильтром пыли к количеству пыли, поступившей на фильтр,

$$\eta = \frac{z_1 - z_2}{z_1} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{z_2}{z_1}\right) \cdot 100\%, \quad (2.20)$$

где z_1 и z_2 – количество пыли на входе и на выходе.

Отношение

$$\frac{z_2}{z_1} = k \quad (2.21)$$

принято называть коэффициентом проскока. Тогда

$$\eta = 1 - k. \quad (2.22)$$

Материал фильтра характеризуется пористостью. Показатель пористости

$$\varepsilon = \frac{\rho_m - \rho_\phi}{\rho_m} = 1 - \alpha, \quad (2.23)$$

где ρ_m , ρ_ϕ – плотность материала фильтра и кажущаяся плотность фильтрующего слоя, кг/м^3 . Здесь плотность упаковки α есть отношение объема волокон к единице объема слоя

$$\alpha = \frac{\rho_\phi}{\rho_m}. \quad (2.24)$$

Физическая модель осаждения частиц учитывает действие нескольких механизмов: инерционный, гравитационный, диффузионный, касания, электростатический и др.

Уравнение Дэвиса учитывает совместные действия трех из них: касания, диффузии и инерции

$$\eta_\Sigma = \left[R_k + (0,25 + 0,4R_k)P - 0,263P^2 \right] \cdot (0,16 + 10,9\alpha - 17\alpha^2), \quad (2.25)$$

где

$$P = Stk + 2Pe^{-1}.$$

Здесь критические числа Стокса и Пекле

$$Stk = \frac{r^2 u \cdot \rho_m}{9\mu \cdot R} \cdot K_c,$$

$$Pe^{-1} = \frac{D}{2R_{\phi} \cdot u},$$

где K_c – поправка Каннингема

$$K_c = 1 + \frac{\lambda}{r} \cdot \left[1,25 + 0,4 \cdot \exp\left(-1,1 \cdot \frac{r}{\lambda}\right) \right]. \quad (2.26)$$

В уравнении (2.26) λ – длина свободного пробега молекул.

Для фильтрации жидкости или газа в пористых средах характерен режим вязкого течения. Перепад давления в фильтрующем слое (ΔP) зависит от скорости газа u , его вязкости μ и толщины слоя H (закон Дарси):

$$\Delta P = K_0 u \mu H / R^2. \quad (2.27)$$

Здесь R – радиус частицы слоя или канала.

Для фильтров невысокой плотности ($\alpha = 0,006 \dots 0,3$) с волокнами диаметром 11,6...80 мкм Дэвис получил уравнение связи коэффициента сопротивления слоя K_0 с плотностью упаковки α

$$\alpha = \sqrt[3]{\left(-\frac{1}{104} + \sqrt{\frac{1}{10816} + \frac{K_0}{910}}\right)^2}. \quad (2.28)$$

Коэффициент проскока

$$\lg K = 2 - \frac{0,86 \cdot \alpha \cdot H \cdot \eta_{\Sigma}}{\pi R_{\text{эф}} (1 - \alpha)}. \quad (2.29)$$

Зависимость (2.27) используется для определения эффективного радиуса волокна $R_{\text{эф}}$

$$R_{\text{эф}}^2 = \frac{17,5 \mu \cdot u \cdot H}{\Delta P} \alpha^{1,5} (1 + 52 \alpha^{1,5}). \quad (2.30)$$

Эффективный радиус вводится для учета влияния соседних волокон при их обтекании на поле скоростей в расчетах осаждения частиц. Основные свойства тканей для фильтрования представлены в табл.1.2.

Параметр касания

$$R_{\kappa} = \frac{r}{R_{\text{эф}}}, \quad (2.31)$$

где r – радиус частицы.

Таблица 2.2

Основные свойства тканей для фильтрования

Ткань	Толщина, мм	Температура газов, °С	Сопротивление ткани фильтра, Па	Скорость фильтрации, м ³ /(м ² ·мин)
Сукно	1,5	85 – 95	500 – 700	3,0
Нитрон	1,5	130 – 140	600 – 900	7,5
Лавсан	1,4	110 – 130	700 – 900	4,0
Стеклоткань	0,22	200 – 240	1100 – 1200	2,7

Решение типовой задачи

Перепад давления на волокнистом фильтре толщиной $H = 3,3 \cdot 10^{-3}$ м равен $\Delta P = 33,5$ Па. Рассчитать эффективность фильтра для частиц $r = 1,5 \cdot 10^{-6}$ м, приняв скорость фильтрования $u = 0,21$ м/с, вязкость воздуха $\mu = 18 \cdot 10^{-6}$ Па·с, диаметр волокна $D = 2R = 10^{-5}$ м. Плотность частицы $\rho_T = 10^3$ кг/м³.

Решение

Коэффициент сопротивления слоя

$$K_0 = \frac{\Delta P \cdot R^2}{u \cdot \mu \cdot H} = \frac{33,5 \cdot (0,5 \cdot 10^{-5})^2}{0,21 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 3,3 \cdot 10^{-3}} = 0,067.$$

Плотность упаковки волокон

$$\alpha = \sqrt[3]{\left(-\frac{1}{104} + \sqrt{\frac{1}{10816} + \frac{K_0}{910}}\right)^2} = \sqrt[3]{\left(-\frac{1}{104} + \sqrt{\frac{1}{10816} + \frac{0,067}{910}}\right)^2} = 0,0242 = 2,42 \cdot 10^{-2}.$$

Эффективный диаметр волокна

$$R_{\text{эф}}^2 = \frac{17,5\mu \cdot u \cdot H}{\Delta P} \alpha^{1,5} (1 + 52\alpha^{1,5}) = \frac{17,5 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 0,21 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3}}{33,5} \cdot 0,0242^{1,5} \cdot (1 + 52 \cdot 0,0242^{1,5}) = 29,1 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2.$$

Отсюда

$$R_{\text{эф}} = 5,39 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 5,39 \text{ мкм}.$$

Параметр касания

$$R_{\kappa} = \frac{r}{R_{\text{эф}}} = \frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{5,39 \cdot 10^{-6}} = 0,29.$$

Критерий Пекле

$$Pe^{-1} = \frac{D}{2R_{\text{эф}} \cdot u} = \frac{0,849 \cdot 10^{-11}}{2 \cdot 5,39 \cdot 10^{-6} \cdot 0,21} = 0,38 \cdot 10^{-5}.$$

Здесь коэффициент диффузии $D = 0,849 \cdot 10^{-11}$ м²/с.

Критерий Стокса

$$Stk = \frac{r^2 u \cdot \rho_T}{9\mu \cdot R_{\text{эф}}} \cdot K_c = \frac{1,5^2 \cdot 10^{-12} \cdot 0,21 \cdot 10^3 \cdot 1,05}{9 \cdot 18 \cdot 10^{-6} \cdot 5,39 \cdot 10^{-6}} = 0,568 = 5,68 \cdot 10^{-1}.$$

Поправка Каннингема

$$K_c = 1 + \frac{\lambda}{r} \cdot \left[1,25 + 0,4 \cdot \exp\left(-1,1 \cdot \frac{r}{\lambda}\right) \right] =$$

$$= 1 + \frac{6,5 \cdot 10^{-8}}{1,5 \cdot 10^{-6}} \cdot \left[1,25 + 0,4 \cdot \exp\left(-1,1 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-6}}{6,5 \cdot 10^{-8}}\right) \right] = 1,05.$$

Здесь $\lambda = 6,5 \cdot 10^{-8}$ м.

Коэффициент захвата частиц фильтром

$$\eta = \left[R_k + (0,25 + 0,4R_k)P - 0,263P^2 \right] \cdot (0,16 + 10,9\alpha - 17\alpha^2) =$$

$$= [0,29 + (0,25 + 0,4 \cdot 0,29) \cdot (0,568 + 2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-5}) -$$

$$- 0,263 \cdot (0,568 + 2 \cdot 0,38 \cdot 10^{-5})^2] \times$$

$$\times (0,16 + 10,9 \cdot 0,0242 - 17 \cdot 0,0242^2) = 0,171.$$

Коэффициент проскока

$$\lg K = 2 - \frac{0,86 \cdot \alpha \cdot H \cdot \eta_{\Sigma}}{\pi R_{\text{эф}} (1 - \alpha)} =$$

$$= 2 - \frac{0,86 \cdot 0,0248 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} \cdot 0,171}{3,14 \cdot (1 - 0,0248) \cdot 5,39 \cdot 10^{-6}} = 1,271.$$

Тогда $K = 18,7\%$, а степень очистки $\eta = 81,3\%$.

Задача

Рассчитайте эффективность тканевого фильтра и остаточное содержание пыли в отходящих газах для частиц той же плотности и размера, что и в примере расчета, если диаметр волокна 50,0 мкм, скорость фильтрования $U = 0,4$ м/с, толщина фильтра – 5 мм, а перепад давления на новом фильтре $\Delta P = 10$ Па. Вязкость и коэффициент диффузии взять из примера расчета. Исходная запыленность газов 35 мг/м^3 .

Домашнее задание

1) Рассчитать эффективность фильтра для частиц размером $3 \cdot 10^{-7}$ м. Условия те же, что и в примере расчета.

2) Рассчитать остаточное содержание пыли в отходящих газах, если их исходное содержание 100 мг/м^3 , а очистка осуществляется в рукавном фильтре из лавсана толщиной 1,4 мм с диаметром волокон 20 мкм. Скорость фильтрования 0,5 м/с, $\Delta P = 300$ Па, вязкость газов $20,1 \cdot 10^{-6}$ Па·с, плотность частиц $2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Расчет выполнить для частиц пыли $r = 1$ мкм.

2.2.2. Расчет очистки в циклонах

Общие положения

Циклоны (рис.2.3) конструктивно подразделяются на цилиндрические (табл.2.3) и конические (табл.2.4). Главный конструктивный размер

циклона - внутренний диаметр D . Принят следующий ряд D : 200, 300, 400, 500, ..., 1000, 1200, 1400, ..., 2000, 2400 и 3000 мм. В табл. 2.3 и 2.4 все размеры приведены в долях D . Избыточное давление газов, поступающих в циклоны ≤ 2500 Па. Температура газов во избежание конденсации паров жидкости должна быть на 30...50 °С выше температуры росы, но не выше 400 °С (по условиям прочности конструкции).

Определение числа циклонов.

Обычно известны следующие данные:

расход газа Q , м³/с; температура t_r , °С; плотность газа и пыли ρ_r и ρ_p ; запыленность газов V_r , г/м³. Требуется определить число циклонов для заданной степени очистки η , при этом гидравлическое сопротивление их не должно превышать $\Delta P_{зад}$.

Для решения задачи выбирается тип циклона с известным коэффициентом гидравлического сопротивления ξ (табл.2.5). Для группы циклонов он увеличивается на 10% (в 1,1 раза).

Плотность газа при рабочих условиях (ρ_0 – плотность газа при нормальных условиях)

$$\rho'_2 = \frac{\rho_0 \cdot 273 \cdot (P_{атм} - P_{газ})}{(273 + t_2) \cdot 760}. \quad (2.32)$$

Гидравлическое сопротивление циклона, Н/м²

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{W_{усл} \cdot \rho_2}{2}. \quad (2.33)$$

Отсюда

$$W_{усл} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\xi \cdot \rho_2}}, \text{ м/с}. \quad (2.34)$$

Сопротивление одного циклона

$$\Delta P = \frac{\Delta P_{зад}}{1,1}. \quad (2.35)$$

Производительность одного циклона

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot 3600 \cdot W_{усл}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (2.36)$$

Число циклонов

$$n = \frac{Q}{V}. \quad (2.37)$$

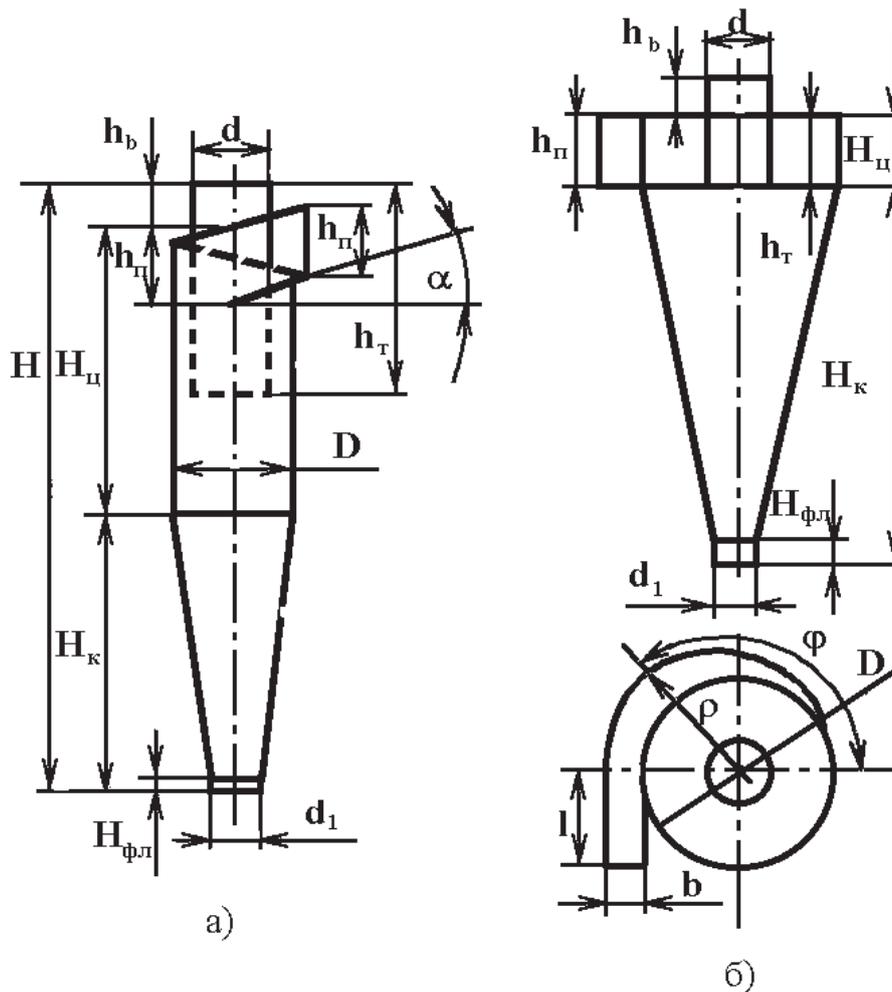


Рис. 2.3 Цилиндрический (а) и конический (б) циклоны

Расчет эффективности очистки газа циклоном ведут методом последовательных приближений. Задавшись типом циклона по табл. 2.6 определяют оптимальную скорость (W_{opt}), а затем рассчитывают диаметр циклона D

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi W_{opt}}} \quad (2.38)$$

Если расчетный диаметр циклона превышает максимально допустимое значение, то применяют несколько циклонов.

Действительная скорость газа в циклоне

$$W = \frac{4 \cdot Q}{n \pi D^2}, \quad (2.39)$$

где n – число циклонов.

Расчитанное значение W должно отличаться от W_{opt} не более чем на 15%. Коэффициент гидравлического сопротивления циклона

$$\xi = k_1 \cdot k_2 \cdot \xi_{500}, \quad (2.40)$$

где поправочные коэффициенты: k_1 – на диаметр циклона (табл.2.7); k_2 – на запыленность газов (табл.2.8); ξ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления циклона $\varnothing 500$ мм (табл.2.9).

Таблица 2.3

Характеристика цилиндрических циклонов

Геометрический размер	Тип циклона		
	ЦН-15	ЦН-24	ЦН-11
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона α , град	15	24	11
Высота входного патрубка h_i	0,66	1,11	0,48
Высота выхлопной трубы h_m	1,74	2,11	1,56
Высота цилиндрической части циклона H_u	2,26	2,11	2,06
Высота конуса циклона H_k	2,0	1,75	2,0
Общая высота циклона H	4,56	4,26	4,38
Высота внешней части выхлопной трубы h_e	–	0,59	–
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия d_l	–	0,3 - 0,4	–
Ширина входного патрубка в циклоне	–	0,2	–
Ширина входного патрубка на входе	–	0,26	–
Длина входного патрубка	–	0,6	–
Высота фланца $h_{фл}$	–	0,1	–

Затем рассчитывают гидравлическое сопротивление циклона (уравнение 2.33).

Для вычисления эффективности очистки газа в циклоне

$$\eta = 0,5 \cdot [1 + \Phi(x)] \quad (2.41)$$

следует определить табличную функцию $\Phi(x)$. Она зависит от параметра x

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_{50}}{d_{50}^T}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\varphi}}. \quad (2.42)$$

Здесь d_{50} – медианный (средний) размер частиц, мкм; d_{50}^T – то же типового циклона ($D_T = 0,6$ м; $\rho_T = 1930$ кг/м³; $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $W_T = 3,5$ м/с); σ_η – среднеквадратичное распределение частиц по фракциям.

Учет отклонений в работе циклона от параметров типового циклона производят по уравнению

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{D_T}\right) \cdot \left(\frac{\rho_T}{\rho}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_T}\right) \cdot \left(\frac{W_T}{W}\right)}. \quad (2.43)$$

Значения d_{50}^T и $\lg \sigma_{\eta}$ для циклонов приведены в табл.2.11.

Таблица 2.4

Характеристика конических циклонов

Геометрический размер	Тип циклона		
	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
Высота цилиндрической части H и высота заглубления выхлопной трубы h_m	0,535	0,515	0,4
Высота конической части H_k	3,0	2,11	2,6
Внутренний диаметр выхлопной трубы d	0,334	0,340	0,22
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия d_l	0,334	0,229	0,18
Ширина входного патрубка b	0,264	0,214	0,18
Высота внешней части выхлопной трубы h_g	0,2 – 0,3	0,515	0,3
Высота установки фланца $h_{фл}$	0,1	0,1	0,1
Длина входного патрубка l	0,6	0,6	0,6
Высота входного патрубка h	0,535	0,2 – 0,6	0,4
Текущий радиус улитки ρ	$D/2 + b\varphi/\pi$	$D/2 + b$	φ/π

Таблица 2.5

Коэффициент гидравлического сопротивления циклона

Тип циклона	Диаметр, мм	Коэффициент гидравлического сопротивления	
		Без улитки	С улиткой на выхлопной трубе
ЦН-11	450	250	210
ЦН-15	450	160	140
ЦН-15у	450	170	160
ЦН-24	450	80	90
ЛИОТ	700	460	411
СДК-ЦН-33	450	600	980
СДК-ЦН-34	450	1270	1540

Таблица 2.6

Оптимальная скорость в циклонах

Тип ци- клона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН- 33	СК-ЦН-34	СК-ЦН- 34м
$W_{\text{опт}}$	4,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Таблица 2.7

Поправочный коэффициент k_1

Тип циклона	Значение k_1 для D , мм				
	150	200	300	450	500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
СДК-ЦН-33, СК- ЦН-34, СК-ЦН-34м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 2.8

Поправочный коэффициент k_2

Тип циклона	Значение k_2 при $c_{\text{вх}}$, г/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	-
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34м	1	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Таблица 2.9

Коэффициент гидравлического сопротивления циклона диаметром 500 мм

Тип циклона	Значение ξ_{500}	
	при выхлопе в атмосферу	при выхлопе в гидрав- лическую сеть
ЦН-11	245	250
ЦН-15	155	163
ЦН-24	75	80
СДК-ЦН-33	520	600
СК-ЦН-34	1050	1150
СК-ЦН-34м	-	2000

Таблица 2.10

Параметр $\Phi(x)$						
x	-2,70	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4	-1,2
$\Phi(x)$	-0,0035	0,0228	0,0359	0,0548	0,0808	0,1151
x	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	
$\Phi(x)$	0,1587	0,2119	0,2743	0,3446	0,4207	
x	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\Phi(x)$	0,5000	0,5793	0,6554	0,7257	0,7881	0,8413
x	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,7
$\Phi(x)$	0,8849	0,9192	0,9452	0,9641	0,9772	0,9965

Таблица 2.11

Характеристика типовых циклонов

Тип ци- клона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН- 33	СК-ЦН-34	СК-ЦН- 34м
d_{50}^T , МКМ	8,5	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3
$\lg \sigma_{\eta}$	0,308	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340

Вычислив x , находят параметр $\Phi(x)$ по данным табл.2.10. Если расчетное значение η по уравнению 2.41 окажется меньше необходимого (допустимого), то следует выбрать другой тип циклона с большим значением гидравлического сопротивления.

Для ориентировочных расчетов

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \left(\frac{1 - \eta_1}{1 - \eta_2} \right)^2 \cdot \frac{W_1}{W_2} \cdot \frac{D_2}{D_1}. \quad (2.44)$$

Решение типовых задач

1) Рассчитать гидравлическое сопротивление циклона ЦН-11 с улиткой, если его диаметр 0,5 м. Через циклон проходит 3000 м³/час газа с плотностью 0,6 кг/м³.

Решение

Условная скорость

$$W_{усл} = \frac{Q}{S_{усл}} = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} = \frac{3000}{(3,14 \cdot 0,5^2 / 4) \cdot 3600} = 4,25 \text{ м/с},$$

$$S_{усл} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,196 \text{ м}^2.$$

Из табл.2.5 – $\xi = 210$.

Гидравлическое сопротивление, уравнение (2.33)

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{W_{\text{усл}} \cdot \rho_{\Gamma}}{2} = 210 \cdot \frac{4,25^2 \cdot 0,6}{2} = 1138 \text{ Н/м}^2 \text{ (115 мм вод.ст.)}$$

2) Оборудовать цех циклонами для очистки газов объемом 20000 м³/час и температурой 250 °С, если $\rho_0 = 1,25 \text{ кг/м}^3$ (при нормальных условиях); $\rho_{\text{пыли}} = 1500 \text{ кг/м}^3$; $P_{\text{бар}} = 750 \text{ мм рт.ст.}$; $P_2 = 10 \text{ мм вод. ст.}$ (при входе в циклон); гидравлическое сопротивление циклона $\leq 70 \text{ мм вод.ст.}$

Решение

Устанавливаем несколько циклонов ЦН-15 с $D = 450 \text{ мм}$.

По табл.2.5 коэффициент гидравлического сопротивления $\xi = 140$.

Плотность газа при рабочих условиях (уравнение 2.32)

$$\rho'_2 = \frac{\rho \cdot 273 \cdot (P_{\text{атм}} - P_{\text{газ}})}{(273 + t_2) \cdot 760} = \frac{1,25 \cdot 273 \cdot (750 - 1)}{(273 + 250) \cdot 760} = 0,643 \text{ кг/м}^3.$$

Если сопротивление группы циклонов должно быть не более 70 мм вод. ст., то сопротивление 1 циклона (уравнение 2.35)

$$\Delta P = \frac{70}{1,1} = 63 \text{ мм вод.ст.}$$

Условная скорость

$$W_{\text{усл}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\xi \cdot \rho_{\Gamma}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 63}{140 \cdot 0,643}} = 1,18 \text{ м/с.}$$

Пропускная способность одного циклона

$$V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot 3600 \cdot W_{\text{усл}} = \frac{3,14 \cdot 0,45^2}{4} \cdot 3600 \cdot 1,18 = 675,3 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Потребуется циклонов

$$n = \frac{Q}{V} = \frac{20000}{675,3} = 29,6 \approx 30 \text{ штук.}$$

3) Определить степень очистки промышленных газов в циклоне ЦН-11 при следующих данных: $Q = 20000 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\rho'_2 = 0,64 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{пыли}} = 1500 \text{ кг/м}^3$; $V_2 = 40 \text{ г/м}^3$; вязкость газов $\mu = 20,8 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$; дисперсный состав пыли $d_{50} = 40 \text{ мкм}$. Среднее квадратичное отклонение распределения частиц по фракциям $\lg \sigma = 0,4$.

Решение

По табл.2.6 для ЦН-11 – $W_{\text{онт}} = 3,5 \text{ м/с}$.

Диаметр циклона, уравнение (2.38)

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi W_{\text{онт}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 20000/3600}{3,14 \cdot 3,5}} = 1,42 \text{ м.}$$

Циклона с таким диаметром не существует. Используем циклоны $\varnothing 450 \text{ мм}$. Очевидно, что потребуется несколько циклонов.

$$n = \frac{Q}{V} = \frac{D^2}{D_y^2} = \frac{1,42^2}{0,45^2} = 9,95 \approx 10 \text{ штук}$$

Действительная скорость газа в циклоне

$$W = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot n \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 20000}{3,14 \cdot 10 \cdot 0,45^2 \cdot 3600} = 3,49 \text{ м/с.}$$

Отклонение от оптимальной скорости

$$\Delta = \frac{|3,49 - 3,5|}{3,49} \cdot 100\% = 2,9\% < 15\%$$

По табл.2.7 поправочный коэффициент $k_1 = 0,99$; по табл.2.8 – $k_2 = 0,92$; по табл.2.9 – $\xi_{500} = 245$.

Коэффициент гидравлического сопротивления

$$\xi = 0,99 \cdot 0,92 \cdot 245 = 223,1.$$

По данным табл.2.11 для ЦН-11 – $d_{50}^T = 3,65$ мкм, $\lg \sigma_\eta = 0,352$.

Медианный размер пыли

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{D_T}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{\phi T}}{\rho_\phi}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_T}\right) \cdot \left(\frac{W_T}{W}\right)} =$$

$$= 3,65 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,45}{0,6}\right) \cdot \left(\frac{1930}{1500}\right) \cdot \left(\frac{20,8 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}}\right) \cdot \left(\frac{3,50}{3,49}\right)} = 3,47 \text{ мкм.}$$

Параметр x

$$x = \frac{\lg\left(\frac{d_{50}}{d_{50}^T}\right)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\phi}} = \frac{\lg\left(\frac{3,47}{3,65}\right)}{\sqrt{0,4^2 + 0,352^2}} = -0,02.$$

По табл.2.10 при $x = -0,02$ – $\Phi(x) \cong 0,5$.

Эффективность очистки

$$\eta = 0,5 \cdot [1 + \Phi(x)] = 0,5 \cdot [1 + 0,5] = 0,75 \text{ или } 75\%.$$

Задачи

1) Рассчитать гидравлическое сопротивление циклона ЦН-24 без улитки диаметром $\varnothing 0,6$ м. Расход газа – $4200 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\rho_g = 0,7 \text{ кг/м}^3$.

2) Определить требуемое число циклонов ЦН-11 без улитки диаметром 450 мм для газоочистки литейного цеха, если расход газа $Q_g = 18000 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\rho'_g = 0,4 \text{ кг/м}^3$; температура газа $t_g = 150 \text{ }^\circ\text{C}$; $P_{\text{бар}} = 745 \text{ мм рт.ст.}$; $\Delta P_y \leq 70 \text{ мм вод.ст.}$

3) Определить остаточное содержание пыли в газах агломерационного производства после очистки в циклоне ЦН-34, если запыленность газов $V_g = 30 \text{ г/м}^3$, их расход – $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$, плотность $\rho'_g = 0,8 \text{ кг/м}^3$, плотность пы-

ли – 2600 кг/м^3 , вязкость газов – $32 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$, дисперсный состав пыли – $d_{50} = 25 \text{ мкм}$, среднеквадратичное отклонение $\lg\sigma = 0,35$.

Домашнее задание

1) Определить степень очистки промышленных газов в циклоне ЦН-24.
 $Q_2 = 8000 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\rho_2' = 0,4 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{пыли}} = 1400 \text{ кг/м}^3$; $V_2 = 26 \text{ Г/м}^3$;
 $\mu = 18,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$; $d_{50} = 35 \text{ мкм}$; $\lg\sigma = 0,3$.

2) Сделайте заключение о возможности использования системы газоочистки с циклонами СК–ЦН–34, если содержание пыли в сбросных газах – 20 г/м^3 , их расход – $22 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$, $\rho_{\text{пыли}} = 2200 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2' = 0,95 \text{ кг/м}^3$. Вязкость газов – $23 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Дисперсный состав пыли $d_{50} = 25 \text{ мкм}$, $\lg\sigma = 0,51$. Установленное ПДВ составляет 5 г/с .

2.2.3. Расчет очистки в электрофильтрах

Общие положения

В электрофильтре очистка газов происходит под действием электростатических сил (см. раздел 5.5.1). Электрофильтры предназначены для очистки больших объемов газов от пыли с размером частиц $0,01 \dots 100 \text{ мкм}$ при температуре до $450 \text{ }^\circ\text{C}$. Технические характеристики некоторых электрофильтров представлены в табл.2.12.

Загрязненные газы, поступающие в электрофильтр, всегда частично ионизированы из-за нагрева, воздействия излучений или трения и способны проводить ток. Проходя между электродами, электрофильтра молекулы газов еще более ионизируются. Ионы адсорбируются на поверхность пылинки и под действием электрического поля перемещаются и осаждаются на электродах.

Сила взаимодействия поля и заряженной частицы

$$F = Eq, \quad (2.45)$$

где E – напряженность поля, В/м; q – заряд частицы, Кл.

Под действием этой силы частица движется (дрейфует) к осадительному электроду со скоростью W_0

$$W_0 = \frac{n \cdot e \cdot E}{6 \cdot \pi \cdot r \cdot \mu}, \quad (2.46)$$

где n – число частиц; $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ – элементарный заряд; r – радиус, м; μ – вязкость газа (табл.2.13).

После преобразований получаем:

$$\text{для } d \geq 1 \text{ мкм} \quad W_0 = \frac{10^{-11} \cdot E^2 \cdot r}{\mu}, \quad (2.47)$$

$$\text{для } d < 1 \text{ мкм} \quad W_0 = \frac{0,17 \cdot 10^{-11} \cdot E}{\mu}. \quad (2.48)$$

Обычно $W_0 \leq 0,5...1,0$ м/с.

Напряженность электрического поля

$$E = \frac{U}{c}, \quad (2.49)$$

где c – расстояние между электродами, м; U – напряжение на электродах, В.

Степень очистки газов в электрофильтре

$$\eta = 1 - e^{-W_0 f}. \quad (2.50)$$

Величина f – удельная поверхность осаждения, равная отношению поверхности осадительных электродов к расходу газа, $\text{м}^2/(\text{м}^3/\text{с}) = \text{с}/\text{м}$

$$f = \frac{S}{Q_{\Gamma}} = \frac{2l \cdot b \cdot m}{Q_{\Gamma}} \quad (2.51)$$

где l – длина пластин, м; b – высота пластин, м; m – число каналов; Q_{Γ} – расход газа, $\text{м}^3/\text{с}$.

Таблица 2.12

Технические характеристики электрофильтров

Тип электро-фильтра	Показатели				
	Площадь активного сечения, м^2	Количество полей, шт.	Высота электродов, м	Длина поля, м.	Общая площадь электродов, м^2
ОГП-4-8	8	4	4,5	1,5	380
ОГП-4-16	16	4	4,5	1,5	760
УГТ1-3-30	30	3	7,5	2,58	1860
УГТ1-3-40	40	3	7,5	2,58	2560
УГТ1-3-60	60	3	7,5	2,58	3720
УГТ1-3-80	80	3	7,5	2,58	5120
УГТ2-3-50	50	3	10,0	2,58	3400
УГТ2-3-80	80	3	10,0	2,58	4950

Таблица 2.13

Динамическая вязкость воздуха, $\text{мкН} \cdot \text{с}/\text{м}^2$

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Вязкость	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Вязкость	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Вязкость
0	17,1	100	21,7	600	39,2
10	17,7	140	23,5	800	44,4
20	18,2	180	24,9	1000	49,5
40	19,2	250	27,8	1200	53,9
60	20,1	300	29,7	1400	57,5
80	20,9	400	32,8	1800	65,6

Решение типовых задач

1) Какова скорость движения заряженной частицы в межэлектродном пространстве электрофильтра, если напряженность поля $E = 300$ кВ/м, радиус частицы $2,5$ мкм, вязкость воздуха $18 \cdot 10^{-6}$ Па·с?

Решение

$$W_0 = \frac{10^{-11} \cdot E^2 \cdot r}{\mu} = \frac{10^{-11} \cdot (300 \cdot 10^3)^2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}}{18 \cdot 10^{-6}} = 0,125 \text{ м/с.}$$

2) Рассчитать степень улавливания пыли из газов агломерационной машины в электрофильтре ОГ-3-8, если $t_2 = 80$ °С, $d = 0,47$ мкм ($0,47 \cdot 10^{-6}$ м), расстояние между электродами $c = 12,5$ см, $U = 50000$ В, площадь электродов $S = 340$ м², проходное сечение электрофильтра $F_{np} = 8$ м², скорость газа $W_2 = 0,4$ м/с.

Решение

Напряженность поля

$$E = U/c = 50000/12,5 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^5 \text{ В/м.}$$

По табл.1.13 при 80 °С $\mu = 20,9 \cdot 10^{-6}$ Па·с (Н·с/м²).

$$W_0 = \frac{0,17 \cdot 10^{-11} \cdot E}{\mu} = \frac{0,17 \cdot 10^{-11} \cdot 4 \cdot 10^5}{20,9 \cdot 10^{-6}} = 0,033 \text{ м/с.}$$

Общая поверхность осадительных электродов в электрофильтре ОГ-3-8 – 340 м². Расход газа

$$Q = F \cdot W_2 = 8 \cdot 0,4 = 3,2 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$f = \frac{S}{Q_2} = \frac{2l \cdot b \cdot n}{Q_2} = \frac{340}{3,2} = 106,3 \text{ м}^2/(\text{м}^3/\text{с}),$$

$$\eta = 1 - e^{-Wf} = 1 - 2,7^{-0,033 \cdot 106,3} = 1 - 2,7^{-3,5} = 0,97 \text{ или } 97\%.$$

Здесь $e = 2,72$ – основание натурального логарифма.

Задачи

1) Для условий первой задачи определить во сколько раз отличается скорость дрейфа частиц $r = 0,1$ мкм от скорости частиц $r = 2,3$ мкм.

2) Определить количество электрофильтров с проходным сечением электродов 8 м², необходимых системы газоочистки печей обжига медных концентратов в кипящем слое. Расход печных газов – 50000 м³/ч. Скорость газов в электрическом поле $0,45$ м/с.

3) ПДВ пыли из вращающейся обжиговой печи составляет $2,5$ г/с. Установить возможность очистки отходящих газов в электрофильтрах, если расстояние между электродами $c = 0,2$ м; их площадь $S = 400$ м²; расход газа – $3,5$ м³/с; его вязкость $20 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м²; напряжение на электродах 40 кВ. Расчеты произвести для частиц радиусом $0,5$ и 2 мкм. Запыленность газов 70 г/м³.

Домашнее задание

1) Определить во сколько раз отличается скорость дрейфа частиц $r = 3$ мкм в электрическом поле электрофильтра напряженностью 250 кВ/м от скорости дрейфа мелких частиц $r = 0,3$ мкм в поле напряженностью 350 кВ/м. Температура газов 160 °С.

2) Определить соответствие санитарным нормам установки в формовочном отделении литейного цеха электрофильтра ОГП-4-16, если запыленность газов составляет 108 г/м³, а ПДВ – 12 г/с. Исходные данные для расчета: $t_2 = 120$ °С; $U = 60$ кВ; $d = 0,6$ мкм; $W_2 = 0,28$ м/с; $c = 10$ см.

2.2.4. Расчет очистки в скруббере Вентури

Общие положения

Принцип действия мокрой очистки газов основан на взаимодействии улавливаемых частиц пыли с каплями жидкости (воды). Трубы Вентури применяют для тонкой очистки промышленных газов от пыли. Скоростной газопромыватель состоит из трубы-распылителя (трубы Вентури) и каплеуловителя (рис.2.4). Очищаемый газ проходит через завесу воды. Благодаря высокой скорости вода дробится на мелкие капли и смачивает пыль. В диффузоре скорость газа уменьшается и капли сливаются (укрупняются). Это облегчает их отделение от газа. Каплеуловители бывают различной конфигурации. Например, такого же типа как циклон ЦН-24. Сечение трубы Вентури может быть как круглое, так и прямоугольное (для лучшего орошения при больших расходах и при больших проходных сечениях труб). При расходе газа более 40000 м³/ч используют прямоугольные трубы или несколько круглых труб.

Обычно скорость газа в узкой части трубы 40-150 м/с, расход воды 0,5-1,5 кг/м³ газа. Максимальная температура газа 300 °С.

В основу расчета положен энергетический метод – эффективность в зависимости от затрат энергии на очистку. Учитывается энергия движения газа через пылеуловитель и энергия, затраченная на распыление орошающей жидкости.

Затраты энергии на очистку газа от пыли, т.е. расход энергии на обработку жидкостью газа объема V_2

$$K = \Delta P_{an} + P_{жс} \cdot \left(\frac{V_{жс}}{V_2} \right) = \Delta P_{an} + P_{жс} \cdot m, \text{ кДж/1000 м}^3, \quad (2.52)$$

где ΔP_{an} – гидравлическое сопротивление аппарата, Па; $P_{жс}$ – давление распыляемой жидкости на входе в аппарат, Па; $V_{жс}$, V_2 – расходы жидкости и газа, м³/с; m – удельный расход жидкости, м³/м³ газа.

Степень очистки газа

$$\eta = 1 - \exp(-BK^x), \quad (2.53)$$

где B и x – константы, зависящие от свойств улавливаемой пыли (табл.2.14).

Расчет ведут следующим образом. Требуемая степень очистки газов

$$\eta = \frac{z_n - z_k}{z_n}, \quad (2.54)$$

где z_n, z_k – начальная и конечная запыленность газов.

По уравнению (2.53) находят удельный расход энергии для требуемой степени очистки газа. Задаваясь удельным расходом орошающей жидкости $m = 0,5 \dots 1,5$ кг/м³ определяют гидравлическое сопротивление скоростного газопромывателя

$$\Delta P_{an} = K - P_{жс} \cdot m, \text{ Па.} \quad (2.55)$$

Здесь m – удельный расход воды, т/м³ газа.

Коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы Вентури

$$\xi_1 = 0,165 - 0,054(l_2/d_3)(W_2/W_{3в}), \quad (2.56)$$

где l_2 – длина горловины; d_3 – эквивалентный диаметр; $W_2, W_{3в}$ – скорости в горловине трубы газа и звука, соответственно.

Обычно ξ_1 лежит в пределах 0,14...0,16.

Коэффициент дополнительных потерь, вызванных водой

$$\xi_2 = A \xi_1 m^{1-B} = 0,63 \xi_1 m^{-0,3}, \quad (2.57)$$

где A, B – коэффициенты.

Гидравлическое сопротивление циклона–каплеуловителя

$$\Delta P_k = \xi_2 (W_2 \rho_{жс} / 2) m = 75 \cdot 10^3 \xi_2 m. \quad (2.58)$$

После оценки сопротивления каплеуловителя ΔP_k рассчитывают гидравлическое сопротивление трубы Вентури ($\Delta P_{an} = \Delta P_{mp} + \Delta P_k$)

$$\Delta P_{mp} = \Delta P_{an} - \Delta P_k. \quad (2.59)$$

Скорость газа в узкой части трубы Вентури, м/с

$$U = \left(\frac{2 \Delta P_{mp}}{\xi_1 \rho + \xi_2 m \rho_{жс}} \right)^{0,5}, \quad (2.60)$$

где $\rho, \rho_{жс}$ – плотности газа и жидкости, кг/м³.

Диаметр трубы Вентури, м

$$d = 1,13 \cdot \left(\frac{V_2}{U} \right)^{0,5}, \quad (2.61)$$

где V_2 – объем газа, м³/с.

Оптимальные соотношения трубы Вентури:

- 1.) угол раскрытия конфузора – 25–28°;
- 2.) угол раскрытия диффузора – 6–7°;
- 3.) длина горловины – 0,15...0,5D.

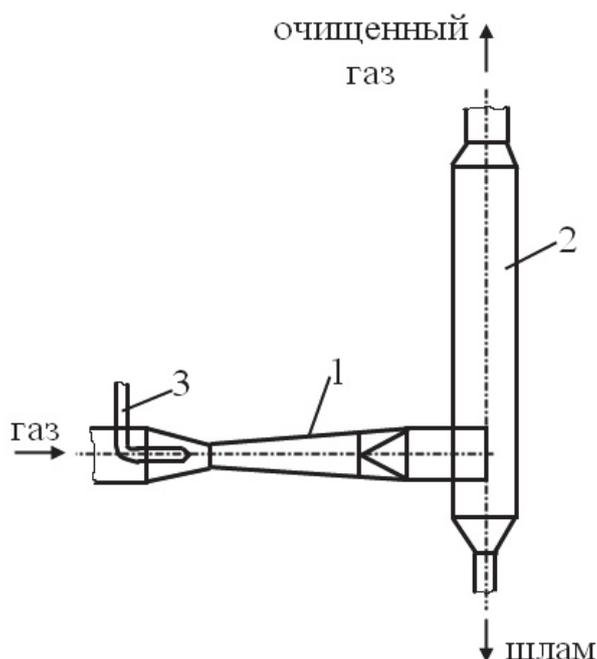


Рис. 2.4. Скоростной газопромыватель
 1 – труба Вентури; 2 – циклон-каплеуловитель; 3 – наконечник подачи воды.

Таблица 2.14
 Значения констант B и x для некоторых видов пыли

Вид пыли	B	X
Колошниковая (доменная) пыль	$6,61 \cdot 10^{-3}$	0,891
Пыль известковых печей	$6,5 \cdot 10^{-4}$	1,0529
Пыль мартеновских печей, работающих на дутье, обогащенном кислородом	$1,565 \cdot 10^{-6}$	1,619
Пыль мартеновских печей, работающих на воздушном дутье	$1,74 \cdot 10^{-6}$	1,594
Конвертерная пыль при продувке кислородом сверху	$9,88 \cdot 10^{-2}$	0,4663
Пыль, образующаяся при выплавке 45%-ного ферросилиция в закрытых электропечах	$2,42 \cdot 10^{-5}$	1,26
Пыль, образующаяся при выплавке силико-марганца в закрытых печах	$6,9 \cdot 10^{-3}$	0,67

В зависимости от условий работы распылителя и дисперсного состава пыли возможен разный механизм осаждения частиц на каплях. Для расчета фракционного коэффициента улавливания пыли $\eta_{фр}$ необходимо знать средний размер капель

$$d_k = 4870/U + 28,18 \cdot m^{1,5}, \quad (2.62)$$

плотность частиц пыли $\rho_{\text{ч}}$ и газа ρ_0 , вязкость газа ν (табл.2.15) и скорость его в горловине трубы Вентури U , а также удельный расход воды на орошение m , кг/м³ газа.

Тогда, рассчитав критерий Стокса

$$St = \frac{Ud^2\rho}{18\mu\rho_0d_{\kappa}} \quad (2.63)$$

по данным рис. 2.5, определяют степень улавливания пылевидных частиц соответствующего размера.

Таблица 2.15

Кинематическая вязкость, м²/с·10⁶ (при давлении 760 мм рт.ст.)

t, °C	Воздух	CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O (пар)	SO ₂
0	13,1	12,9	7,1	99,3	10,9	4
100	23,1	22,4	12,9	162,6	22,1	8
200	34,6	33,4	20,2	241	36,0	12
400	62,8	60,1	38,0	424	73	-
600	96	91,6	59,6	641	121	-
800	134	127	84,6	887	181	-
1000	176	166	113	1155	248	-

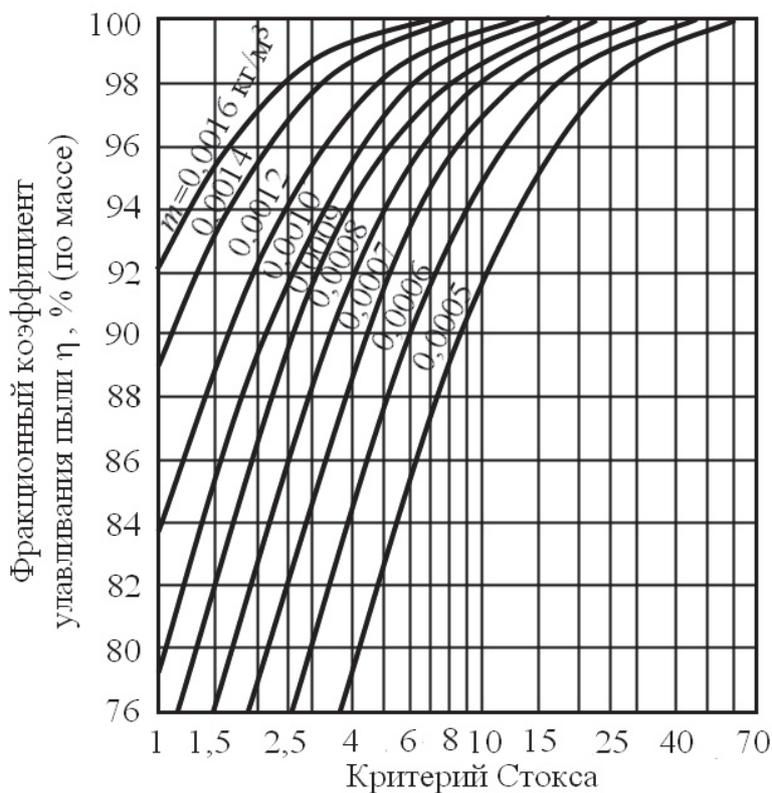


Рис. 2.5. Фракционный коэффициент улавливания пыли

Решение типовой задачи

Рассчитать скруббер Вентури для очистки отходящих газов дуговой электросталеплавильной печи, работающей с продувкой кислородом. Определить размеры, эффективность и гидравлическое сопротивление. Характеристика газов: расход $150000 \text{ м}^3/\text{ч}$; температура газов $200 \text{ }^\circ\text{C}$; разрежение перед очисткой $P_1 = 5 \text{ кПа}$; плотность газа $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$; концентрация пыли начальная $z_1 = 5 \text{ г/м}^3$; концентрация пыли конечная $z_2 = 100 \text{ мг/м}^3$; напор воды, поступающей на орошение, $P_{жс} = 300 \text{ кПа}$. Определите степень улавливания, если в пыли преобладают частицы диаметром 1 мкм с плотностью 2000 кг/м^3 .

Решение

Требуемая степень очистки

$$\eta = \frac{z_n - z_k}{z_n} = \frac{5 - 0,1}{5} = 0,98.$$

По табл.2.14 $B = 1,565 \cdot 10^{-6}$; $x = 1,619$

Из уравнения (2.53)

$$\exp(-BK^x) = 1 - \eta,$$

$$\exp(-1,565 \cdot 10^{-6} \cdot K^{1,619}) = 1 - 0,98 = 0,02,$$

$$-1,565 \cdot 10^{-6} \cdot K^{1,619} = \ln 0,02 = -3,912,$$

$$K^{1,619} = 2,5 \cdot 10^6,$$

$$K = 8950 \text{ кДж/1000м}^3.$$

Принимаем расход воды $m = 0,001 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ газа} = 0,001 \text{ т/м}^3 \text{ газа}$ или 1 кг/м^3 .

Общее гидравлическое сопротивление трубы Вентури

$$\Delta P_{an} = K - P_{жс} \cdot m = 8950 - 300000 \cdot 0,001 = 8650 \text{ Па}.$$

Плотность газа на входе в трубу Вентури

$$\rho_1 = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (101,3 - \rho_1)}{(273 + t_1) \cdot 101,3} = 1,29 \cdot \frac{273 \cdot (101,3 - 5)}{(273 + 200) \cdot 101,3} = 0,707 \text{ кг/м}^3.$$

Объемный расход газа

$$V_1 = V_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_1} = 150000 \cdot \frac{1,29}{0,707} = 273692 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход орошающей воды

$$M = m \cdot V_1 = 0,001 \cdot 273692 = 273,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Коэффициент сопротивления сухой трубы Вентури принимаем $\xi_1 = 0,15$, то же с водой $\xi_2 = 0,63 \cdot 0,15 \cdot 0,001^{-0,3} = 0,75$.

Гидравлическое сопротивление циклона-каплеуловителя

$$\Delta P_{\kappa} = 75 \cdot 10^3 \xi_2 \cdot m = 75 \cdot 10^3 \cdot 0,75 \cdot 0,001 = 56 \text{ Па}.$$

Рассчитываем гидравлическое сопротивление трубы Вентури

$$\Delta P_{тр} = \Delta P_{an} - \Delta P_{\kappa} = 8650 - 56 = 8594 \text{ Па}.$$

Температура газов на выходе из скруббера

$$t_2 = (0,133 - 41m)t_1 + 35 = (0,133 - 41 \cdot 0,001) \cdot 200 + 35 = 53,4^\circ \text{C}.$$

Так как температура газов должна быть в пределах 50...55 °С, то рассчитанная температура находится в пределах нормы.

Плотность газов на выходе из трубы Вентури

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{273(101,3 - P_1 - \Delta P_{mp})}{101,3(273 + t_2)} = 1,29 \frac{(101,3 - 5 - 8,59)}{101,3(273 + 53,4)} = 0,93 \text{ кг/м}^3.$$

Скорость газа в узкой части трубы Вентури (ур. 2.60)

$$U = \left(\frac{2 \cdot 8594}{0,15 \cdot 0,93 + 0,75 \cdot 0,001 \cdot 1000} \right)^{0,5} = 138,7 \text{ м/с}.$$

Объемный расход газа на выходе из трубы Вентури

$$V_2 = V_0 \frac{\rho_0}{\rho_2} = \frac{150000 \cdot 1,29}{0,93 \cdot 3600} = 57,8 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Диаметр трубы Вентури

$$d_2 = 1,13 \cdot (57,8 / 138,7)^{0,5} = 0,73 \text{ м}.$$

Полученный размер превышает максимальный типоразмер труб $d_{\max} = 0,42$ м. Поэтому необходима установка нескольких труб Вентури. Принимаем $n=4$. Тогда

$$d'_2 = 1,13 \left(\frac{57,8}{4 \cdot 138,7} \right)^{0,5} = 0,365 \text{ м}.$$

В соответствии с ГОСТ принимаем $\varnothing 370$ мм.

Фактическая скорость газа в горловине трубы

$$U_\phi = \frac{1,13^2 V_2}{n d_2^2} = \frac{1,13^2 \cdot 57,8}{4 \cdot 0,37^2} = 134,8 \text{ м/с}.$$

Принимаем скорость газа на входе в конфузор и на выходе из диффузора $U_0 = 20$ м/с. Диаметр входного сечения конфузора

$$d_1 = 1,13 \left(\frac{V_1}{n U_0} \right)^{0,5} = 1,13 \left(\frac{273692}{4 \cdot 3600 \cdot 20} \right)^{0,5} = 1,10 \text{ м},$$

диаметр диффузора

$$d_3 = 1,13 \left(\frac{V_2}{n U_0} \right)^{0,5} = 1,13 \left(\frac{57,8}{4 \cdot 20} \right)^{0,5} = 0,96 \text{ м}.$$

Длина горловины

$$l_2 = 0,15 d_2 = 0,15 \cdot 0,37 = 0,056 \text{ м}.$$

Средний размер капель

$$d_K = 4870 / U + 28,18 \cdot m^{1,5} = 4870 / 134,8 + 28,18 \cdot 1^{1,5} = 64 \text{ мкм} = 64 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

По табл.2.15 кинематическая вязкость воздуха при 200 °С $34,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Критерий Стокса

$$St = Ud^2\rho/18\mu\rho_0d_k = 134,8 \cdot (1 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 2000 / 18 \cdot 34,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1,29 \cdot 64 \cdot 10^{-6} = 5,2.$$

По данным рис.2.5 степень улавливания пылевых частиц размером 1 мкм – 97 %.

Задача

Рассчитайте скруббер Вентури для мусоросжигательного агрегата, работающего при следующих параметрах отходящих газов: расход 100000 м³/ч; температура 250 °С; запыленность газов: исходная 18 г/м³, конечная 80 мг/м³; плотность газов 1,33 кг/м³; разряжение $P_1 = 8$ кПа. Напор воды $P_{жс} = 400$ кПа. Определите степень улавливания частиц пыли размером 0,1 мкм и плотностью 2900 кг/м³. Сделайте эскиз трубы Вентури.

Домашнее задание

Определить размеры, эффективность и гидравлическое сопротивление скруббера Вентури для очистки отходящих газов из 300 – тонного кислородного конвертера. Исходные данные: расход газов 168000 м³/ч; $t_2 = 170$ °С; $z_1 = 10$ г/м³; $z_2 = 90$ мг/м³. Все остальные данные принять те же, что и в предыдущей задаче. Определите степень улавливания частиц пыли размером 0,5 мкм с плотностью 2500 кг/м³. Сделайте эскиз трубы Вентури.

2.3. Расчет оборудования для очистки промышленных газов

2.3.1. Расчет рукавных фильтров

Общие положения

По конструктивному признаку пористые газовые фильтры делятся на рукавные, ячейковые (рамочные и каркасные) и рулонные.

Расчет фильтра сводится к определению площади фильтровальных элементов, гидравлического сопротивления, продолжительности работы фильтра до регенерации и мощности привода вентилятора.

В большинстве случаев в рукавных фильтрах применяют рукава диаметром 90...450 мм и длиной 1,5...10 м. Рукава изготавливают в виде бесшовного цилиндра или сшивают из полотна. Обычно отношение длины рукава L к его диаметру D составляет

$$L/D = 15 \dots 20. \quad (2.64)$$

С целью уменьшения перегрузки ткани газами во время обратной продувки в процессе регенерации аппараты делят на секции (до 10...12). Располагают рукава (в плане) прямыми рядами или в шахматном порядке. Максимальная величина зазора между рукавами – 50 мм. Эксплуатационные показатели с рукавными фильтрами представлены в табл. 2.16.

При расчете рукавных фильтров, прежде всего, определяют количество газов, подлежащих фильтрации. Одним из самых распространенных приемов охлаждения горячих газов, отходящих из высокотемпературных агрегатов, перед очисткой в рукавных фильтрах – это охлаждение подсо-

сом холодного воздуха. Температуру смеси ($t_{см}$) и объем воздуха (V_B), необходимого для получения заданной температуры смеси, находят из уравнения теплового баланса процесса смешения газов

$$C_{см}(V_Г + V_B)t_{см} = V_Г C_Г t_Г + V_B C_B t_B, \quad (2.65)$$

полагая для ориентировочных расчетов [10] равенство теплоемкости смеси ($C_{см}$), горячих газов ($C_Г$) и воздуха (C_B) (Дж/(м³·°С)).

Здесь $V_Г$, V_B – объем горячих газов и воздуха, соответственно, м³/ч;
 $t_Г$, t_B , $t_{см}$ – температура газов, воздуха и смеси газов и воздуха, соответственно, °С.

Из уравнения 2.65 температура смеси

$$t_{см} = \frac{V_Г t_Г + V_B t_B}{V_Г + V_B}. \quad (2.66)$$

и количество воздуха, необходимого для получения заданной температуры смеси,

$$V_B = \frac{V_Г(t_Г - t_{см})}{t_{см} - t_B}. \quad (2.67)$$

Объем газов при нормальных ($V_Г^\circ, P_Г^\circ, t_Г^\circ$) и рабочих ($V_Г^P, P_Г^P, t_Г^P$) условиях определяют, используя уравнение Клапейрона–Менделеева,

$$\frac{V_Г^\circ P_Г^\circ}{t_Г^\circ} = \frac{V_Г^P P_Г^P}{t_Г^P}. \quad (2.68)$$

После определения количества подлежащих фильтрации газов ($V_Г^P$), задавшись в соответствии с практикой эксплуатации (табл. 2.16) скоростью фильтрации W_ϕ или рассчитав ее, находят необходимую площадь фильтрации

$$S = V_Г^P / W_\phi. \quad (2.69)$$

Обычно скорость фильтрации принимается равной: для фильтров со встряхиванием и продувкой – 0,6...0,8 м/мин; для фильтров с импульсной продувкой – 1,5...2,5 м/мин; для фильтров с обратной продувкой – 0,45...0,60 м/мин. Затем по табл. 2.17 или 2.18 выбирают определенный типоразмер рукавного фильтра с площадью фильтрации f и рассчитывают требуемое число фильтров

$$n = S / f. \quad (2.70)$$

Рукавные фильтры типа РФГ применяют при расходах газа свыше 50000 м³/ч. Осажденная на рукавах пыль периодически удаляется путем обратной продувки воздухом или газом. Фильтры с импульсной продувкой ФРКИ и ФРКН предназначены для пыли со средним диаметром частиц 3 мкм и более, не являющихся токсичными, пожаро- или взрывоопасными. Фильтры ФРКН-В могут быть установлены во взрывоопасных помещениях, фильтры ФРКДИ предназначены для улавливания нетоксичной и невзрывоопасной пыли при температуре газа менее 130 °С.

Таблица 2.16

Эксплуатационные показатели установок с рукавными фильтрами

Источник газов	Тип фильтра	Характеристика рукавов			Температура газов, °С		Запыленность газов, г/м ³		Степень улавливания, %	Сопротивление ткани фильтра, н/м ² (мм вод.ст)	Скорость фильтрации, м ³ /(м ² ·мин)
		диаметр, м	длина, м	материал ткани	на входе в фильтр	на выходе из фильтра	на входе в фильтр	на выходе из фильтра			
Спекательные машины с дутьем снизу	РФГ	0,22	3,1	Нитрон	80–110	50–80	3–5	0,03–0,05	99,0	590–880 (60–90)	0,7
Купеляционные печи	РФГ	0,22	3,1	Ткань ЦМ	90	60	3–5	0,05	98–99	295–490 (30–50)	0,9–0,95
Шахтные печи	РФГ	0,22	3,1	Ткань ЦМ	85	50–60	3,5	0,02–0,04	98,4	1080–1180 (110–120)	1,0
Шлаковозгонка	РФГ	0,22	3,1	Нитрон	130–140	–	20–40	0,02	99,9	980 (100)	1,0
Горны	Мешочный	0,45	9,0	Шерсть	85–95	42–45	18–19	0,015	99,9	490–685 (50–70)	0,24
Трубчатые печи (вельпечи)	РФГ	0,22	3,1	Ткань ЦМ	100–110	–	37	0,035	99,9	880–1280 (90–130)	0,7
То же	Тильман	0,203	5,3	Стеклоткань	240	180	20	0,025	99,9	1180 (120)	0,3
Шахтные печи	РФГ	0,22	3,1	Ткань ЦМ	100	70	3,8–6,6	0,035	99,4	685 (70)	0,9–1,0
Конвертеры	Мешочный	0,67	9,6	Ткань ЦМ	100	60	12	0,085	99,5	590 (60)	0,35
Вентиляционные системы	РФГ	0,22	3,1	Ткань ЦМ	–	–	0,09	–	96,5	–	1,6
То же	Со струйной продувкой	0,3	–	Двухслойная	–	–	0,05–0,06	0,004–0,005	90–92	1470–1960 (150–200)	7

Таблица 2.17

Технические характеристики рукавных фильтров типа РФГ-УМС

Показатели	Число секций							
	Однорядные				Двухрядные			
	4	6	8	10	8	12	16	20
Поверхность фильтрации, м ² :								
общая	112	168	224	280	224	336	448	560
рабочая	84	140	196	252	196	308	420	532
Число рукавов:								
в секции	14	14	14	14	14	14	14	14
в фильтре	56	84	112	140	112	168	224	280
Диаметр рукава, мм	220	220	220	220	220	220	220	220
Длина рукава, мм	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100	3100
Рабочая фильтрующая поверхность рукава, м ²	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Габариты фильтра, мм:								
длина	3,0	4,5	6,0	7,5	3,0	4,5	6,0	7,5
ширина	2,25	2,25	2,25	2,25	2x2,25	2x2,25	2x2,25	2x2,25
высота	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
Масса фильтра, кг	7600	9733	12387	14846	14320	19949	25287	28500

Количество газов после фильтров (V_r') определяют, увеличивая объем газов (V_r) на объем воздуха обратной продувки и из-за подсосов в фильтрах. Обычно этот объем составляет 25...27% от начального объема при нормальных условиях.

Суммарное сопротивление установки рукавных фильтров (ΔP) складывается из сопротивления ткани $P_{тк}$ (табл. 2.16), газоходов $P_{газ}$ и разрежения на входе в фильтры ($P_{раз}$):

$$\Delta P = P_{тк} + P_{газ} + P_{раз}, \text{ мм вод. ст.} \quad (2.71)$$

Характеристики некоторых фильтровальных тканей приведены в табл. 2.19, а свойства волокон и пряжи – в табл. 2.20.

Учитывая, что вентиляторам, помимо сопротивления фильтровальной ткани и собственно фильтра, приходится преодолевать сопротивление подводящих патрубков от фильтра к вентилятору и отводящих патрубков от вентилятора к общему коллектору чистого газа, а также возможное противодавление в газопроводе, ведущем к дымовой трубе, и резерв в тяге, разрежение, создаваемое вентилятором

$$H_{вент} = (1,7...2,0)\Delta P. \quad (2.72)$$

Число вентиляторов на установке обычно равно числу рукавных фильтров.

В табл. 2.21 сопоставлены основные показатели рукавных фильтров.

Таблица 2.18

Технические характеристики рукавных фильтров с импульсной продувкой

Наименование	Тип фильтра															
	ФРКН-15В	ФРКН-30	ФРКН-В30	ФРКН-60	ФРКНВВ-60	ФРКН-80	ФРКН-90	ФРКН-90	ФРКН-В-90	ФРКН-180	ФРКН-200	ФРКН-360	ФРКН-400	ФРКДИ-550	ФРКДИ-720	ФРКДИ-1100
Фильтрующая поверхность, м ²	15	30	30	60	60	60	90	90	90	180	200	360	400	550	720	1100
Количество рукавов, шт	18	36	36	72	72	72	108	108	108	144	216	288	420	216	288	432
Диаметр рукавов, мм	135	–	135	135	–	–	–	135	–	–	135	135	–	–	–	–
Длина рукавов, м	2000	–	2000	2000	–	–	–	2000	–	–	2500	–	2500	–	–	–
Габаритные размеры, мм																
Длина	1030	1458	1720	3300	2820	2820	4140	4560	4140	5480	8200	5850	9830	4940	6280	8955
Ширина	1910	2060	1910	1910	2060	2060	2060	1910	2060	2060	2200	4370	3100	4340	4340	4340
Высота	4210	3995	4210	4400	3995	3535	3595	4400	3595	4535	6700	4880	7200	9180	9180	9180
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	–	10	–	–	15	20	30	–	22	60	–	120	–	150	200	300
Масса, т	0,74	1,28	1,26	2,46	2,06	2,06	2,99	3,36	2,99	4,58	7,50	8,86	13,0	18,4	22,5	31,3

Таблица 2.19

Характеристика некоторых фильтровальных тканей

Показатели	Ткань, артикул (ГОСТ, ТУ)					
	рукавная ЦМ, ТУ-17-РСФСР- 4791-71	рукавная НЦМ, РТУ КазССР 144- 68	двухслойная ткань, ТУ-17- РСФСР-8053-75	стеклоткань ТСФ/7А-7с, ГОСТ 10146-74	стеклоткань РСФ(Б)-0, ГОСТ 15974-70	Стекло- ткань ТСФШ-0, ТУ 6-11- 252-73
Вид волокна	30% капрона, 70% шерсти	100% полиакрил- нитрильного нит- рона	100% поли- эфирного лавса- на	Алюмомагне- зиальное стек- ло	Алюмоборосили- катное стекло	Уток из штапель- ной ров- ницы
Масса 1 м ²	500	420	940	385	392	600
Переплетение	Саржа 2/2	Саржа 2/2	Саржа двух- слойная	Саржа	4-ремизный сатин усиленный	4- ремизный сатин усилен- ный
Толщина, мм	2,3	1,8	—	0,33	0,3	0,6
Воздухопроницае- мость(при гидрав- лическом сопротив- лении 5 мм вод.ст), м ³ /м ² мин	9,1	9,8		12	12	12
Температура, °С (при длительной службе)	100	130	130	200-250	220-250	220-250
Химическая стой- кость	Низкая к щело- чам, удовлетво- рительная к ки- слотам	Удовлетворитель- ная к щелочам и кислотам	Хорошая к ки- слотам, удовле- творительная к щелочам	Хорошая	Хорошая	Хорошая

Таблица 2.20

Некоторые свойства различных волокон и пряжи

Волокно	Прочность на разрыв в воздушно-сухом состоянии, Н/мм ²	Разрывная длина, км	Уменьшение прочности при увлажнении, %	Удлинение при разрыве, %	Плотность, г/см ³	Термическая прочность, °С	Химическая стойкость и другие показатели
Хлопок	360–530	24–35	0	7–8	1,52	80	Не стоек в кислых средах
Лен	670–1350	45–90	0	2	1,5	80	То же
Вискоза	200–550	13–36	20–65	10–30	1,52	140	То же
Шерсть	130–200	10–15	7	25–40	1,32	110	Устойчива против кислых газов и водяных паров. Не стойка в щелочах
Полиамидные волокна (капрон, нейлон, перлон, силон)	45–80	45–63	11–18	16–30	1,14	130	Низкая устойчивость в кислых средах
Полиэфирные волокна (лавсан, терилон, дакрон)	550–700	40–50	0	15–25	1,38	До 140	Высокая химическая устойчивость в кислых газах, низкая прочность во влажных газах
Номекс	—	—	—	—	1,38	220–260	Устойчив в кислых и щелочных средах
Полиакрилонитрильные волокна (нитрон, орлон, пан)	410–470	35–40	5	15–17	1,17	До 130–140	Устойчивы в кислых средах
Поливиниловые волокна: хлорин (перхлорвинил)	180–220	12–15	0	17–30	1,48	80	Высокая стойкость в кислых и щелочных средах
Ацетохлорин	200–230	14–16	10	16–18	1,42	80	—
Полиолефины:							

Окончание табл. 2.20

Полипропилен	770–860	80–90	0	20–30	0,96	120	Разрушается кислородом, в особенности при повышенной температуре
Полиэтилен	250–690	25–15	0	20–80	0,92	120	Легко размягчается
Оксалон	—	—	—	—	—	250–270	Устойчив в кислой среде
Фторсодержащие волокна:							
Полифен	350–400	15	—	Большое	2,3	До 300	Высокая химическая прочность даже в жидких минеральных кислотах
Фторлон	—	50	—	—	—	До 300	Высокая химическая стойкость в кислых средах
Стекланные волокна	1600–3000	65–122	15	3–4	2,4–2,45	250–300	Высокая химическая прочность. Низкая прочность на изгиб, в особенности в среде хлора и при конденсации
Стальные волокна	800–1200	10–16	0	2–3	7,8	—	—
Кремнеземные волокна	—	—	—	—	2–2,5	1000	Низкая механическая прочность и на разрыв и на изгиб

Таблица 2.21

Сопоставление показателей основных типов рукавных фильтров

Метод регенерации фильтровальных рукавов	Вид фильтровальных материалов	Направление потока газов при фильтрации	Скорость фильтрации, м/мин	Гидравлическое сопротивление ткани, мм вод.ст.	Запыленность, г/см ³ *)	Преимущественная область применения
Механическое встряхивание с одновременной обратной продувкой	Шерстяные и синтетические ткани	Вверх, изнутри наружу	До 0,7–1,2 (возгонная пыль), до 2–2,5 (крупная пыль)	70–130	$\frac{20-40}{0,02-0,04}$	Очистка технологических и вентиляционных газов; наиболее распространенный тип рукавных фильтров
Обратная продувка	Синтетические ткани (гладкие)	Вверх, изнутри наружу	До 0,7–0,9 (возгонная пыль)	100–170	$\frac{-}{0,02-0,04}$	—
Обратная продувка	Стеклоткани	Вверх, изнутри наружу	До 0,3–0,5	120–200	$\frac{20-40}{0,02-0,04}$	Очистка газов с температурой до 350 °С и повышенными агрессивными свойствами
Импульсная обратная продувка (рукава с каркасом)	Нетканые материалы (фетры, войлоки)	Вверх, снаружи внутрь	До 0,7–1,2	—	$\frac{5-10}{0,01-0,02}$	Очистка газов с невысокой запыленностью и легко удаляемой пылью
Струйная обратная продувка	Нетканые материалы (фетры) и утяжеленные ткани	Вниз, изнутри наружу	3–5 и более	150–200	$\frac{0,3-0,5}{0,002-0,004}$	Очистка малозапыленных вентиляционных и технологических газов и доочистка газов, прошедших обычные рукавные фильтры

*) Числитель — на входе; знаменатель — на выходе.

Решение типовой задачи

Рассчитайте число рукавных фильтров из синтетической ткани нитрон, а также характеристики вентиляторов, если расход газов на выходе из спекательных машин $200000 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при рабочих условиях); температура газов – $170 \text{ }^\circ\text{C}$; газы находятся при избыточном давлении 30 мм вод.ст. ; разрежение на входе в рукавные фильтры 15 мм вод.ст. . Соппротивление газового тракта от эксгаустера до фильтров 20 мм вод.ст. . В газоходе газы охлаждаются на $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Барометрическое давление равно 740 мм рт.ст. . Температура воздуха $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение

В соответствии с данными табл. 2.20 интервал температур работы рукавных фильтров с тканью из нитрона $80\text{...}140 \text{ }^\circ\text{C}$. Определим количество газов, поступающих в рукавные фильтры при рабочих условиях при температуре $130 \text{ }^\circ\text{C}$. Так как газы поступают от эксгаустеров под давлением, то подсосов воздуха в газоходе до места охлаждения воздухом не происходит.

Увеличение начального объема газов при нормальных условиях при подсосе воздуха (ур. 2.67)

$$\frac{V_B^0}{V_r^0} = \frac{t_r - t_{\text{см}}}{t_{\text{см}} - t_B} = \frac{(170 - 10) - 130}{130 - 30} = 0,3$$

или на 30%.

Начальный объем газов (до разбавления воздухом) при нормальных условиях определим из уравнения (1.10)

$$V_r^0 = \frac{V_r^p P_r^p t_r^0}{t_r^p P_r^0} = \frac{200000(740 + 30 \cdot 0,0736)273}{760(273 + 160)} = 123145 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Здесь $0,0736$ – коэффициент перевода давления из мм вод.ст. в мм рт.ст.

Подсос воздуха на охлаждение

$$V_B^0 = 0,3V_r^0 = 0,3 \cdot 123145 = 36944 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Общий объем газов на входе в рукавные фильтры при нормальных условиях

$$V_r^0 + V_B^0 = 123145 + 36944 = 160089 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

при рабочих условиях (ур.2.68)

$$V_r^p = \frac{V_r^0 P_r^0 t_r^p}{t_r^p P_r^p} = \frac{160089 \cdot 760(273 + 130)}{273(740 - 15 \cdot 0,0736)} = 243070 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

По данным табл. 2.20 скорость фильтрации в фильтрах из ткани нитрон принимаем $W_\phi = 0,7 \text{ м/мин}$. Тогда площадь фильтрации (ур.2.69)

$$S = \frac{V_r^p}{W_\phi} = \frac{243070}{60 \cdot 0,7} = 5787 \text{ м}^2.$$

По данным табл. 2.18 для установки выбираем фильтры ФРКДИ–1100 с площадью фильтрации каждого фильтра $f=1100 \text{ м}^2$.

Требуемое число фильтров

$$n = S/f = \frac{5787}{1100} \approx 6 \text{ шт.}$$

Количество газов после фильтрации с учетом 25% подсоса воздуха при нормальных условиях

$$V'_r = 0,25 \cdot 160089 + 160089 = 200111 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Температуру газов после фильтров с учетом 25% подсоса воздуха находим, решая уравнение (2.67)

$$\frac{130 - x}{x - 30} = 0,25.$$

Отсюда

$$x = \frac{130 + 0,25 \cdot 30}{1,25} = 110^\circ \text{С.}$$

Принимаем гидравлическое сопротивление ткани нитрон при скорости фильтрации 0,7 м/мин (табл. 2.16) – 90 мм вод. ст. Тогда разрежение на выходе из фильтров с учетом сопротивления входа и выхода фильтров $P_{\text{газ}} = 25$ мм вод. ст. и разрежение на входе в фильтр $P_{\text{раз}} = 15$ мм вод. ст. (ур. 2.71)

$$\Delta P = P_{\text{тк}} + P_{\text{газ}} + P_{\text{раз}} = 90 + 25 + 15 = 130 \text{ мм вод. ст.}$$

Разрежение вентилятора

$$H = 1,9 \cdot \Delta P = 1,9 \cdot 130 \approx 250 \text{ мм вод. ст.}$$

Количество газов после фильтров при рабочих условиях

$$V''_r = \frac{200111(273 + 110) \cdot 760}{273(740 - 130 \cdot 0,0736)} \approx 292106 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

или по $\approx 48700 \text{ м}^3/\text{ч}$ на каждый фильтр.

По результатам расчета выбираем вентилятор с разрежением 250 мм вод.ст. и расходом газа $50000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Задачи

1) Расход отходящих газов $8000 \text{ м}^3/\text{ч}$, их температура 150°С . Определите, сколько необходимо добавить воздуха с $t = 10^\circ \text{С}$, чтобы температура смеси была равна 110°С и какая будет температура смеси при добавлении $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ такого же воздуха.

2) Рассчитайте число фильтров из стеклоткани для следующих параметров установки: расход газа на выходе из вельц-печи $250000 \text{ м}^3/\text{ч}$; температура газов – 200°С ; давление газов 50 мм вод.ст.; разрежение на входе в рукавные фильтры – 40 мм вод.ст.; сопротивление газового тракта 25 мм вод.ст.; температура воздуха 15°С . В газоходе газы охлаждаются на 15°С .

Домашнее задание

Рассчитайте число фильтров из лавсана для следующих параметров установки: расход газов $180000 \text{ м}^3/\text{ч}$; температура газов $110 \text{ }^\circ\text{C}$; давление газов 30 мм вод.ст. ; разрежение на входе в рукавные фильтры 25 мм вод.ст. ; сопротивление газового тракта 15 мм вод.ст. ; барометрическое давление 755 мм рт.ст. ; температура воздуха $18 \text{ }^\circ\text{C}$. Газы охлаждаются в газоходе на $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Определите, сколько надо добавить воздуха, чтобы температура газов понизилась со $140 \text{ }^\circ\text{C}$ до $110 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.3.2. Расчет скорости фильтрации и периодичности регенерации рукавного фильтра

Общие положения

По мере осаждения пыли на ткани и заполнения ее пор, а также увеличения толщины слоя пыли возрастает сопротивление движению газа через фильтр. Это ведет к уменьшению пропускной способности фильтра. Для того, чтобы этого не происходило, слой пыли, образовавшийся на ткани и в ее порах, периодически удаляют.

Удаление пыли с ткани производят путем механического встряхивания фильтров или обратной продувкой ткани. При механическом встряхивании каждый рукав или раму, на которую натянута ткань, подвергают колебательному движению. При обратной продувке воздух или чистый газ подают в обратном направлении, то есть с чистой стороны. Показатели работы некоторых рукавных фильтров и методы их регенерации приведены в табл. 2.21.

Так как обычно фильтры состоят из нескольких секций, то ткань каждой секции регенерируют отдельно через определенные промежутки времени τ . Величина τ колеблется от нескольких минут до нескольких часов.

Обратную продувку проводят в течение $7 \dots 10 \text{ с}$ со скоростью

$$W_p = 2m_\tau, \quad (2.73)$$

где m_τ – пористость ткани (доля пор в единице объема ткани). Значения величины m_τ для некоторых тканей приведены в табл. 2.22.

Рекомендуемая скорость обратной продувки $1,5 \dots 2,0 \text{ м/мин}$. Ее целесообразно совмещать с механическим встряхиванием рукавов.

Процесс регенерации ткани зависит от многих причин: от метода регенерации; от интенсивности и направления регенерации; от свойств ткани, ее структуры, физико-химических и механических свойств поверхности и др.

Величина гидравлического сопротивления запыленной ткани в рукавном фильтре (Н/м^2) может быть рассчитана по уравнению

$$\Delta p = \frac{817\mu W(1-m)}{d^2 m^3} \left[0,82 \cdot 10^{-6} d^{0,25} m_T^3 (1-m) h_o^{2/3} + \frac{W\tau z}{\rho} \right], \quad (2.74)$$

где μ – вязкость газа, Н·с/м²; W – скорость газа, рассчитанная на всю площадь ткани (газовая нагрузка), м/с; d – средний размер частиц пыли, м; m – пористость слоя пыли, доли; ρ – плотность пыли, кг/м³; z – запыленность газа, кг/м³; h_o – удельное гидравлическое сопротивление ткани, Н/м².

Гидравлическое сопротивление чистой ткани

$$h'_o = \Delta p / vl, \quad (2.75)$$

где v – воздухопроницаемость чистой ткани, м³/(м²·мин); Δp – гидравлическое сопротивление чистой ткани, мм вод. ст.; l – толщина ткани, мм.

Характеристики некоторых фильтровальных тканей приведены в табл. 2.19–2.22.

Таблица 2.22

Характеристика тканей для пористых фильтров

Ткань	Пористость ткани, доли	Гидравлическое сопротивление	
		Н/м ² ·10 ⁵	мм вод.ст.
Шерсть ЧШ, арт. 21	0,86–0,91	0,84	0,14
Рукавная ЦМ, арт. 83	0,89	1,80	0,30
Нитрон НЦМ	0,83	1,80	0,30
Нитрон 5303	0,77	4,70	0,80
Нитрон термофиксированный	0,72	7,20	1,20
Полифен	0,66	8,80	1,50
Стекловолокно	0,55	27,00	4,50
Четырехремизный сатин из стекла №7	0,49	88,00	14,80

Решение типовых задач

1) С какой газовой нагрузкой можно работать при фильтрации газа запыленностью $z = 1,4 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, если известно, что плотность пыли $\rho = 6400$ кг/м³; дисперсность $d_o = 0,35 \cdot 10^{-6}$ м; пористость слоя пыли $m = 0,94$; температура газа 90 °С; время между регенерациями $\tau = 15$ мин. В фильтре применяются рукава НЦМ с $m_T = 0,83$ и $h_o = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Н/м². Желательно, чтобы сопротивление ткани фильтра составило около $\Delta p = 90$ мм вод. ст. (900 Н/м²).

Решение

По табл. 2.23 определяем, что вязкость газа при 90 °С равна $21,6 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м².

Динамическая вязкость воздуха, мкН·с/м²

T, °C	Вязкость	T, °C	Вязкость	T, °C	Вязкость
-50	14,6	80	20,9	350	31,4
-20	16,3	90	21,6	400	32,8
0	17,1	100	21,7	500	36,1
10	17,7	120	22,7	600	39,2
20	18,2	140	23,5	800	44,4
30	18,7	160	24,1	1000	49,5
40	19,2	180	24,9	1200	53,9
50	19,6	200	25,8	1400	57,5
60	20,1	250	27,8	1600	61,5
70	20,3	300	29,7	1800	65,5

1 Н·с/м² = 10 Пз.

Исходные данные подставляем в уравнение (2.74)

$$900 = \frac{817 \cdot 21,6 \cdot 10^{-6} W \cdot (1 - 0,94)}{(0,35 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,94^3} \left[0,82 \cdot 10^{-6} \cdot (0,35 \cdot 10^{-6})^{0,25} \cdot 0,83^3 \times \right. \\ \left. \times (1 - 0,94) (1,8 \cdot 10^5)^{2/3} + \frac{W \cdot 15 \cdot 60 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}}{6400} \right];$$

$$900 = 10600W(2,18 + 197W).$$

Решая квадратное уравнение

$$197W^2 + 2,18W - 0,0849 = 0,$$

находим, что $W = 0,016$ м/с или 0,96 м/мин.

2) Рассчитайте, через какие промежутки времени следует осуществлять регенерацию рукавного фильтра с фильтровальными рукавами ЦМ, в котором очищают газы вельпечи. Исходные данные: запыленность газов $z = 14 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, скорость фильтрации частиц $W = 0,015$ м/с; плотность пыли $\rho = 5400$ кг/м³; средний размер частиц $d_0 = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м; температура газа $t = 90$ °С; пористость осевшей пыли $m = 0,85$; вязкость газов такая же, как в предыдущей задаче. Сопротивление ткани $\Delta p = 40$ мм вод. ст. (400 Н/м²).

Решение

По данным табл. 2.22 для рукавной ткани ЦМ: $m_\tau = 0,89$ и $h_0 = 1,8 \cdot 10^{-5}$ Н/м². Известные данные подставляем в уравнение (2.74)

$$400 = \frac{817 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 0,015 \cdot (1 - 0,85)}{(1,3 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,85^3} \left[0,82 \cdot 10^{-6} \cdot (1,3 \cdot 10^{-6})^{0,25} \cdot 0,89^3 \times \right. \\ \left. \times (1 - 0,85) (1,8 \cdot 10^5)^{2/3} + \frac{0,015 \cdot 14 \cdot 10^{-3}}{5400} \tau \right];$$

$$400 = 1,515\tau.$$

Отсюда время регенерации

$$\tau = 400/1,515 = 264 \text{ с} \approx 5 \text{ мин.}$$

Задачи

1) Рассчитайте скорость фильтрации газов через рукавный фильтр, если их запыленность $z = 30 \text{ г/м}^3$, вязкость $\mu = 16 \cdot 10^{-6} \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$; температура $t = 160 \text{ }^\circ\text{С}$. Характеристика пыли: плотность 5900 кг/м^3 ; дисперсность $d_0 = 0,42 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; пористость слоя пыли $m = 0,89$. В фильтре применяются рукава из стекловолокна. Время между регенерациями $\tau = 10 \text{ мин}$. Желательно, чтобы сопротивление ткани фильтра составило около $\Delta p = 150 \text{ мм вод.ст.}$

2) Рассчитайте периодичность регенерации рукавного фильтра из нитрона НЦМ, если запыленность газов $z = 5 \text{ г/м}^3$, их температура $t = 130 \text{ }^\circ\text{С}$; плотность пыли $\rho = 5000 \text{ кг/м}^3$; средний размер частиц $d_0 = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; пористость осевшей пыли $m = 0,81$. Сопротивление ткани $\Delta p = 80 \text{ мм вод. ст.}$ Вязкость газов $\mu = 28 \cdot 10^{-6} \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$.

Домашнее задание

1) Определите газовую нагрузку при фильтрации газа запыленностью $z = 20 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ и вязкостью $24 \cdot 10^{-6} \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$; температура которого $t = 80 \text{ }^\circ\text{С}$. Характеристика пыли: $\rho = 4900 \text{ кг/м}^3$; $d_0 = 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $m = 0,96$. В фильтре используются рукава из шерсти. Время между регенерациями 10–20 мин. Сопротивление ткани фильтра $\Delta p = 60 \text{ мм вод.ст.}$

2) Рассчитайте периодичность регенерации рукавного фильтра из полифена при следующих условиях: $z = 10^{-3} \text{ кг/м}^3$; $t = 220 \text{ }^\circ\text{С}$; $\rho = 5300 \text{ кг/м}^3$; $d_0 = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; $m = 0,78$; $\mu = 16 \cdot 10^{-6} \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$; $\Delta p = 60 \text{ мм вод.ст.}$

2.3.3. Расчет абсорбера

Общие положения

Одним из самых распространенных методов очистки отходящих газов от газообразных химических примесей является метод абсорбции, который заключается в растворении газов при промывке их жидкостями. Скорость растворения газа в жидкости зависит от свойств жидкости и газа (табл. 2.24–2.27), способа их соприкосновения, величины поверхности соприкосновения F и степени насыщения жидкости поглощаемым газом.

Количество поглощаемого (растворяемого) вещества

$$G = kF\Delta P_{\text{ср}}t, \quad (2.76)$$

где k – коэффициент абсорбции; t – время соприкосновения, час; $\Delta P_{\text{ср}}$ – движущая сила абсорбции.

Таблица 2.24

Парциальное давление сернистого ангидрида, мм рт. ст.

Концентрация в растворе, %	Температура, °С				
	10	20	30	40	50
10	592	866	–	–	–
6,5	324	482	693	–	–
5	237	353	508	711	–
2	78	117	168	242	341
1	35	54	80	115	158
0,5	12	19	29	42	59
0,2	3,8	6,2	9,6	14	19,7
0,02	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5

Количество поглощаемого вещества G обычно рассчитывают по материальному балансу, а время принимают равным 1 час.

Движущая сила абсорбции равна средней разности концентраций поглощаемого газа в газовой смеси и равновесной концентрации этого компонента в газовой фазе над поглощающим раствором:

$$\text{при прямотоке} \quad \Delta P_{\text{cp}} = \frac{(P'_\Gamma - P''_{\text{ж}}) - (P''_\Gamma - P''_{\text{ж}})}{2,3 \lg \frac{P'_\Gamma - P''_{\text{ж}}}{P''_\Gamma - P''_{\text{ж}}}}, \quad (2.77)$$

$$\text{при противотоке} \quad \Delta P_{\text{cp}} = \frac{(P'_\Gamma - P''_{\text{ж}}) - (P''_\Gamma - P'_{\text{ж}})}{2,3 \lg \frac{P'_\Gamma - P''_{\text{ж}}}{P''_\Gamma - P'_{\text{ж}}}}, \quad (2.77')$$

где P'_Γ, P''_Γ – парциальное давление поглощаемого компонента в газовой фазе на входе и на выходе из аппарата, соответственно; $P'_{\text{ж}}, P''_{\text{ж}}$ – равновесное давление поглощаемого компонента над жидкостью, соответствующее P'_Γ и P''_Γ .

Процесс абсорбции – массопередачи состоит из нескольких стадий, лимитирующей из которых обычно является диффузия через ламинарные слои движущейся жидкости. Ориентировочно значения коэффициента абсорбции массопередачи можно определить по уравнению

$$K = \frac{0,0017 M w^{0,75} (0,0011 T - 0,18)^{0,25}}{(13,7 + \sqrt{M}) d_{\text{эк}}^{0,25}}, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), \quad (2.78)$$

где M – молекулярная масса поглощаемого компонента; w – скорость газа в свободном сечении поглотительного аппарата, см/с; T – температура, К;

$d_{\text{эк}}^{0,25} = \frac{4S_{\text{ж}}}{S_{\text{уд}}}$ – эквивалентный диаметр насадки, равный учетверенному значению

живого сечения насадки ($S_{\text{ж}}$), деленному на удельную ее поверхность ($S_{\text{уд}}$).

Таблица 2.25

Парциальное давление паров HCl над водным раствором, $\times 10^2$ мм рт. ст.

Содержание HCl, %	Температура, °C														
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70		
2	–	–	0,00117	0,0023	0,0044	0,0084	0,0151	0,0275	0,047	0,083	0,140	0,380	1		
4	0,0018	0,0036	0,0069	0,0131	0,024	0,044	0,077	0,134	0,23	0,385	0,64	1,65	4		
6	0,0066	0,0125	0,0234	0,0425	0,076	0,131	0,225	0,38	0,62	1,02	1,63	0,04	9,4		
8	0,0118	0,0323	0,0583	0,0583	0,178	0,31	0,515	0,85	1,38	2,2	3,44	8,1	18,3		
10	0,042	0,075	0,134	0,134	0,395	0,67	1,11	1,78	2,82	4,5	6,9	15,7	35		
12	0,099	0,175	0,305	0,305	0,88	1,45	2,34	3,7	5,8	9,1	13,6	30,5	66		
14	0,24	0,415	0,71	0,71	1,96	3,16	5,0	7,8	12,1	18,5	27,5	60	125		
16	0,56	0,95	1,6	1,6	4,28	6,85	10,6	163	24,7	37,5	55	117	240		
18	1,35	2,25	3,7	3,7	9,5	14,8	22,8	34,5	51,5	77	111	230	455		
20	3,16	5,2	08,4	8,4	20,5	32	48	72	106	155	221	440	850		
22	7,34	11,9	18,7	18,7	45	68	102	150	218	314	442	860	1630		
24	17,5	27,7	43	43	100	149	217	314	450	640	890	1690	3100		
26	41	64	98	98	217	320	456	650	920	1270	1750	3250	5850		
28	100	152	227	227	490	705	990	1380	1910	2640	3570	6400	11200		
30	240	357	523	523	1060	1510	2100	2860	3940	5300	7100	12400	20800		

Таблица 2.26

Упругость паров HF и H₂O над водными растворами плавиковой кислоты при разных температурах, мм рт. ст.

Концентрация HF, мас. %	$t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$		$t = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$				
	P_{HF}	$P_{\text{H}_2\text{O}}$	Концентрация HF, мас. %	P_{HF}	$P_{\text{H}_2\text{O}}$	Концентрация HF, мас. %	P_{HF}	$P_{\text{H}_2\text{O}}$	Концентрация HF, мас. %	P_{HF}	$P_{\text{H}_2\text{O}}$
0	0	23,8	0	0	55,3	0	0	149,4	0	0	289,1
2,0	0,048	23,46	2	0,115	54,1	2,23	0,366	146,9	1,96	0,659	282,4
3,96	0,087	22,88	4,21	0,231	52,5	4,12	0,670	144,6	4,2	1,39	275
6,02	0,131	22,3	6,10	0,343	52,0	6,15	1,03	140,9	6,2	2,14	269,8
9,86	0,256	21,12	10,38	0,651	49,0	9,06	1,71	135,7	9,0	3,42	260,1
12,80	0,380	20,59	12,33	0,83	47,4	12,0	2,42	127,8	11,9	4,91	252,8
14,60	0,452	19,57	14,0	1,07	46,6	15,0	3,39	123,3	15,2	7,2	257
16,80	0,595	18,87	16,8	1,41	43,9	17,9	4,65	116,6	17,45	9,12	228,9
19,88	0,772	17,88	21,0	2,11	40,1	20,9	6,14	109,2	20,9	12,45	203,7
24,90	1,28	15,40	24,12	2,95	37,3	26,5	10,57	95,2	26,7	21,46	183,1
29,0	1,90	13,52	28,9	4,56	32	29,5	13,35	86,2	29,7	27,55	167,0

Скрубберы с насадкой (рис. 2.6) состоят из корпуса с помещенной внутри его насадкой из керамических или фарфоровых колец (рис. 2.7) разных размеров, деревянных реек (рис. 2.8) или кусковых материалов (кварца, кокса и пр.).

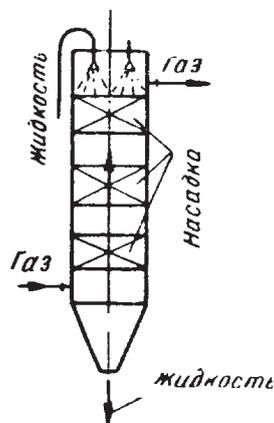


Рис. 2.6. Схема скруббера

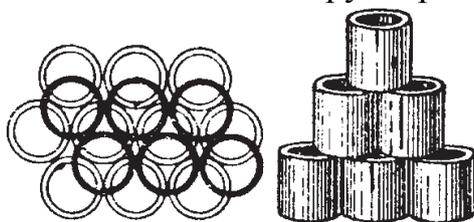


Рис. 2.7. Насадка из керамических колец

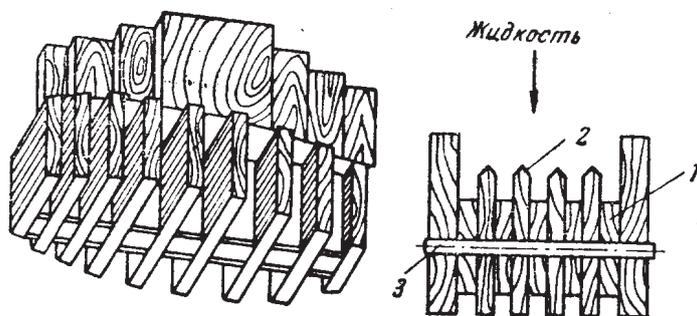


Рис. 2.8. Деревянная реечная (хордовая) насадка:
1 — прокладка; 2 — рейка; 3 — штыри

Мелкие кольца с наружным диаметром до 50 мм обычно загружены навалом, более крупные укладывают правильными рядами.

При нейтральной загрузке и мало агрессивных газах с температурой до 300 °С применяют деревянную насадку, состоящую из реек, уложенных рядами на ребро и отстоящих на некотором расстоянии одна от другой. Толщина реек обычно 5...15 мм, высота — 50...200 мм, расстояние между ними 10...25 мм. Ряды реек смещают на угол 45...90°. Характеристики некоторых видов насадок приведены в табл. 2.27.

Количество жидкости, которое следует подавать на 1 м² сечения скруббера, называемое плотностью орошения, рассчитывается из материального баланса

$$Q(y_1 - y_2) = L(x_1 - x_2). \quad (2.79)$$

Откуда

$$L = Q \frac{(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)}, \quad (2.80)$$

где Q – количество газа, м³/ч; L – количество поглотительной жидкости, м³/ч; x_1, x_2 – концентрация поглощаемого компонента в жидкости, соответственно, начальная и конечная; y_1, y_2 – то же в очищаемом газе.

Расход жидкости зависит от типа насадки и составляет 5...20 м³/ч.

Очищаемые газы в такой аппарат обычно вводят снизу, а выводят сверху, промывную жидкость подают сверху, а выводят через низ аппарата. Скорость прохождения газов через скруббер составляет 1,0...1,5 м/с.

Расчет абсорбера состоит в нахождении его размеров после определения размера поверхности насадки.

Таблица 2.27

Характеристики некоторых видов насадок

Вид насадки и размер ее элементов, мм	Поверхность, м ² /м ³	Свободный объем, доли	Масса 1 м ³ насадки, кг	Коэффициент гидравлического сопротивления (при оптимальном орошении)	Оптимальное орошение 1 м ² сечения скруббера, м ³
Кольца керамические, правильно уложенные					
50×50×5	100	0,73	650	12	18
80×80×8	75	0,72	690	2	13
100×100×10	55	0,72	650	1	9
Кольца керамические, беспорядочно лежащие					
25×25×3	165	0,75	530	–	–
50×50×5	90	0,78	500	–	–
80×80×8	58	0,76	500	–	–
Кокс					
25	120	0,53	600	~200	–
40	85	0,55	590	~60	–
75	42	0,58	550	–	–
Кварц					
25	120	0,37	1600	–	–
40	85	0,43	1450	~80	–
73	42	0,46	1380	~40	–

Решение типовых задач

1) Определить размеры абсорбционного скруббера для очистки $Q_r = 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ газа при нормальных условиях, содержащего фтористый водород.

В исходном газе парциальное давление паров HF равна 5 мм рт. ст. В соответствии с расчетом ПДВ газ требуется очистить на 95 %. Средняя температура газа $t_r = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Для поглощения HF используют раствор соды, содержащий избыток Na_2CO_3 . Определите объем и высоту насадки скруббера из деревянных реек.

Решение

Парциальное давление HF в очищенном газе

$$P_r'' = \frac{5 \text{ мм рт. ст.} \cdot (100\% - 95\%)}{100\%} = 0,25 \text{ мм рт. ст.}$$

Так как поглощение осуществляется насыщенным раствором Na_2CO_3 , то равновесная упругость паров HF над раствором принимается равной нулю:

$$P'_j = P''_j = 0.$$

Движущая сила абсорбции (уравнение 2.77)

$$\Delta P = \frac{P'_r - P''_r}{2,31g \frac{P'_r}{P''_r}} = \frac{5 - 0,25}{2,31g \frac{5}{0,25}} = 1,6 \text{ мм рт. ст.}$$

Требуется поглотить HF при нормальных условиях

$$G = \frac{Q_r (P'_r - P''_r)}{P_{ат}} = \frac{10000 \cdot (5 - 0,25)}{760} = 62,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

или

$$G = \frac{62,5 \cdot 20}{22,4} = 56 \text{ кг/ч,}$$

где $M = 20$ – молекулярная масса HF.

Для изготовления насадок используются деревянные рейки толщиной 10 мм, находящиеся в горизонтальном положении на расстоянии 30 мм (по осям) одна над другой, т.е. с зазором 20 мм. В вертикальном направлении ряды реек уложены один на другой

Свободное сечение насадки

$$S_j = \frac{20}{30} = 0,67.$$

При длине рейки 1 м в 1 м^2 сечения можно уложить таких реек

$$n = \frac{1000}{30} \approx 33 \text{ шт/м}^3.$$

Поверхность 1 м^3 насадки

$$S_{\text{уд}} = 2 \cdot 1 \frac{\text{м}^2}{\text{шт}} \cdot 33 \frac{\text{шт}}{\text{м}^3} = 66 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} \text{ насадки,}$$

так как каждая рейка имеет две боковые поверхности.

Принимаем скорость прохождения газа через скруббер равной 1 м/с с расчетом на все сечения скруббера. Тогда площадь сечения скруббера

$$S_{\text{скр}} = \frac{Q_{\text{г}}(T + t_{\text{г}})}{3600 \cdot T w_{\text{г}}} = \frac{10000 \cdot (273 + 40)}{3600 \cdot 273 \cdot 1} = 3,18 \text{ м}^2.$$

Диаметр скруббера

$$d_{\text{скр}} = \sqrt{\frac{4S_{\text{скр}}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,18}{3,14}} \cong 2 \text{ м.}$$

Скорость газа в свободном сечении насадки

$$w'_{\text{г}} = \frac{1 \text{ м/с}}{0,67} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Эквивалентный диаметр

$$d_{\text{эк}} = \frac{4S_{\text{ж}}}{S_{\text{уд}}} = \frac{4 \cdot 0,67}{66} = 0,04 \text{ м} = 4 \text{ см.}$$

Коэффициент абсорбции

$$K = \frac{0,0017 M w^{0,75} (0,0011 T - 0,18)^{0,25}}{(13,7 + \sqrt{M}) d_{\text{эк}}^{0,25}} =$$

$$= \frac{0,0017 \cdot 20 \cdot 150^{0,75} [0,0011 \cdot (273 + 40) - 0,18]^{0,25}}{(13,7 + \sqrt{20}) 4^{0,25}} = 0,036 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт.ст}).$$

Требуемая поверхность абсорбции (ур. 2.76)

$$F = \frac{G}{K \Delta P} = \frac{56 \text{ кг/ч}}{0,036 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{мм рт.ст.}} \cdot 1,6 \text{ мм рт.ст.}} = 972 \text{ м}^2$$

Объем насадки $V_{\text{нас}} = \frac{F}{S_{\text{уд}}} = \frac{972 \text{ м}^2}{66 \text{ м}^2/\text{м}^3} = 14,7 \text{ м}^3.$

Высота насадки $H = \frac{V_{\text{нас}}}{S_{\text{нас}}} = \frac{14,7 \text{ м}^3}{3,14 \cdot 2^2 / 4 \text{ м}^2} = 4,7 \text{ м.}$

2) Газ, содержащий 16 об% фтористого водорода, промывают раствором плавиковой кислоты с температурой на входе в промыватель 40 °С, а на выходе из него 60 °С. Концентрация кислоты, подаваемой на орошение, составляет 21 %, а вытекающей 24 %. В поглотителе из очищенного газа улавливают 80 % HF.

Определите движущую силу абсорбции при противотоке и прямотоке, если общее давление газа равно 101325 Па (760 мм рт.ст.).

Решение

Парциальное давление HF в газе, поступающем на очистку,

$$P'_r = 101325 \cdot 0,16 = 16212 \text{ Па} = 121,6 \text{ мм рт.ст.}$$

Парциальное давление HF в выходящем газе определим, обозначив объем исходного газа через V . Тогда

$$C_{\text{HF}} = \frac{0,16V \cdot 0,2}{0,84V + 0,16V \cdot 0,2} 100\% = \frac{0,032}{0,872} 100\% = 3,67\%.$$

Давление паров HF

$$P''_r = \frac{3,67 \cdot 101325}{100} = 3719 \text{ Па (27,9 мм рт.ст.)}$$

По табл. 2.26 найдем, что упругость паров HF над 21 %-ной кислотой при 40 °С равна 282 Па (2,11 мм рт. ст.), над 24 %-ной при 60 °С – 1150 Па (8,6 мм рт.ст.).

Движущая сила абсорбции – массопередачи:

при противотоке

$$\Delta P_{\text{прот}} = \frac{(16212 - 1150) - (3719 - 282)}{2,3 \lg \frac{16212 - 1150}{3719 - 282}} = 7876 \text{ Па (59 мм рт.ст.)};$$

при прямотоке

$$\Delta P_{\text{прям}} = \frac{(16212 - 282) - (3719 - 1150)}{2,3 \lg \frac{16212 - 282}{3719 - 1150}} = 7329 \text{ Па (55 мм рт.ст.)}$$

Задачи

1) Определите коэффициент абсорбции – массопередачи SO_2 в моногидрате серной кислоты, если эквивалентный диаметр насадки $d_{\text{эк}} = 50$ мм, скорость газа в живом сечении насадки $w_r = 1$ м/с, средняя температура газа $t_r = 50$ °С.

2) Соляная кислота является товарным продуктом, если она содержит не менее 27 % HCl. Определите для ресурсосберегающего производства минимальную концентрацию HCl в очищаемом газе при поглощении водой, с тем, чтобы продукт был кондиционен. Температура жидкости и газа в процессе поглощения не изменяется и составляет 40 °С.

3) Определить размеры абсорбционного скруббера для очистки 14000 м³/ч газа при нормальных условиях, содержащего 5 % HCl. Требуемая степень очистки газа 97 %. Средняя температура 40 °С. Поглотительной жидкостью является 20 % раствор соляной кислоты. Определите объем и высоту насадки скруббера из керамических колец.

Домашнее задание

Определите размеры абсорбционного скруббера для очистки 50000 м³/ч газа, содержащего 10 % сернистого ангидрида. Степень очистки

70 %. Концентрация кислоты, подаваемой на орошение, составляет 0,2 % на входе и 0,5 % на выходе из аппарата, ее температура 50 °С. Все остальные исходные данные взять из задачи 1. Насадка скруббера выполнена из керамических колец. Скруббер работает на принципе противотока.

Раздел 3. Ресурсосбережение в промышленности

3.1. Расчет количества вторичных энергетических ресурсов при использовании котла-утилизатора

Общие положения

Котлы-утилизаторы предназначены для получения бестопливного пара за счет использования тепла уходящих газов. Котлы-утилизаторы подразделяются на радиационные, радиационно-конвективные и конвективные. Котлы первых двух типов используются в конвертерном производстве стали.

Котлы-утилизаторы стандартизированы. Цифра в маркировке котла обозначает объем газов, проходящих через котел, в тысячах куб.м. Котлы-утилизаторы выбирают по каталогам и делают проверочный расчет для определения пригодности его для данной задачи, определения паропроизводительности и температуры перегретого пара.

Выбор типа котла-утилизатора производится по количеству печных газов с учетом подсоса 15...20% воздуха (табл.3.1, 3.2). Размер труб всех змеевиков обычно составляет 26 мм внутренний и 32 мм внешний диаметр.

Производительность котла-утилизатора

$$P = 3,4 \cdot \frac{Q}{\Delta i}, \quad (3.1)$$

где Q – количество тепла, отдаваемое дымовыми газами, кВт;

Δi – количество тепла, воспринятое в котле 1 кг воды, кДж/кг;

$$Q = V_{\text{ог}} (i_0 - i_{\text{yx}} + i_{\text{под}}). \quad (3.2)$$

Здесь $V_{\text{ог}}$ – объем дымовых газов (с учетом подсоса воздуха), м³/с; $i_0, i_{\text{yx}}, i_{\text{под}}$ – энтальпия газов (перед и после котла-утилизатора) и подсоса воздуха, кДж/м³.

$$\Delta i = i_{\text{nn}} - i_{\text{нг}} + i_{\text{прод}} = i_{\text{nn}} - i_{\text{нг}} + 0,01\beta \cdot (i'_n - i_{\text{нг}}), \quad \text{кДж/кг}, \quad (3.3)$$

где $i_{\text{nn}}, i_{\text{нг}}, i'_n, i_{\text{прод}}$ – энтальпия перегретого пара, питательной воды, воды при температуре кипения и количества тепла продувки, кДж/м³; β – процент продувки.

Энтальпию воды и пара определяют по данным табл. 3.3, 3.4.

Принципиальная схема котла-утилизатора показана на рис.3.1, 3.2.

Таблица 3.1

Технические характеристики котлов-утилизаторов

Параметр	Тип котла				
	КУ-50	КУ-60-2	КУ-80-3	КУ-100-1	КУ-125
Количество дымовых газов перед котлом, тыс. м ³ /ч	50	60	80	100	120
Расчетная температура газов, °С: перед котлом уходящих	600	650	650	650	650
	210	210	210	210	210
Рабочее давление пара, кН/м ²	1800	1800	1800	1800	1800
		4500	4500	4500	4500
Температура пара, °С	375	340	340	340	340
		370*	370*	370*	370*
Расчетная паропроизводительность, т/ч	9,0	13,2	17,8	22,4	28,2
Поверхность нагрева, м ² : общая пароперегревателя испарительной поверхности водяного экономайзера предвключенного пакета	728	903	1201	1550	2029
	62	70	87	110	144
	511	540	684	895	1150
	155	247	370	460	615
	–	46	60	85	110
Внутренний диаметр барабана, мм	1508	1508	1508	1508	1508
Живое сечение для пара (воды), м ² : пароперегревателя испарительных секций: 1 2 3 4 экономайзера	0,0182	0,0318*	0,0404*	0,0425*	0,0552*
		0,0159	0,0202	0,0212	0,0276
	0,0385	0,0148	0,0192	0,0212	0,0276
	0,0385	0,0318	0,0404	0,0425	0,0552
	0,0385	0,0318	0,0404	0,0425	0,0552
	0,0385	–	0,0404	0,0425	0,0552
0,0385	0,0085	0,0127	0,0127	0,0170	
Живое сечение для дымовых газов, м ² : пароперегревателя испарительных секций: 1 2 3 4 экономайзера	4,1	5,06	6,34	8,04	10,3
	4,1	7,0	8,63	10,8	13,2
	4,1	5,06	6,34	8,04	10,3
	4,1	4,63	6,34	7,35	10,3
	4,1	–	5,77	7,35	10,3
	4,1	4,55	6,36	7,67	9,4
Число рядов труб по ходу потока: пароперегревателя испарительных секций: 1 2 3 4 экономайзера	8	8	8	8	8
	16	12	12	12	12
	16	22	20	22	20
	16	20	22	22	22
	16	–	22	22	22
	20	2×20	2×20	2×20	2×20
Шаг труб по ширине пучка, мм: испарительная секция остальные	80	172	172	172	172
	80	86	86	86	86
Шаг труб по глубине пучка, мм	65	70	70	70	70

* – Числитель – для давления 1800, знаменатель – для давления 4500 кН/м².

Котел-утилизатор состоит из нескольких (обычно 4) испарительных секций и пароперегревателя. Температурой в конце каждой секции задаются и проверяют расчетом.

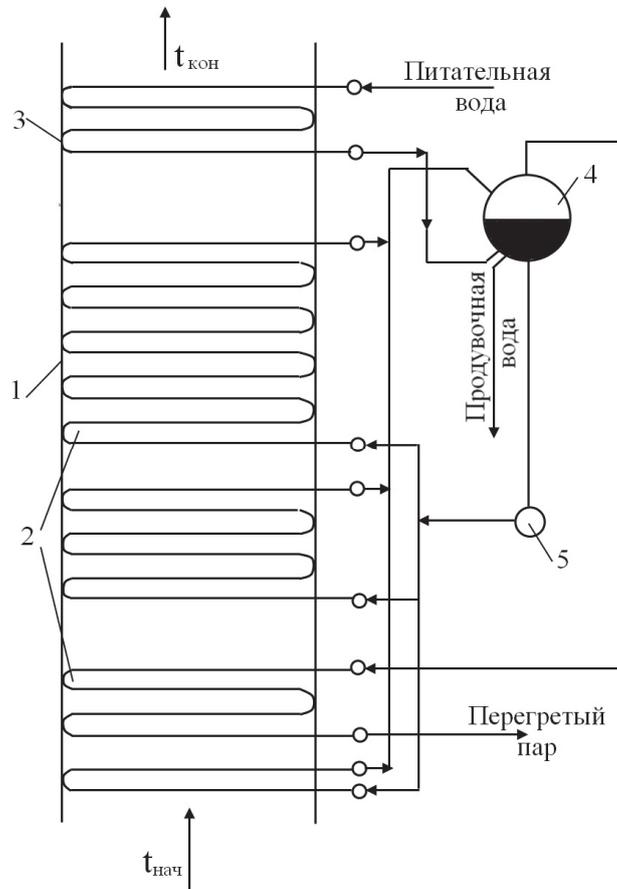


Рис. 3.1 Принципиальная схема котла-утилизатора:
 1 – пароперегреватель; 2 – испарительные секции;
 3 – водяной экономайзер; 4 – барабан котла; 5 – насос

Температура стенок труб принимается равной средней температуре наружного слоя золовых отложений

$$t_{cm} = 0,5 \cdot (t_g^H + t_g^K) + \varepsilon_1 \cdot \frac{Q'_c}{F}, \quad (3.4)$$

где $\varepsilon_1 = 0,005 \dots 0,01$ – коэффициент загрязнения, $\text{м}^2 \cdot \text{град}/\text{Вт}$;

$Q'_c = V_{\text{ог}} \cdot (i_{\text{ог}}^H - i_{\text{ог}}^K)$, кВт – ориентировочное количество тепла, отданное дымовыми газами в данной секции; $i_{\text{ог}}^H, i_{\text{ог}}^K$ – энтальпия дымовых газов на входе и выходе, $\text{кДж}/\text{м}^3$; F - поверхность секции, м^2 ; t_g^H, t_g^K – температура воды (пара) на входе и выходе секции, $^{\circ}\text{C}$.

Средняя температура дымовых газов

$$t_{\text{ог}} = 0,5 \cdot (t_g^H + t_g^K) + \Delta t, \quad (3.5)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_H - \Delta t_K}{2,31g \frac{\Delta t_H}{\Delta t_K}}, \quad (3.6)$$

где Δt – средняя разность температур между дымом и водой.

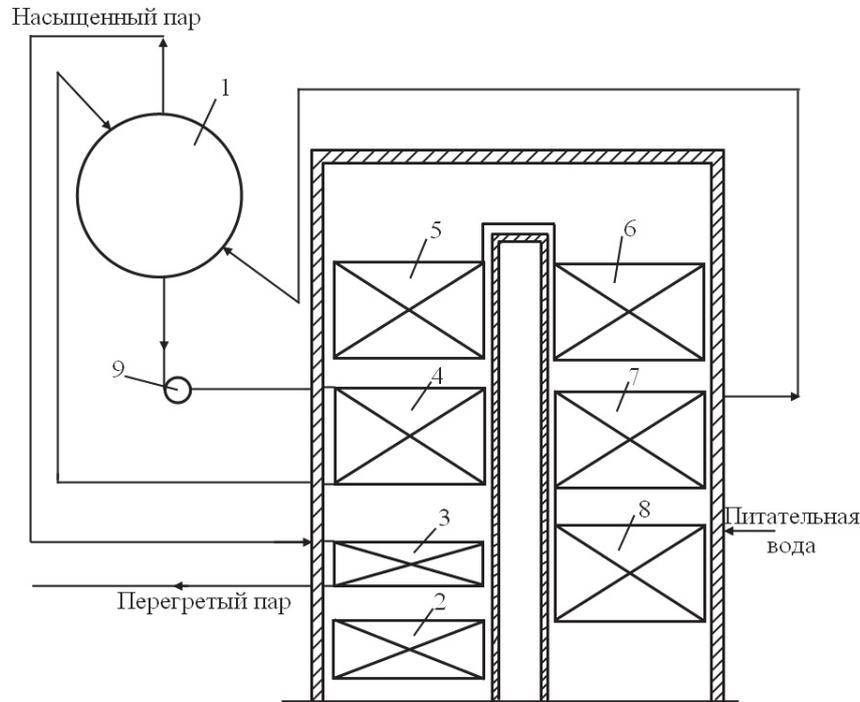


Рис. 3.2 Схема продольного разреза котла-утилизатора П-образной компоновки:

- 1 – барабан; 2, 4, 5, 6 – секции испарительной поверхности;
3 – пароперегреватель; 7, 8 – экономайзер; 9 – насос.

Разности температур горячего и холодного теплоносителя на входе в теплообменник, °С:

$$\Delta t_H = t_\delta^H - t_\epsilon^K; \Delta t_K = t_\delta^K - t_\epsilon^H - \text{для противотока};$$

$$\Delta t_H = t_\delta^H - t_\epsilon^H; \Delta t_K = t_\delta^K - t_\epsilon^K - \text{для прямотока.}$$

Для испарительной секции температура насыщения воды при давлении в барабане, °С (табл.3.3, 3.4)

$$t_\epsilon^H = t_\epsilon^K = t'$$

Средний коэффициент теплоотдачи от дымовых газов к воде (пару)

$$k = \frac{\alpha_\Sigma}{1 + \epsilon_1 \cdot \alpha_\Sigma} = \frac{\alpha^{\text{изл}} + \alpha^{\text{конв}}}{1 + \epsilon_1 \cdot (\alpha^{\text{изл}} + \alpha^{\text{конв}})}, \quad (3.7)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К).

При расчетах рекомендуется принимать:

- * скорость движения дымовых газов – 7...12 м/с;
- * скорость движения воды на входе в экономайзер – 0,5...0,8 м/с;
- * скорость движения пара в пароперегревателе – 15...30 м/с.

Решение типовой задачи

Произвести тепловой расчет котла-утилизатора, установленного за дуговой электросталеплавильной печью. Объем дымовых газов $V_{\circ} = 85000 \text{ м}^3/\text{ч}$; $t_{\circ}^{\text{н}} = 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (при входе в котел). Состав дымовых газов, %: $\text{CO}_2 - 12$; $\text{H}_2\text{O} - 10,5$; $\text{O}_2 - 5,5$; $\text{N}_2 - 72$. Подсос воздуха в газоходах котла-утилизатора $V_{\text{под}} = 0,05V$; $t_{\text{возд}} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Давление пара после пароперегревателя $P_{\text{n}} = 1900 \text{ кН/м}^2$, $t_{\text{пара}} = 376 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Коэффициент сохранения тепла $\phi = 95\%$; процент продувки $\beta = 8$. Котел-утилизатор работает без предвключенной испарительной секции.

Решение

По табл. 3.1, 3.2 выбираем КУ-80-3.

Для упрощения расчета принимаем расчетное количество дымовых газов, проходящих через котел, равным

$$\bar{V}_{\circ} = V_{\circ} + \frac{V_{\text{под}}}{2} = 85000 + \frac{0,05 \cdot 85000}{2} = 87120 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ (} 24,2 \text{ м}^3/\text{с} \text{)}.$$

Расчет пароперегревателя

Принимаем температуру дымовых газов за перегревателем $t_{\circ}^{\text{к}} = 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Учитывая, что температура дыма перед котлом $t_{\circ}^{\text{н}} = 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температура перегретого пара $t_{\text{n.n}} = 376 \text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура пара в барабане при давлении 1900 кН/м^2 (19 ат) (табл.3.3) равна $t' = 209 \text{ }^{\circ}\text{C}$, по уравнению (3.6) для противоточной схемы движения (рис.3.2) находим температурный напор

$$\Delta \bar{t} = \frac{(650 - 376) - (600 - 209)}{2,3 \cdot \lg \frac{650 - 376}{600 - 209}} = 331 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Температура газового потока, уравнение (3.5)

$$\bar{t}_{\circ} = 0,5 \cdot (t_{\text{n.n}} + t') + \Delta \bar{t} = 0,5 \cdot (376 + 209) + 331 = 623 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Объемный расход дымовых газов через пароперегреватель

$$V_{\circ} = \bar{V}_{\circ} \cdot \frac{\bar{t} + 273}{273} = 24,2 \cdot \frac{623 + 273}{273} = 79,5 \text{ м}^3/\text{с},$$

их средняя скорость

$$\omega_{\circ} = V_{\circ} / f_{\circ} = 79,5 / 6,34 = 12,5 \text{ м/с}.$$

Живое сечение для дымовых газов f_{\circ} принято по данным табл.3.1.

Таблица 3.2

Техническая характеристика водотрубных конвективных котлов–утилизаторов

Показатель	Тип котлов–утилизаторов																						
	КУ-40		КУ-60		КУ-80		КУ-100		КУ-100Б		КУ-125		КУ-150										
Производительность, т/ч	12,9	13,0	19,0	12,8	19,9	13,8	25,8	17,3	26,9	18,4	32,6	21,8	33,9	23,2	32,5	22,3	40,8	27,4	42,4	29,4	50,5		
Давление перегретого пара, МПа	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5	1,8	4,5		
Температура, °С: перегретого пара газов на входе газов на выходе	385	375	392	370	336	340	385	365	358	336	382	363	360	339	395	368	385	365	365	341	393		
Расход газов через котел, м ³ /ч	40000	60000	80000	100000	125000	150000	175000	200000	225000	250000	275000	300000	325000	350000	375000	400000	425000	450000	475000	500000	525000		
Сопроотивление газового тракта, кПа	1,17	1,15	1,10	1,24	1,19	1,20	1,14	1,10	1,19	1,19	1,20	1,14	1,14	1,10	1,10	1,15	1,10	1,10	1,10	1,10	1,2		
Поверхность нагрева, м ² : испарительного пакета 1 пароперевателя испарительных пакетов – 2 – 3 – 4 экономайзера всего котла	32	43	46	70	173	192	175	247	60	87	219	244	221	370	1201	903	46	70	173	192	175	247	600
Габаритные размеры, м длина ширина высота	11,5	5,2	11,3	7,3	11,3	8,0	11,3	8,0	11,3	8,0	11,3	8,0	11,3	8,0	11,3	8,0	11,3	8,0	11,3	8,0	11,3	8,0	11,3

Таблица 3.3

Параметры насыщенного водяного пара

Давление, МПа	Температура кипения, °С	Энтальпия, кДж/кг	
		кипящей воды	насыщенного пара
0,10	99,64	417,4	2675
0,11	102,32	428,9	2679
0,12	104,81	439,4	2683
0,13	107,14	449,2	2687
0,14	109,33	458,5	2690
0,15	111,38	467,2	2693
0,16	113,32	475,4	2696
0,17	115,17	483,2	2699
0,18	116,94	490,7	2702
0,19	118,62	497,9	2704
0,20	120,23	504,8	2707
0,21	121,78	511,4	2709
0,22	123,27	517,8	2711
0,23	124,71	524,0	2713
0,24	126,09	529,8	2715
0,25	127,43	535,4	2717
0,26	128,73	540,9	2719
0,27	129,98	546,2	2721
0,28	131,20	551,4	2722
0,29	132,39	556,5	2724
0,30	133,53	561,4	2725
0,31	134,66	566,3	2727
0,32	135,75	571,1	2728
0,33	136,82	575,7	2730
0,34	137,86	580,2	2731
0,35	138,88	584,5	2732
0,36	138,87	588,7	2734
0,37	140,84	592,8	2735
0,38	141,79	596,8	2736
0,39	142,71	600,8	2737
0,40	143,62	604,7	2738
0,41	144,51	608,5	2740
0,42	145,39	612,3	2741
0,43	146,25	616,1	2742
0,44	147,09	619,8	2743
0,45	147,92	623,4	2744
0,50	151,84	640,1	2749
0,60	158,84	670,5	2757
0,70	164,96	697,2	2764
0,80	170,42	720,9	2769
0,90	175,35	742,8	2774
1,00	179,88	762,7	2778

Окончание табл. 3.3

Давление, МПа	Температура кипения, °С	Энтальпия, кДж/кг	
		кипящей воды	сухого насыщенного пара
1,1	184,05	781,1	2781
1,2	187,95	798,3	2785
1,3	191,60	814,5	2787
1,4	195,04	830,0	2790
1,5	198,27	844,6	2792
1,6	201,36	858,3	2793
1,7	204,30	871,6	2795
1,8	207,10	884,4	2796
1,9	209,78	896,6	2798
2,0	212,37	908,5	2799
2,1	214,84	919,8	2800
2,2	217,24	930,9	2801
2,3	219,55	941,5	2801
2,4	221,77	951,8	2802
2,5	223,93	961,8	2802
2,6	226,03	971,7	2803
2,7	228,06	981,3	2803
2,8	230,04	990,4	2803
2,9	231,96	999,4	2803
3,0	233,83	1008,3	2803
3,2	237,44	1025,3	2803
3,4	240,88	1041,9	2803
3,6	244,16	1057,3	2802
3,8	247,31	1072,7	2802
4,0	250,33	1087,5	2801
4,2	253,24	1101,7	2800
4,4	256,05	1115,3	2798
4,6	258,75	1128,8	2797
4,8	261,37	1141,8	2796
5,0	263,91	1154,4	2794

Таблица 3.4

Энтальпии воды и перегретого водяного пара, кДж/кг

Дав- ле- ние, МПа	Т е м п е р а т у р а, °С																				
	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500
0,10	2676	2717	2757	2796	2835	2875	2914	2954	2993	3033	3074	3114	3155	3195	3236	3278	3319	3361	3403	3446	3488
0,16	419	2711	2752	2792	2832	2872	2912	2951	2991	3031	3071	3112	3153	3194	3235	3277	3318	3360	3402	3445	3488
0,20	419	503	2790	2790	2830	2870	2910	2956	2990	3030	3071	3111	3153	3194	3235	3276	3318	3360	3402	3445	3487
0,30	419	503	2740	2783	2824	2864	2905	2946	2986	3027	3068	3109	3150	3192	3233	3275	3317	3359	3401	3444	3487
0,40	419	503	589	2776	2818	2859	2900	2941	2982	3023	3065	3106	3148	3190	3231	3273	3315	3358	3400	3443	3487
0,50	419	503	589	2767	2812	2854	2896	2937	2979	3020	3062	3104	3146	3188	3230	3272	3314	3356	3398	3441	3484
0,60	419	503	589	2759	2805	2849	2891	2931	2975	3017	3059	3101	3143	3185	3228	3270	3312	3355	3397	3440	3483
0,70	419	503	589	675	2799	2844	2887	2929	2972	3014	3056	3099	3141	3183	3226	3268	3311	3353	3396	3439	3482
0,80	419	503	589	675	2792	2839	2926	2969	2969	3011	3054	3096	3139	3181	3224	3267	3309	3352	3395	3437	3481
0,90	419	503	589	675	2785	2833	2878	2922	2965	3008	3051	3093	3136	3179	3222	3265	3308	3351	3393	3436	3480
1,00	419	503	589	675	2778	2827	2874	2918	2962	3005	3048	3091	3134	3177	3220	3263	3306	3349	3392	3435	3479
1,20	419	503	589	675	763	2816	2865	2911	2955	2999	3042	3086	3129	3173	3216	3260	3302	3346	3390	3433	3477
1,40	420	504	589	675	763	2803	2855	2902	2942	2992	3034	3080	3125	3169	3213	3256	3300	3344	3387	3431	3474
1,60	420	504	589	675	763	852	2844	2893	2940	2986	3030	3075	3120	3164	3209	3253	3297	3341	3384	3428	3472
1,80	420	504	589	675	763	852	2833	2884	2932	2979	3025	3071	3116	3160	3205	3249	3294	3338	3381	3425	3470
2,00	420	504	589	675	763	852	2721	2875	2924	2872	3019	3065	3111	3156	3201	3246	3291	3335	3379	3422	3468
3,00	421	505	590	676	763	852	913	2823	2882	2937	2988	3038	3087	3135	3182	3229	3275	3321	3366	3411	3456
4,00	422	506	591	677	764	853	943	1037	2834	2898	2955	3010	3062	3113	3162	3211	3259	4406	3353	3399	3445
5,00	423	506	591	677	764	853	944	1037	1135	2854	2920	2980	3036	3090	3142	3193	3242	3291	3339	3386	3433

Примечание. Числа, расположенные ниже ступенчатой линии, соответствуют энтальпии воды, выше – энтальпии перегретого пара.

По номограмме на рис.3.3 находим коэффициент теплоотдачи конвекцией от дымовых газов к шахматному пучку труб $\varnothing 32$ мм – $\alpha_0 = 90 \text{ Вт}/(\text{м}^2/\text{К})$. Используя табл.3.1, находим

$$S_1/d = 86/32 = 2,68; \quad S_2/d = 70/32 = 2,19;$$

число продольных рядов $z_2 = 8$. По данным рис.3.3:

$k_z = 0,95$; $k_s = 1,08$; $k_t = 1,0$. Тогда

$$\alpha^{\text{конв}} = 90 \cdot 0,95 \cdot 1,08 \cdot 1,0 = 92,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Здесь: k_t – поправка, учитывающая $t_{\text{среды}}$ и содержания в ней H_2O ;

k_s – поправка, учитывающая взаимное влияние труб;

k_z – поправка, учитывающая число рядов труб в пучке по ходу газа.

Эффективная толщина излучающего газового слоя $S_{\text{эф}}$ определяется по данным табл.3.5. Так как

$$(S_1 + S_2)/d = (86 + 70)/32 < 7,$$

то эффективную толщину излучающего газового слоя находим по соответствующему уравнению в табл.3.5

$$\begin{aligned} S_{\text{эф}} &= \left(1,87 \cdot \frac{S_1 + S_2}{d} - 4,1 \right) \cdot d = \\ &= \left(1,87 \cdot \frac{156}{32} - 4,1 \right) \cdot 0,032 = 0,161 \text{ м} \end{aligned}$$

Произведение парциального давления на эффективную длину луча:

$$p_{\text{CO}_2} S_{\text{эф}} = 98,1 \cdot 0,12 \cdot 0,161 = 1,89 \text{ кН/м};$$

$$p_{\text{H}_2\text{O}} S_{\text{эф}} = 98,1 \cdot 0,105 \cdot 0,161 = 1,66 \text{ кН/м}.$$

Здесь: 98,1 – коэффициент пересчета из атм в кН; 0,12 – доля CO_2 ; 0,105 – доля H_2O .

По номограммам на рис.3.5...3.7 находим степень черноты газов при $\bar{t}_\theta = 623 \text{ }^\circ\text{C}$ и поправочный коэффициент β .

$$\epsilon_{\text{CO}_2} = 0,061; \quad \epsilon'_{\text{H}_2\text{O}} = 0,038; \quad \beta = 1,08;$$

Степень черноты дымовых газов

$$\epsilon_\theta = \epsilon_{\text{CO}_2} + \beta \cdot \epsilon'_{\text{H}_2\text{O}} = 0,061 + 1,08 \cdot 0,038 = 0,102.$$

Энтальпию ($\text{кДж}/\text{м}^3$) дымовых газов при $t_\theta^* = 600 \text{ }^\circ\text{C}$ находим по табл.3.6

$$i_{\text{CO}_2} = 0,12 \cdot 1236,76 = 148,2;$$

$$i_{\text{H}_2\text{O}} = 0,105 \cdot 964,68 = 101,2;$$

$$i_{\text{O}_2} = 0,055 \cdot 851,64 = 47,3;$$

$$i_{\text{N}_2} = 0,72 \cdot 805,06 = 590,0;$$

$$\underline{i_\theta^* = 886,7 \text{ кДж}/\text{м}^3.}$$

Таблица 3.5

Эффективная длина луча в системе труб

Расположение труб	Расстояние между поверхностями труб	$S_{эф}$
Шахматное то же то же то же	$S_1 = S_2 = d$	$2,8d$
	$S_1 = S_2 = 2d$	$3,8d$
	$S_1 + S_2 \leq 7d$	$(1,87 \frac{S_1 + S_2}{d} - 4,1)d$
	$S_1 + S_2 > 7d$	$(2,87 \frac{S_1 + S_2}{d} - 10,6)d$
Коридорное	$S_1 = S_2 = d$	$3,5d$

То же при $t'_o = 650 \text{ }^\circ\text{C}$ (табл.3.6)

$$i'_o = 0,12 \cdot 1356,09 + 0,105 \cdot 1054,16 + 0,055 \cdot 928,44 + \\ + 0,72 \cdot 875,56 = 942 \text{ кДж/м}^3.$$

Ориентировочно определяем количество тепла, отдаваемое дымовыми газами Q'_c (уравнение 3.2),

$$Q'_c = \bar{V}_o \cdot (i'_o - i'_o^k) = 24,2 \cdot (942 - 886,7) \cdot 10^3 = 1350 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Средняя температура стенок труб (уравнение 3.4)

$$\bar{t}_{cm} = 0,5 \cdot (t_{n,n} + t') + \epsilon_1 \frac{Q'_c}{F} = \\ = 0,5(376 + 209) + 0,005 \frac{1350 \cdot 10^3}{87} = 369,5 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Поверхность нагрева пароперегревателя $F = 87 \text{ м}^2$ берется из табл.3.1.

Степень черноты стенок труб $\epsilon_{ст} = 0,8$.

Эффективная степень черноты стенок труб

$$\epsilon_{ст.эф.} = (1 + \epsilon_{эф.}) / 2 = 0,9.$$

Степень черноты газов при температуре стенки трубы

$$\epsilon_o^{ст} = \epsilon_{CO_2} \cdot (T_r / T_{ст})^{0,65} + \beta \cdot \epsilon'_{H_2O} = \\ = 0,061 \cdot \left(\frac{623 + 273}{369,5 + 273} \right)^{0,65} + 1,08 \cdot 0,038 = 0,117.$$

Коэффициент теплоотдачи излучением

$$\alpha_{изл} = \frac{C_0 \cdot \epsilon_{ст.эф.} \cdot \left[\epsilon_r \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 - \epsilon_o^{ст} \left(\frac{T_{ст}}{100} \right)^4 \right]}{T_r - T_{ст}} =$$

$$= \frac{5,7 \cdot 0,9 \left[0,102 \left(\frac{623 + 273}{100} \right)^4 - 0,117 \left(\frac{369,5 + 273}{100} \right)^4 \right]}{623 - 369,5} = 10,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

где $C_0 = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – коэффициент излучения абсолютно черного тела.

Суммарный коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha^{\text{конв}} + \alpha^{\text{изл}} = 92,3 + 10,8 = 103,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Средний коэффициент теплопередачи (уравнение 3.7)

$$K = \frac{\alpha_{\Sigma}}{1 + \varepsilon_1 \alpha_{\Sigma}} = \frac{103,1}{1 + 0,005 \cdot 103,1} = 68,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Количество тепла, воспринятое поверхностью пароперегревателя от 1 м^3 дыма

$$Q_c = \frac{FK\Delta\bar{t}}{\bar{V}_{\partial 0}} = \frac{87 \cdot 68,3 \cdot 331}{24,2} = 81 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{м}^3 = 81 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Энтальпия дымовых газов на выходе из пароперегревателя (уравнение 3.3)

$$i_{\partial}^{\text{к}} = i_0 - \frac{Q_c}{\phi} + i_{\text{нод}} = 942 - \frac{81}{0,9} + 39,6 = 890,6 \text{ кДж}/\text{м}^3,$$

где $i_{\text{нод}}$ – энтальпия подсосанного воздуха при $t = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл.3.6)

Таким образом, $i_{600} < i_{\partial}^{\text{к}} < i_{650}$, и температура дыма на выходе из пароперегревателя

$$\begin{aligned} t_{\partial}^{\text{к}} &= t_{\partial}^{\text{н}} + \frac{i_{\partial}^{\text{к}} - i_{\partial}^{600}}{i_{\partial}^{650} - i_{\partial}^{600}} (650 - 600) = \\ &= 600 + \frac{890,6 - 886,4}{942,0 - 886,7} \cdot 50 = 603,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\text{Расхождение} \quad \frac{603,8 - 600}{600} \cdot 100\% = 0,6\%,$$

т.е. практически совпадает со значением температуры уходящих газов, принятым в начале расчета ($t_{\partial}^{\text{к}} = 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

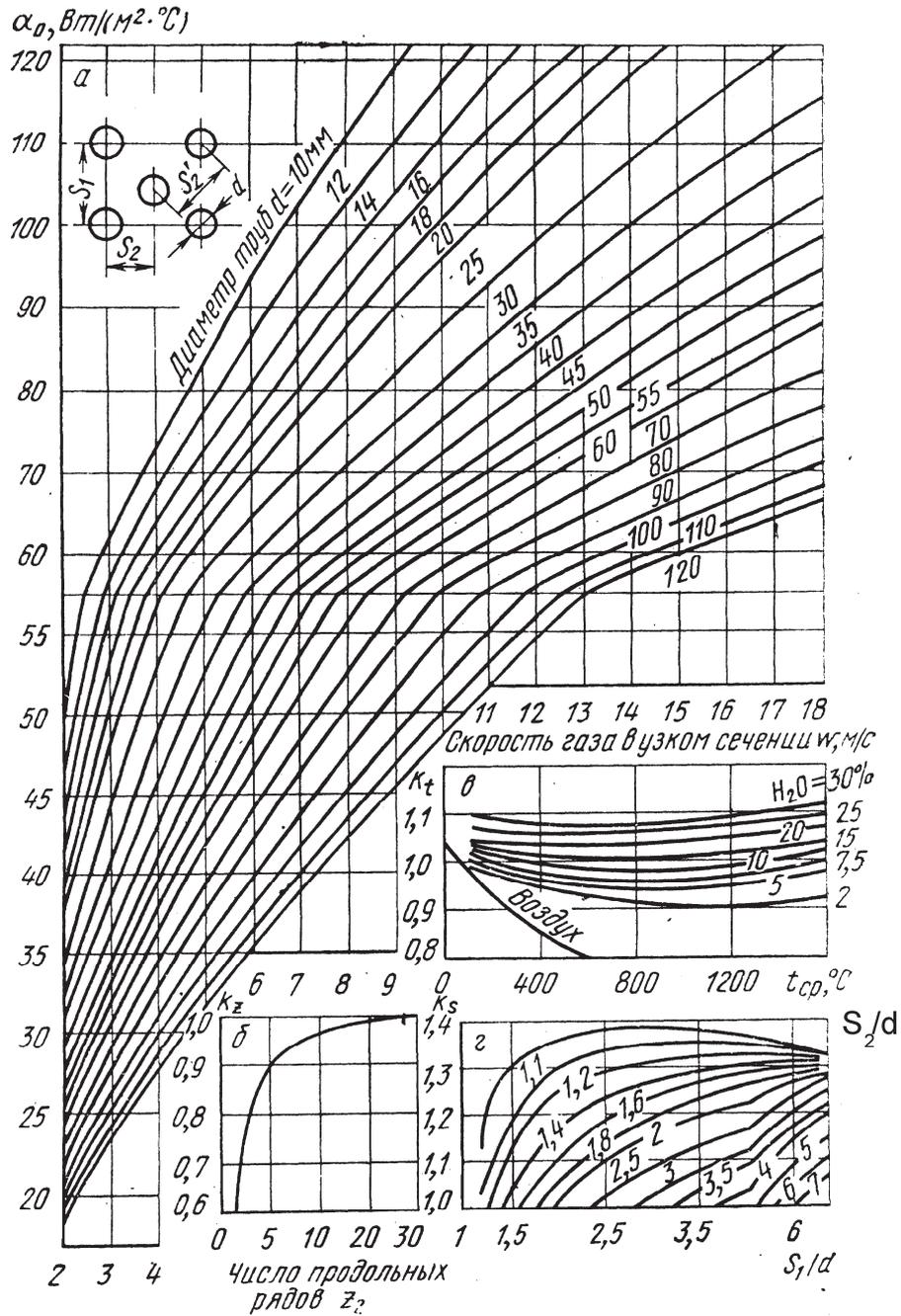


Рис.3.3. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном обтекании пучка с шахтным расположением труб:
а- коэффициент теплоотдачи; б- поправка на число рядов;
в- поправка на температуру; г- поправка на относительный шаг

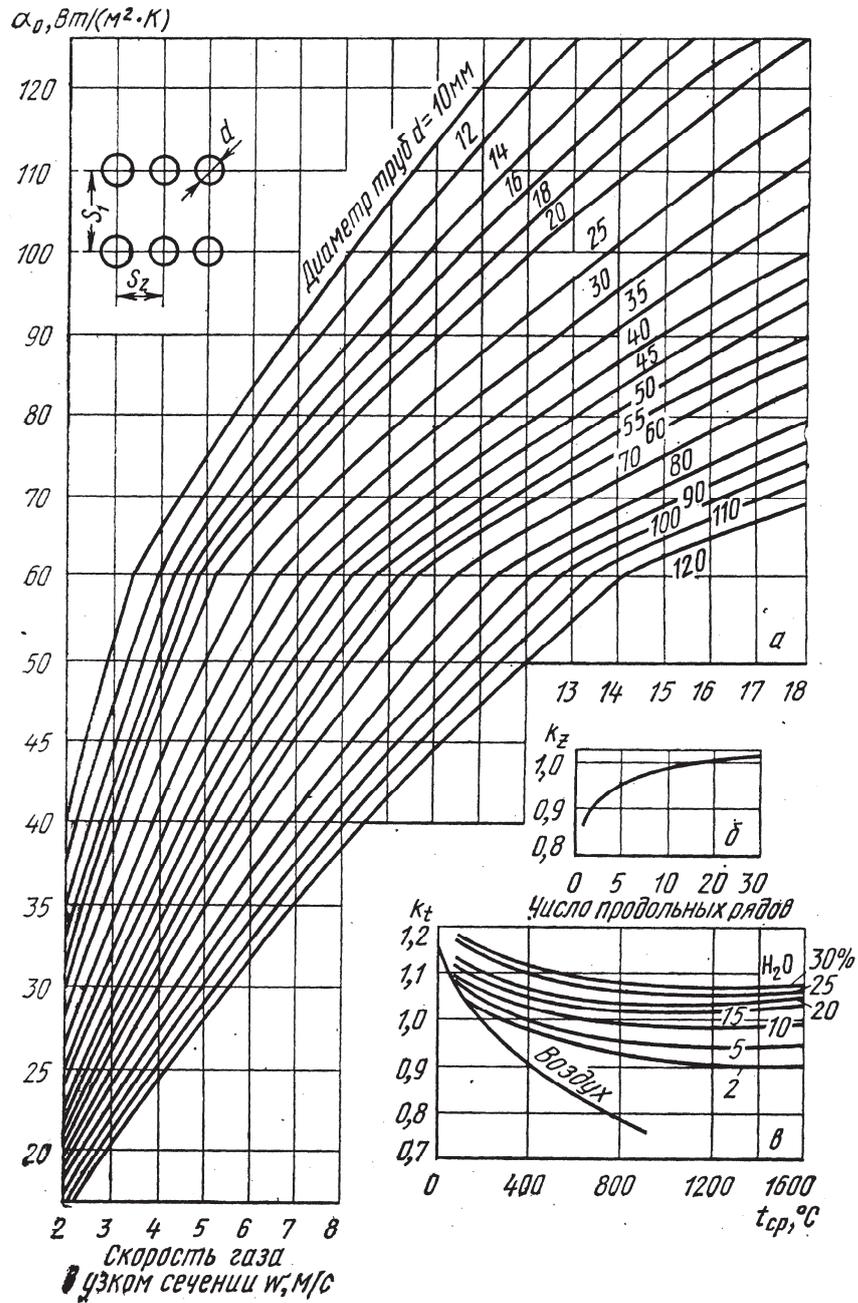


Рис.3.4. Коэффициент теплоотдачи конвекцией при поперечном обтекании пучка с коридорным расположением труб:
 а- коэффициент теплоотдачи; б- поправка на число рядов;
 в- поправка на температуру

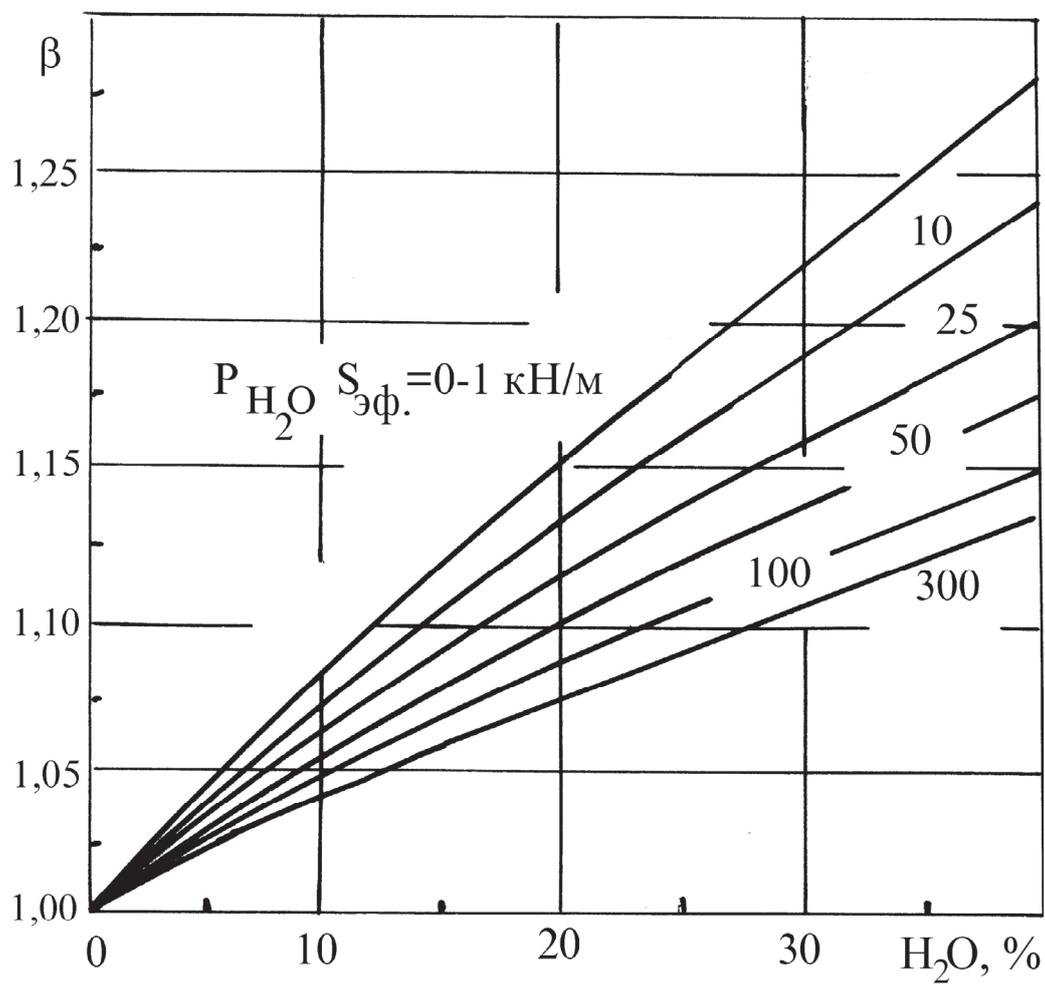


Рис. 3.5. Номограмма для определения поправочного коэффициента β (цифры у кривых – произведение $P_{H_2O} S_{эф.}$)

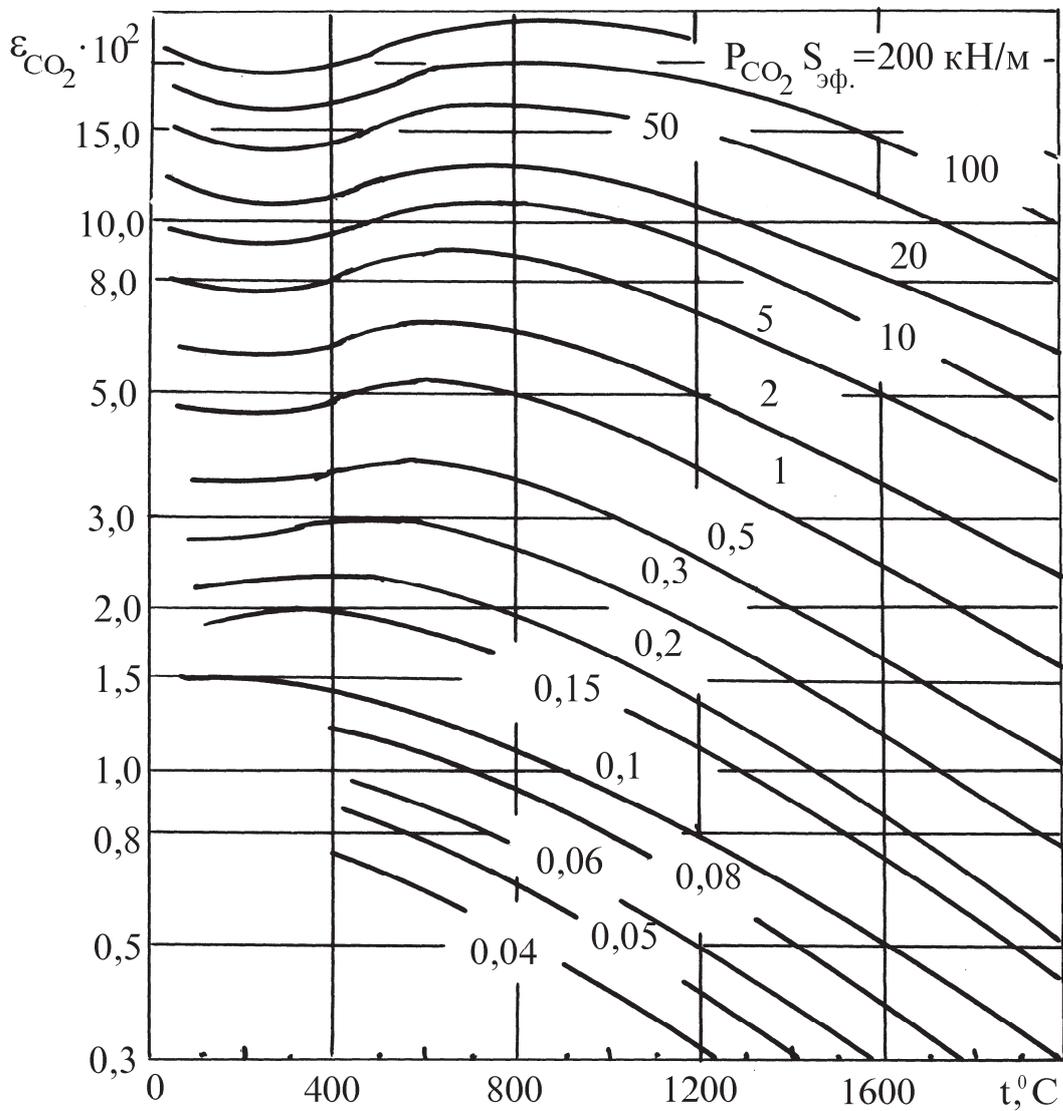


Рис.3.6. Номограмма для определения степени черноты CO_2

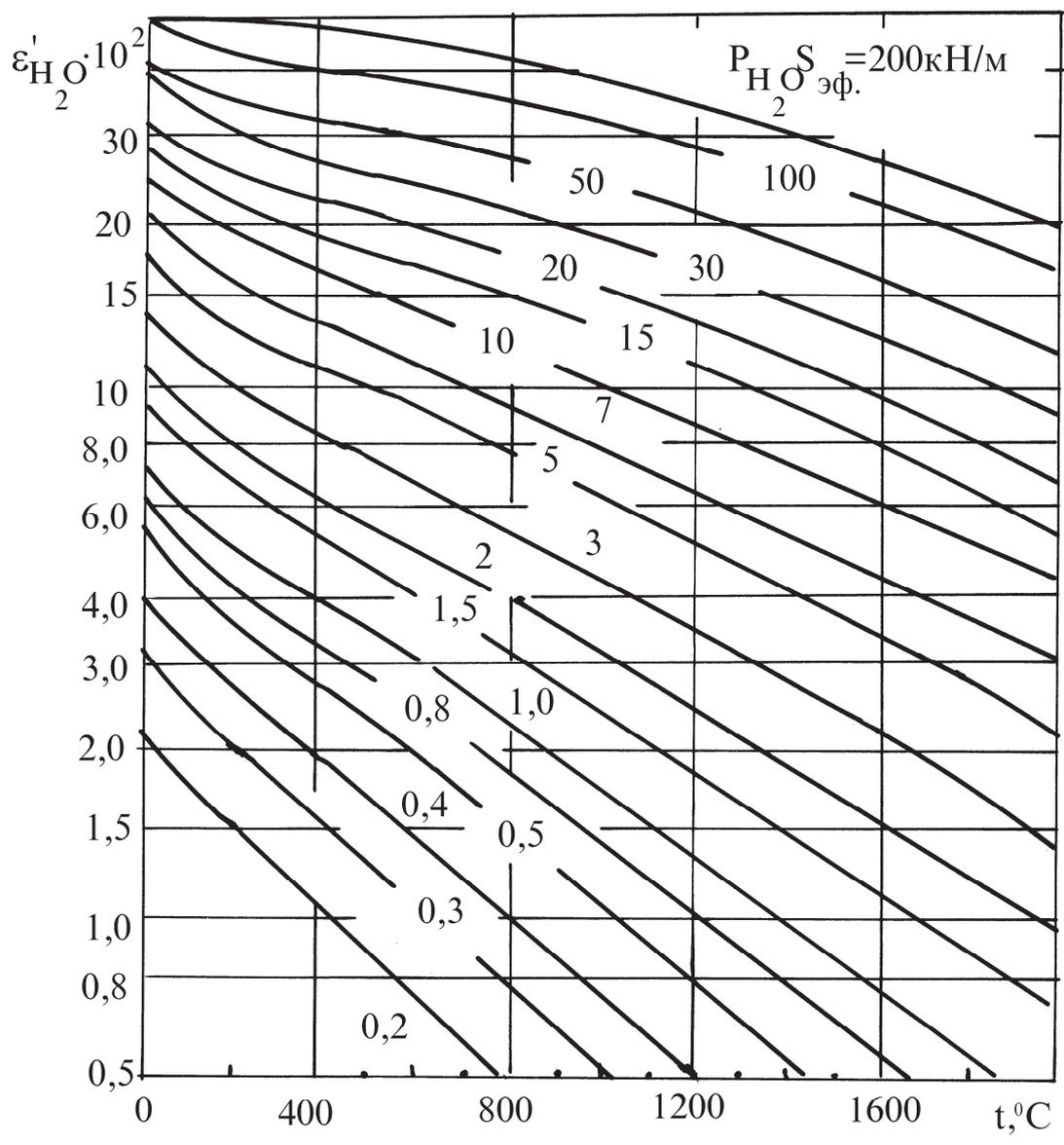


Рис.3.7. Номограмма для определения степени черноты H_2O

Таблица 3.6

Энтальпия (кДж/м³) воздуха и газов при различных температурах
и постоянном давлении (760 мм рт.ст.)

Температура, К(°С)	CO ₂	N ₂	O ₂	H ₂ O	Воздух сухой	CO	H ₂	H ₂ S	CH ₄	C ₂ H ₂
373(100)	172,00	130,13	131,93	150,18	130,51	130,21	128,96	154,08	165,39	210,61
473(200)	361,67	260,60	267,38	303,47	261,94	262,10	259,59	314,86	353,38	465,59
573(300)	564,24	392,41	407,48	461,36	395,42	395,67	390,65	482,34	567,75	758,68
673(400)	777,44	526,89	551,85	623,69	532,08	532,58	520,86	658,19	808,93	1088,62
773(500)	1001,78	664,58	700,17	791,55	672,01	672,01	653,17	841,59	984,78	1446,61
873(600)	1236,76	805,06	851,64	964,68	814,96	816,46	786,41	1032,51	1071,84	1828,88
973(700)	1475,41	940,36	1005,24	1143,64	960,75	961,33	920,30	1230,98	1667,68	2233,35
1073(800)	1718,95	1094,65	1162,32	1328,11	1109,05	1112,06	1055,12	1436,98	1996,36	2672,98
1173(900)	1972,43	1243,55	1319,67	1517,87	1259,36	1262,38	1190,78	1646,75	2336,35	3105,08
1273(1000)	2226,75	1393,86	1480,11	1713,32	1411,86	1415,20	1327,28	1863,21	2696,43	3567,32
1373(1100)	2485,34	1546,14	1641,02	1913,67	1565,94	1570,54	1469,22	2081,77	3062,70	—
1473(1200)	2746,44	1699,76	1802,76	2118,78	1721,36	1728,39	1612,83	2306,20	3446,74	—
1573(1300)	3010,58	1857,74	1966,05	2328,01	1879,27	1883,31	1758,12	2531,04	—	—
1673(1400)	3276,75	2012,36	2129,93	2540,25	2036,87	2045,76	1905,08	2760,91	—	—
1773(1500)	3545,34	2170,55	2296,78	2758,39	2196,19	2200,26	2011,85	2995,80	—	—
1873(1600)	3815,86	2328,65	2465,97	2979,13	2356,68	2364,82	2204,04	—	—	—
1973(1700)	4087,10	2486,28	2632,09	3203,05	2517,60	2526,85	2356,02	—	—	—
2073(1800)	4360,67	2646,74	2800,48	3429,90	2680,01	2690,56	2509,69	—	—	—
2173(1900)	4634,76	2808,22	2971,30	3657,85	2841,43	2848,00	2657,07	—	—	—
2273(2000)	4910,51	2970,25	3142,76	3889,72	3006,26	3014,64	2813,66	—	—	—
2373(2100)	5186,81	3131,96	3314,85	4121,79	3169,77	3174,16	2971,93	—	—	—
2473(2200)	5464,20	3295,84	3487,44	4358,83	3338,21	3343,73	3131,88	—	—	—
2573(2300)	5746,39	3457,20	3662,33	4485,34	3500,54	3505,36	3293,49	—	—	—
2673(2400)	6023,25	3620,58	3837,64	4724,37	3665,80	3666,82	3456,79	—	—	—
2773(2500)	6330,53	3786,09	4014,29	5076,74	3835,29	3840,58	3620,76	—	—	—

Расчет испарительных секций

Температуру газов в конце секций принимаем равной $t_2 = 300$ °С.

Находим температурный напор

$$\Delta \bar{t} = \frac{(603,8 - 209) - (300 - 209)}{2,3 \cdot \lg \frac{603,8 - 209}{300 - 209}} = 237 \text{ °С.}$$

Здесь 209 °С – температура пара в барабане.

Температура газового потока

$$\bar{t}_0 = 209 + 237 = 446 \text{ °С.}$$

Объемный расход дымовых газов

$$V_0 = 24,2 \cdot (446 + 273) / 273 = 63,6 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Средняя скорость дыма (табл.3.1)

$$w_0 = V_0 / F_0 = 63,6 / 6,34 = 10 \text{ м/с.}$$

По номограмме (рис. 3.3) находим при $w_0 = 10$ м/с

$$\alpha_0 = 80 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

По табл.3.1 для испарительных секций определяем число труб по ходу потока – $z = 22$.

По номограмме (рис. 3.3) при $z = 22$ и $k_z = 1,0$

$$k_s = 1,08 \quad (S_1/d = 2,68, \quad S_2/d = 2,19),$$

$$k_t = 0,99 \quad (t = 300^\circ \text{C}, \quad \text{H}_2\text{O} = 10,5\%),$$

$$\alpha^{\text{конв}} = 80 \cdot 1,0 \cdot 1,08 \cdot 0,99 = 85,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

При $S_{\text{эф}} = 0,161$ м: $p_{\text{CO}_2} \cdot S_{\text{эф}} = 1,89$ кН/м; $p_{\text{H}_2\text{O}} \cdot S_{\text{эф}} = 1,66$ кН/м и $\bar{t}_0 = 446$ °С по рис. 3.5...3.7 находим:

$$\varepsilon_{\text{CO}_2} = 0,06; \quad \varepsilon'_{\text{H}_2\text{O}} = 0,05; \quad \beta = 1,08;$$

$$\varepsilon_0 = 0,06 + 1,08 \cdot 0,05 = 0,114;$$

Энтальпия (кДж/м³) дымовых газов при $t_2 = 300$ °С (табл. 3.6):

$$i_{\text{CO}_2} = 0,12 \cdot 564,24 = 67,5;$$

$$i_{\text{H}_2\text{O}} = 0,105 \cdot 461,36 = 48,4;$$

$$i_{\text{O}_2} = 0,055 \cdot 407,48 = 22,4;$$

$$i_{\text{N}_2} = 0,72 \cdot 392,41 = 282,0;$$

$$\underline{i_0^{300} = 420,3 \text{ кДж}/\text{м}^3}$$

Ориентировочное количество тепла, отдаваемое дымовыми газами,

$$Q'_c = 24,2 \cdot (890,6 - 420,3) \cdot 10^3 = 11381 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

Средняя температура стенок труб, уравнение (3.4)

$$t_{cm} = 0,5 \cdot (376 + 209) + 0,005 \cdot \frac{11381 \cdot 10^3}{684} = 293 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Здесь $F = 684 \text{ м}^2$ (табл.3.1).

Степень черноты дымовых газов при температуре стенки трубы

$$\varepsilon_{\delta}^{ст} = 0,06 \cdot \left(\frac{446 + 273}{293 + 273} \right)^{0,65} + 1,08 \cdot 0,05 = 0,123.$$

Коэффициент теплоотдачи излучением

$$\alpha^{изл} = \frac{5,7 \cdot 0,9 \left[0,114 \left(\frac{446 + 273}{100} \right)^4 - 0,123 \left(\frac{293 + 273}{100} \right)^4 \right]}{446 - 293} =$$

$$= 6,05 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

$$\alpha_{\Sigma} = 85,6 + 6,05 = 91,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Средний коэффициент теплопередачи, уравнение (3.7)

$$K = \frac{91,65}{1 + 0,005 \cdot 91,65} = 64,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Количество тепла, воспринятое поверхностью испарительных секций от 1 м^3 дыма,

$$Q_c = \frac{684 \cdot 64,5 \cdot 237}{24,2} = 433 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{м}^3 = 433 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Энтальпия дымовых газов на входе из испарительных секций (уравнение 3.2)

$$i_2 = 890,6 - \frac{433}{0,9} + 39,6 = 448,2 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Здесь $890,6 \text{ кДж}/\text{м}^3$ – энтальпия дымовых газов на выходе из пароперегревателя;

$\varphi = 0,9$ – коэффициент сохранения тепла;

$39,6 \text{ кДж}/\text{м}^3$ – энтальпия воздуха при $30 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Энтальпия дымовых газов при температуре $t_{\delta} = 600 \text{ } ^\circ\text{C}$ – $886,7 \text{ кДж}/\text{м}^3$.

Тогда истинная температура дыма на выходе из испарительных секций

$$t_{\delta}^к = 300 + \frac{448,2 - 420,3}{886,7 - 420,3} (600 - 300) = 318 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Расхождение между принятой и полученной температурами допустимо и составляет

$$\delta = \frac{318 - 300}{300} \cdot 100\% = 6\%.$$

Расчет экономайзера

Температуру газов за экономайзером принимаем равной $t_2 = 230 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Температурный напор

$$\Delta \bar{t} = \frac{(318 - 209) - (230 - 100)}{2,3 \cdot \lg \frac{318 - 209}{230 - 100}} = 126 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Температура газового потока

$$\bar{t}_\delta = 0,5(209 + 100) + 126 = 280 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Объемный расход дымовых газов

$$V_\delta = 24,2 \cdot (280 + 273) / 273 = 49,1 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Средняя скорость дыма при $F=6,36 \text{ м}^2$ (табл.3.1)

$$w_\delta = V_\delta / F_\delta = 49,1 / 6,36 = 7,72 \text{ м/с}.$$

По номограмме (рис.3.3) находим:

$$\alpha_0 = 68 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); k_z = 1,0; k_s = 1,08; k_t = 1,0.$$

Тогда

$$\alpha^{\text{конв}} = 68 \cdot 1,0 \cdot 1,08 \cdot 1,0 = 73,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

При $p_{\text{CO}_2} S_{\text{эф}} = 1,89 \text{ кН/м}^2$; $p_{\text{H}_2\text{O}} \cdot S_{\text{эф}} = 1,66 \text{ кН/м}^2$ и $\bar{t}_\delta = 280 \text{ } ^\circ\text{C}$

по рис. 3.5...3.7 находим:

$$\varepsilon_{\text{CO}_2} = 0,058; \varepsilon'_{\text{H}_2\text{O}} = 0,065; \beta = 1,08;$$

$$\varepsilon_\delta = 0,058 + 1,08 \cdot 0,065 = 0,13.$$

Энтальпия (кДж/м³) дымовых газов $t_2 = 230 \text{ } ^\circ\text{C}$:

$$i_{\text{CO}_2} = 0,12 \cdot 422,0 = 50,4;$$

$$i_{\text{H}_2\text{O}} = 0,105 \cdot 351,4 = 36,9;$$

$$i_{\text{O}_2} = 0,055 \cdot 309,2 = 17,0;$$

$$i_{\text{N}_2} = 0,72 \cdot 301,0 = 217,0;$$

$$i_\delta^{300} = 321,3 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Ориентировочное количество тепла, отдаваемое дымовыми газами,

$$Q'_c = 24,2 \cdot (448,2 - 321,3) \cdot 10^3 = 3060 \cdot 10^3 \text{ Вт}.$$

Средняя температура стенок труб экономайзера, уравнение (3.4)

$$t_{cm} = 0,5(209 + 100) + 0,005 \cdot \frac{3060 \cdot 10^3}{370} = 195 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Степень черноты дымовых газов при температуре стенки трубы

$$\varepsilon_\delta^{cm} = 0,058 \left(\frac{280 + 273}{195 + 273} \right)^{0,65} + 1,08 \cdot 0,065 = 0,135.$$

Коэффициент теплоотдачи излучением

$$\alpha^{изл} = \frac{5,7 \cdot 0,9 \left[0,13 \left(\frac{280 + 273}{100} \right)^4 - 0,135 \left(\frac{195 + 273}{100} \right)^4 \right]}{280 - 195} = 3,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}),$$

$$\alpha_{\Sigma} = 73,5 + 3,2 = 76,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Средний коэффициент теплопередачи, уравнение (3.7)

$$K = \frac{76,7}{1 + 0,005 \cdot 76,7} = 55,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Количество тепла, воспринятое поверхностью экономайзера от 1 м³ дыма при $F = 370 \text{ м}^2$ (табл.3.1),

$$Q_c = \frac{370 \cdot 55,4 \cdot 126}{24,2} = 119 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{м}^3 = 119 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Энтальпия дымовых газов на выходе из экономайзера

$$t_2 = 448,2 - \frac{119}{0,9} + 39,6 = 355,8 \text{ кДж}/\text{м}^3.$$

Энтальпия дымовых газов при температуре $t_0 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ $i_0^{300} = 420,3 \text{ кДж}/\text{м}^3$.

Тогда истинная температура дымовых газов на выходе из экономайзера

$$t_0^k = 230 + \frac{355,8 - 321,3}{448,2 - 321,3} (300 - 230) = 249 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Расхождение между принятой и полученной температурами

$$\delta = \frac{249 - 230}{230} \cdot 100\% = 8,3\%.$$

Поскольку расхождение между принятым и полученным значением температур превышает 5%, расчет водяного экономайзера следует повторить, приняв в качестве расчетной температуры уходящих газов

$$t_2 = (230 + 249) / 2 = 239,5 \approx 240 \text{ }^\circ\text{C}.$$

В результате повторного расчета получаем температуру дымовых газов на выходе из водяного экономайзера, равную $t_2 = 245 \text{ }^\circ\text{C}$.

Расчет паропроизводительности котла

Энтальпию (кДж/м³) дымовых газов при температурах $t_0^h = 650 \text{ }^\circ\text{C}$ (на входе) и $t_0^k = t_2 = 245 \text{ }^\circ\text{C}$ (на выходе) находим по табл.3.6:

$t_0^h = 650 \text{ }^\circ\text{C}$	$t_0^k = 245 \text{ }^\circ\text{C}$
$i_{\text{CO}_2} = 0,12 \cdot 1306,0 = 156,9;$	$i_{\text{CO}_2} = 0,12 \cdot 462,0 = 55,5;$
$i_{\text{H}_2\text{O}} = 0,105 \cdot 1058,0 = 111,0;$	$i_{\text{H}_2\text{O}} = 0,105 \cdot 381,4 = 40,0;$
$i_{\text{O}_2} = 0,055 \cdot 925,0 = 51,0;$	$i_{\text{O}_2} = 0,055 \cdot 337,3 = 18,5;$
$i_{\text{N}_2} = 0,72 \cdot 865,0 = 623,0;$	$i_{\text{N}_2} = 0,72 \cdot 322,4 = 232,0;$
$i_0^{300} = 942 \text{ кДж}/\text{м}^3$	$i_0^{300} = 346 \text{ кДж}/\text{м}^3$

Энтальпия подсосанного воздуха равна $i_{\text{нод}} = 39,6 \text{ кДж}/\text{м}^3$. Количество тепла, отданное дымовыми газами в котле, уравнение (3.2)

$$Q = (942 - 346 + 39,6) \cdot 24,2 = 15400 \text{ кВт.}$$

Количество тепла, воспринятое в котле 1 кг воды, находим по уравнению (3.3)

$$\Delta i = i_{n.n} - i_{n.в} + i_{прод} = 3198 - 421 + 37,8 = 2814,8 \text{ кДж/кг,}$$

где $i_{n.n}$ – энтальпия перегретого пара, кДж/кг (табл.3.4);

$i_{n.в}$ – энтальпия питательной воды при $t_{нв} = 100^\circ\text{C}$, кДж/кг (табл.3.4);

$i_{прод}$ – количество тепла продувки, кДж/кг:

$$i_{прод} = 0,01\beta(i'_n - i_{n.в}) = 0,01 \cdot 8(890 - 420) = 37,8 \text{ кДж/кг.}$$

Здесь i'_n – энтальпия кипящей воды, кДж/кг (табл.3.3).

Все значения энтальпий воды и пара берем по таблицам водяного пара.

Паропроизводительность котла уравнение (3.1)

$$P = \frac{3,4 \cdot 15400}{2814,8} = 18,6 \text{ т/ч} = 18600 \text{ кг/ч.}$$

Задача и домашнее задание

Определить паропроизводительность котла-утилизатора КУ-125, установленного за методической печью. Исходные данные: расход дымовых газов $V = 125000 \text{ м}^3/\text{ч}$; температура газов $t_d = 700^\circ\text{C}$; состав газов, %: $\text{CO}_2 - 14$; $\text{H}_2\text{O} - 10$; $\text{O}_2 - 4$; $\text{N}_2 - 72$. Давление пара в барабане котла – $P_{п} = 3,0 \text{ МПа}$, его температура 450°C . Величина продувки $\beta = 7$. Доля подсосываемого воздуха – 5% от расхода газов, его температура – 25°C .

3.2. Расчет экономии энергоресурсов

3.2.1. Расчет экономии топлива при использовании котла-утилизатора

Общие положения

Экономия топлива определяется тем количеством топлива, которое следовало бы затратить на производство выработанного в котле-утилизаторе пара при его производстве в котлах с автономным обогревом.

Рассчитывается экономия тепла топлива

$$E_n = \frac{Q_n}{\eta_{ак}}, \text{ кВт,} \quad (3.8)$$

где Q_n – энергия пара, кВт; $\eta_{ак}$ – КПД автономного котла при работе: на бурых углях – 0,8-0,85; на антраците – 0,7.

Энергия пара

$$Q_n = i \cdot P, \quad (3.9)$$

где i – энтальпия перегретого водяного пара (табл.3.4), кДж/кг;
 P – паропроизводительность котла, кг/с.

Экономия условного топлива

$$E_{ум} = \frac{Q_n}{q_{ус.м} \cdot \eta_{ак}}, \text{ кг/с.} \quad (3.10)$$

Здесь $q_{ус.м} = 7000$ ккал/кг = $7000 \cdot 4,187 = 29309$ кДж/кг – калорийность условного топлива, Q_n – энергия пара, кДж/с.

Решение типовой задачи

Используя данные примера расчета котла-утилизатора в разделе 3.1, рассчитать экономию топлива. КПД автономного котла принять равным 0,8.

Решение

По табл.3.4 энтальпия перегретого водяного пара при 19 ат и $t=376$ °С – $i = 3209$ кДж/кг.

Энергия пара

$$Q_n = i \cdot P = 3209 \cdot \frac{18600}{3600} = 16579,8 \text{ кДж/с (кВт).}$$

Экономия тепла топлива

$$E_n = Q_n / \eta_{ак} = 16579,8 / 0,8 = 20724,8 \text{ кВт.}$$

Экономия условного топлива

$$E_{ум} = \frac{16579,8}{29309 \cdot 0,8} = 0,71 \text{ кг/с}$$

Задача

Рассчитайте экономию топлива при использовании котла-утилизатора КУ-125, приняв КПД автономного котла 0,75, паропроизводительность котла – 30,6 т/ч, температуру пара 450 °С, $P_{п}=3,0$ МПа.

Домашнее задание

Рассчитать экономию топлива от работы котла-утилизатора с часовой производительностью 25,8 т/ч, если $P_{пара} = 2,8$ МПа; $t_{пара} = 430$ °С; $\eta_{ак} = 0,85$.

3.2.2. Расчет электроэнергии, получаемой в турбинах, при использовании пара котла-утилизатора

Общие положения

Удельный расход пара для получения электроэнергии в турбинах при выработке 1 кВт·ч

$$g_s = \frac{P}{N_s} \quad (3.11)$$

составляет: – для турбин средней мощности – 5...6 кг/(кВт·ч);

– для турбин высокой мощности – 3,4...4,5 кг/(кВт·ч).

Здесь P – расход пара на турбину, кг/ч; N_g – мощность турбины на клеммах генератора, кВт. Тогда

$$N_g = P/g_g, \text{ кВт} \quad (3.12)$$

Мощность турбины

$$N_g = P \cdot H_0 \cdot \eta_{0g}, \text{ кВт} \quad (3.13)$$

Здесь P – расход пара, кг/с;

$H_0 = i_n - i_k$ – изоэнтروпийное теплопадение, кДж/кг;

i_n, i_k – энтальпия пара при начальных и конечных параметрах, кДж/кг;

Относительный электрический КПД турбогенератора

$$\eta_{0g} = \eta_e \cdot \eta_m \cdot \eta_z, \quad (3.14)$$

где η_e – внутренний относительный КПД для турбогенераторов:

маломощных – 0,6-0,7;

средней мощности – 0,7-0,8;

крупных – 0,83-0,88;

$\eta_m = 0,97 - 0,99$ – механический КПД (трение в подшипниках);

$\eta_z = 0,97 - 0,995$ – КПД электрогенератора.

Решение типовых задач

1) Определить электрическую мощность турбины, работающей с параметрами пара, полученными при расчете котла-утилизатора:

$P = 19$ ат; $t = 376$ °С; $\eta_e = 0,65$; $\eta_m = 0,97$; $\eta_z = 0,97$; $P_{кон} = 0,05$ бар. Расход пара 18600 кг/с.

Решение

Учитывая, что 1 ат=1,02 бар, по диаграмме $i-s$ (Приложение) определяем i_n и i_k . Для этого опускаем перпендикуляр при $s = \text{const}$ от $P_{нач} = 19$ атм = $1,02 \cdot 19 = 19,38$ бар до линии, соответствующей $t = 376$ °С и фиксируем $i_n = 3240$ кДж/кг. Продолжая опускать перпендикуляр при $P_{кон} = 0,05$ бар, фиксируем $i_k = 2440$ кДж/кг.

Изоэнтропийное теплопадение

$$H_0 = i_n - i_k = 3240 - 2440 = 800 \text{ кДж/кг.}$$

Мощность турбины уравнение (3.13)

$$N_g = \frac{18600}{3600} \cdot 800 \cdot 0,65 \cdot 0,97 \cdot 0,97 = 2527,9 \text{ кВт.}$$

Ответ: Мощность турбины – $\approx 2,5$ МВт.

2) Определить количество электрической энергии, производимой турбиной средней мощности, работающей с параметрами пара, получаемыми от котла-утилизатора ($P = 18600$ кг/с).

Решение

Принимаем удельный расход пара в турбине средней мощности – 6 кг/кВт·ч.

$$N_э = \frac{18600}{6} = 3100 \text{ кВт} = 3,1 \text{ МВт.}$$

Задачи

1) Определите электрическую мощность турбины, работающей с параметрами пара котла-утилизатора КУ-125: $P = 30$ бар, $P_{\text{кон}} = 0,03$ бар, $t_{\text{пара}} = 450$ °С.

2) Определите количество электрической энергии, производимой турбиной средней мощности, работающей с параметрами пара, полученными от КУ-125.

Домашнее задание

Определить расход пара на выработку турбиной 1 МВт энергии, работающей с начальными параметрами:

$P_{\text{нач}} = 35$ бар; $t_{\text{пара}} = 435$ °С; $P_{\text{к}} = 0,04$ бар;

КПД: $\eta_g = 0,76$; $\eta_m = 0,97$; $\eta_c = 0,98$.

Библиографический список к части 2

1. Справочник химика. В 2-х томах. Т.1: Общие сведения. Строение вещества. Свойства важнейших веществ. Лабораторная техника / под ред. Б.П. Никольского. – Л.: Химия, 1971. – 1071с.
2. Справочник по растворимости. В 3-х томах. Т.2, кн. 2: Тройные многокомпонентные системы / сост. В.Б. Коган и др. – Л.: Изд-во АН СССР, 1969. – 2068 с.
3. Измеров, Н.Ф. Параметры токсиметрии промышленных ядов / Н.Ф. Измеров, И.В. Саноцкий, К.К. Сидоров. – М.: Медицина, 1977. – 240с.
4. Беспаятнов, Г.П. ПДК химических элементов в окружающей среде / Г.П. Беспаятнов, Ю.А. Кротов. – Л.: Химия, 1985. – 528 с.
5. Таблицы физических величин: справочник / под ред. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.
6. Краткая химическая энциклопедия. В 5-ти томах. М.: Советская энциклопедия, 1961. – Т. 1 – 5.
7. Вредные вещества в промышленности: справочник / под ред. В.А. Филатова, В.А. Курляндского. – Л.: Химия, 1993. – 496 с.
8. Муравьева, С.И. Справочник по контролю вредных веществ в воздухе / С.И. Муравьева, Н.И. Казнина, Е.К. Прохорова. – М.: Химия, 1988. – 320 с.
9. Экология литейного производства: учебное пособие/ Ю.С. Юсфин, А.Н. Болдин, С.С. Жуковский и др.; под ред. А.Н. Болдина. – Брянск: Изд. БГТУ, 2001 – 315 с.
11. Родионов, А.И. Техника защиты окружающей среды: учебник / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. – М.: Химия, 1989. – 512 с.
12. Белоусов, В.В. Теоретические основы процессов газоочистки: Учебник / В.В. Белоусов. – М.: Metallurgy, 1988. – 256 с.
13. Толочко, А.И. Очистка технологических газов в черной металлургии / А.И. Толочко, В.И. Филиппов, О.В. Филипьев. – М.: Metallurgy, 1982. – 280 с.
14. Горелик, Д.О. Мониторинг загрязнения атмосферы и источников выбросов / Д.О. Горелик, Л.А. Конопелько. – М.: Изд. стандартов, 1992. – 432 с.
15. Шаприцкий, В.Н. Разработка нормативов ПДВ для защиты атмосферы: справочник / В.Н. Шаприцкий. – М.: Metallurgy, 1990. – 416 с.
16. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей: в 3 т. Т. I: Органические вещества / под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Изд. 7-е, пер. и доп. – Л., «Химия», 1976. – 592 с.

17. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей: в 3 т. Т. II: Органические вещества / под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Изд. 7-е, пер. и доп. – Л., «Химия», 1976. – 624 с.
18. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей: в 3 т. Т. III: Органические вещества / под ред. Н.В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Изд. 7-е, пер. и доп. – Л., «Химия», 1976. – 608 с.
19. Родионов, А.И. Защита биосферы от промышленных выбросов: Основы проектирования технологических процессов: учеб. пособие / А.И. Родионов, Ю.П. Кузнецов, Г.С. Соловьев. – М.: Химия: КолосС, 2007. – 386 с.
20. Розенгарт, Ю.М. Вторичные энергетические ресурсы черной металлургии и их использование: учебное пособие / Ю.М. Розенгарт, Б.И. Якобсон, З.А. Мурадова. – Киев: Высшая школа, 1988. – 328 с.
21. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии: учебное пособие / К.А. Черепанов, Г.И. Черныш, В.М. Динельт, Ю.И. Сухарев. – М.: Металлургия, 1994. – 224 с.
22. Красавцев, Г.Н. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Г.Н. Красавцев, Ю.И. Ильичев, А.И. Кашуба. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.
23. Чоджой, М.Х. Энергосбережение в промышленности / М.Х. Чоджой. – М.: Металлургия, 1980. – 270 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Часть 1. Современные проблемы экологии	
Глава 1. Общество и окружающая природная среда	
1.1. Основные сведения о земле, воздушной и водной оболочках земли.....	4
1.2. Растительный и животный мир.....	5
1.3. Основные понятия экологии.....	6
1.4. Экосистема и ее структура.....	7
1.5. Экологические факторы.....	8
1.6. Природные ресурсы и их классификация.....	8
Глава 2. Загрязнение окружающей природной среды. Формы загрязнения и основные загрязнители.....	10
2.1. Формы загрязнения окружающей природной среды.....	10
2.1.1. Загрязнение атмосферы.....	11
2.1.2. Загрязнение гидросферы.....	12
2.1.3. Загрязнение почвы.....	14
2.1.4. Радиоактивное загрязнение.....	15
2.1.5. Физические загрязнители окружающей природной среды. Шум, вибрация, электромагнитное излучение.....	18
2.1.6. Отрасли промышленности – основные загрязнители ОПС.....	19
2.1.7. Техногенные аварии и катастрофы.....	20
Глава 3. Влияние загрязнения окружающей природной среды на здоровье населения	
3.1. Чужеродные вещества в продуктах питания, воздухе и воде.....	21
3.2. Влияние загрязнителей атмосферного воздуха.....	22
3.3. Вода как фактор здоровья.....	23
3.4. Гигиеническое нормирование воздействия факторов окружающей среды на здоровье населения.....	26
3.4.1. Нормирование в атмосферном воздухе населенных мест.....	27
3.4.2. Нормирование в воздухе рабочей зоны.....	27
3.4.3. Нормирование водной среды и почвы.....	28
3.4.4. Нормирование продуктов питания.....	28
Глава 4. Методы и средства экологического контроля. Мониторинг окружающей природной среды	
4.1. Методы контроля.....	29
4.2. Мониторинг окружающей природной среды.....	32
4.3. Российский мониторинг ОПС.....	34
Глава 5. Защита окружающей среды. Методы защиты	
5.1. Методы защиты.....	34
5.2. Рассеивание выбросов в атмосфере.....	35
5.3. Санитарно-защитные зоны.....	36

5.4. Планировочные решения при строительстве и эксплуатации объектов крупного промышленного производства.....	38
5.5. Процессы и аппараты защиты атмосферы.....	38
5.5.1. Оборудования для очистки газов «сухим» способом.....	39
5.5.2. Оборудование для улавливания пыли «мокрым» способом.....	42
5.5.3. Очистка газов от газообразных соединений.....	42
5.6. Процессы и аппараты защиты гидросферы	
5.6.1. Гидросфера.....	47
5.6.2. Очистка от химических веществ	
5.6.2.1. Физико-химические методы.....	50
5.6.2.2. Химические и электрохимические методы очистки..	54
5.6.2.3. Биохимические методы очистки.....	55
5.6.2.4. Термические методы очистки.....	58
5.7. Защита от физических загрязнителей ОПС.....	59
5.8. Защита литосферы от промышленных загрязнений.....	62
Глава 6. Рациональное использование природных ресурсов и отходов	
6.1. Ресурсосбережение.....	63
6.2. Концепция безотходного производства.....	64
6.3. Образование и классификация отходов.....	65
6.4. Вторичные материальные ресурсы.....	66
6.5. Комплексная переработка минерального сырья.....	67
6.6. Энергосбережение в промышленности.....	68
6.7. Вторичные энергетические ресурсы.....	68
6.8. Запасы воды и ее основные потребители.....	70
Глава 7. Основы экологической экономики	
7.1. Введение.....	73
7.2. Экологическое образование.....	73
7.3. Экологическая экспертиза.....	74
7.4. Экологическая аттестация и паспортизация.....	74
7.5. Экологическая сертификация.....	75
7.6. Экологический аудит.....	75
7.7. Экологическое страхование.....	76
7.8. Экологические фонды.....	77
7.9. Современный подход к экономическим проблемам экологии.....	78
Глава 8. Международное сотрудничество в области охраны окружающей природной среды	
8.1. Введение.....	78
8.2. Объекты международно-правовой охраны окружающей среды.....	79
8.3. Международные природоохранные организации.....	81
Глава 9. Экологическая обстановка в России и Челябинской области	
9.1. Введение.....	83
9.2. Особенности экономики Челябинской области.....	84
9.3. Состояние атмосферного воздуха.....	86

9.4. Водные ресурсы. Их состояние и использование.....	96
9.5. Санитарное состояние почвы.....	101
9.6. Отходы производства и потребления.....	102
9.7. Радиационная обстановка в Челябинской области.....	103
9.8. Влияние экологических факторов на здоровье населения.....	115
9.9. Заключение.....	118
Библиографический список к части 1.....	119
Часть 2. Решение прикладных задач	
Раздел 1. Контроль окружающей среды	
1.1. Контроль атмосферы	
1.1.1. Расчет индекса загрязнения атмосферы.....	120
1.1.2. Оценка степени загрязненности атмосферного воздуха по комплексному показателю для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия.....	122
1.2. Контроль вод	
1.2.1. Расчет разбавления сточных вод в воде проточного водоема.	125
1.2.2. Расчет предельно допустимой концентрации вредных веществ в сточных водах, сбрасываемых в проточные водоемы.	131
1.2.3. Расчет температуры водоемов у пунктов водопользования.....	132
1.2.4. Определение кратности разбавления сточных вод в непроточных водоемах.....	133
1.2.5. Расчет суммарного показателя химического загрязнения сточных вод для выявления зон чрезвычайной ситуации и экологического бедствия.....	135
1.2.6. Расчет индекса загрязнения вод и критерия изменения качества вод.....	137
1.3. Контроль отходов	
1.3.1. Определение класса опасности промышленных отходов.....	141
1.3.2. Определение предельного содержания токсичных веществ в общей массе отходов.....	144
1.3.3. Расчет суммарного индекса опасности твердых отходов, содержащих несколько токсикантов.....	145
Раздел 2. Техника и технология защиты окружающей среды	
2.1. Расчет рассеивания выбросов в атмосфере	
2.1.1. Расчет приземных концентраций вредных веществ в атмосфере	146
2.1.2. Расчет высоты дымовой трубы и предельно допустимых выбросов загрязнителя в атмосферу.....	152
2.2. Эффективность очистки промышленных газов от пыли	
2.2.1. Расчет очистки в пористых фильтрах.....	155
2.2.2. Расчет очистки в циклонах.....	158
2.2.3. Расчет очистки в электрофильтрах.....	167
2.2.4. Расчет очистки в скруббере Вентури.....	170

2.3. Расчет оборудования для очистки промышленных газов	
2.3.1. Расчет рукавных фильтров.....	176
2.3.2. Расчет скорости фильтрации и периодичности регенерации рукавного фильтра.....	187
2.3.3. Расчет абсорбера.....	190
Раздел 3. Ресурсосбережение в промышленности	
3.1. Расчет количества вторичных энергетических ресурсов при использовании котла-утилизатора.....	199
3.2. Расчет экономии энергоресурсов	
3.2.1. Расчет экономии топлива при использовании котла-утилизатора.....	221
3.2.2. Расчет электроэнергии, получаемой в турбинах, при использовании пара котла-утилизатора.....	223
Библиографический список к части 2.....	225

Учебное издание

Токовой Олег Кириллович

ЭКОЛОГИЯ ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ

Учебное пособие

Техн. редактор *А.В. Миних*
Дизайн обложки *А.С. Шахрай*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 12.01.2015. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 13,48 + 0,23 вкл. Тираж 300 экз. Заказ 518/245.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.