

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Филиал БНТУ «Институт повышения квалификации и переподготовки кад-  
ров по новым направлениям развития техники, технологии и экономики  
БНТУ»  
Кафедра «Метрология и Энергетика»

Шнайдерман Ю.М., Саранцев В.В., Алейникова М.В. Новиков А.А.

## **Основы экологии и природопользования для энергетиков**

Учебно-методическое пособие для слушателей курсов повышения квалифи-  
кации энергетиков и студентов энергетического факультета БНТУ

Электронный учебный материал

Минск БНТУ 2016

УДК  
ББК  
Д

**Авторы:**

***Шнайдерман Ю.М., Саранцев В.В., Алейникова М.В., Новиков А.А.***

**Рецензент:**

Мелех Александр Алексеевич, заместитель начальника цеха АСУТП  
РУП «Минскэнерго» филиал Минская ТЭЦ-3

Учебно-методическое пособие предназначено для курсов повышения квалификации в ИПК и ПК БНТУ и может быть использовано специалистами предприятий ГПО «Белэнерго» и студентами энергетического факультета БНТУ.

Белорусский национальный технический университет,  
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел. 2964732  
E-mail: rectorat@ipk.by  
Регистрационный номер № БНТУ/ИПКиПК-10.2016

## Содержание

1 Введение. Экологические проблемы современного общества.....	5
2 Основные загрязнители окружающей среды .....	7
2.1 Последствия загрязнения окружающей среды экологически несостоятельными технологическими процессами .....	11
3 Основные пути уменьшения загрязнения окружающей среды.....	12
3.1 Создание безотходных (малоотходных) производств .....	12
3.2 Уменьшение загрязнения воздушной среды от автомобильного транспорта .....	13
3.3 Уменьшение загрязнения от установок, вырабатывающих тепло .....	14
3.4 Уменьшение загрязнения окружающей среды промышленными предприятиями.....	16
3.5 Рассеивание вредных веществ отведением выбросов на большую высоту и устройством санитарно-защитных зон.....	21
3.6 Зеленые насаждения .....	24
3.7 Уменьшение загрязнения внутреннего воздуха производственных и гражданских зданий.....	25
3.8 Уменьшение загрязнения водоемов.....	28
3.9 Характеристика сточных вод и их отведение.....	29
3.10 Основные методы очистки сточных вод .....	30
3.11 Уменьшение количества сбрасываемых сточных вод.....	40
3.12 Сброс сточных вод в водоемы.....	44
3.13 Уменьшение загрязнения окружающей среды твердыми отходами....	46
3.14 Защита от шума.....	51
4 Защита воздушной и водной среды от выбросов тепловых электростанций .....	56
4.1 Выбросы в атмосферу тепловых электростанций и их влияние на окружающую среду .....	56
4.2 Защита атмосферы от вредных выбросов ТЭС .....	57
4.3 Защита водного бассейна от выбросов ТЭС .....	63
4.4 Системы контроля выбросов в атмосферу.....	66
5 Взаимодействие экономики и окружающей среды .....	67
6 Экологический мониторинг .....	70
7 Альтернативная энергетика .....	71

7.1 Солнечная энергетика .....	72
7.2 Ветроэнергетика.....	73
7.3 Возобновляемые источники в Республике Беларусь .....	75
8 Перечень нормативных документов в области охраны окружающей среды .....	75
9 Обозначения.....	78
Список использованной литературы.....	81

## **1 Введение. Экологические проблемы современного общества**

На всех ступенях эволюции общества человек был тесно связан с окружающей средой. Однако с переходом к индустриальной цивилизации воздействие человека на природу настолько усилилось, что привело к разрушению и деградации природных систем и поставило человечество под угрозу экологического кризиса.

Современная экологическая угроза обусловлена сочетанием локальных и глобальных экологических проблем. Важнейшими глобальными экологическими проблемами современности являются:

– **глобальное потепление**, вызванное выбросом в атмосферу углекислого газа, двуокиси азота, метана, хлорфторуглеродов и других «парниковых» газов. Углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) является продуктом сгорания топлива и вносит наибольший вклад в глобальное потепление - 55%). Согласно прогнозам, под воздействием накопления в атмосфере парниковых газов средняя температура на Земле может повыситься на 1,5 - 4,5°C, что приведет к целому ряду негативных последствий. В течение 100 лет возможен подъем уровня Мирового океана приблизительно на 65 см, вызванный интенсивным таянием полярных льдов и горных ледников. Это приведет к затоплению обширных островных и прибрежных территорий. Возможно также смещение границ природно-климатических зон от экватора к полюсам, требующее переселения людей и перемещения хозяйственных объектов;

– **разрушение озонового слоя Земли**. Впервые это явление было отмечено в 1975 г. Уже через десять лет, в 1985 г. была принята международная Венская конвенция о защите озонового слоя, а в 1987 г. подписан Монреальский протокол, предусматривающий конкретные действия стран в этом направлении. Озоновый слой защищает живые организмы от избыточного ультрафиолетового излучения, поступающего из космоса. Истощение озонового слоя вызывает рост онкологических заболеваний, а также ведет к гибели фитопланктона — основного элемента цепочек питания в Мировом океане. Считается, что основной его причиной является рост производства и выброса в окружающую среду хлорфторуглеродов и других веществ, используемых для изготовления холодильников, кондиционеров, аэрозолей и др.;

– **сокращение площади лесного покрова Земли**. Лесные ресурсы планеты играют важную роль в поддержании экологического равновесия и устойчивости биосферы. Поэтому их уничтожение оказывает негативное воздействие на состояние атмосферного воздуха, водных систем, животного и растительного мира. Ежегодно теряется площадь лесов, по территории

равная Австрии. Особую тревогу вызывает вырубка тропического леса, в котором благодаря многоярусности и микроклимату процесс фотосинтеза происходит значительно интенсивнее, обогащая атмосферу Земли кислородом. Кроме того, тропический лес представляет собой привычную среду обитания большого количества видов животных и растений, и его уничтожение подрывает биологическое разнообразие;

– **опустынивание**, включая пахотные и пастбищные угодья. Основными причинами здесь являются массовые вырубки лесов, чрезмерное использование пастбищ и потепление климата. Ежегодно площадь пустынь увеличивается на 6 млн га и в настоящее время она составляет более 120 млн га. Это равно площади сельскохозяйственных угодий таких стран, как Китай и Нигерия, и составляет более 10% от площади сельскохозяйственных угодий мира;

– **потеря генофонда и исчезновение биологического разнообразия**. Под биологическим разнообразием понимается разнообразие видов животных и растений, их генофонда, а также экологических систем, в которых они обитают. В настоящее время биологическое разнообразие насчитывает 10 млн видов животных и растений. Исчезновение одних и появление других видов является естественным процессом, обусловленным эволюцией, изменением климата, борьбой за выживание и т. д. Человек воздействовал на видовое разнообразие в течение тысячелетий, однако лишь в последние десятилетия это воздействие приняло угрожающие масштабы. Ожидается, что до 2020 г. потери мирового видового разнообразия могут составить около 15%, что означает ежедневное исчезновение до 150 видов.

Основными причинами исчезновения видового разнообразия являются:

- 1) загрязнение окружающей среды;
- 2) прямое уничтожение (коммерческая или спортивная охота и др.);
- 3) разрушение привычной среды обитания (вырубка тропических лесов, использование естественных ландшафтов в экономических целях и т.д.).

В настоящее время существует серьезная угроза истощения и деградации **земельных ресурсов**. Например, 1 см чернозема, который накапливается в природе на протяжении 300 лет, в современных условиях погибает за три года. Основными причинами потери земельных ресурсов являются антропогенная (ускоренная) эрозия почвы, вторичное засоление, химическое и радиоактивное загрязнение.

В промышленно развитых странах наиболее серьезной экологической угрозой является загрязнение атмосферного воздуха, негативно влияющее на

здоровье людей и ухудшающее состояние окружающей среды в целом. Концентрация вредных для здоровья человека веществ в крупных городах превышает медицинские нормы в десятки раз. Кислотные дожди, возникающие путем соединения выбросов двуокиси серы и окислов азота с атмосферной влагой, наносят ущерб лесам, озерам и почве. Так, в Европе ежегодный ущерб от вызванной загрязнением воздуха гибели лесов оценивается в 35 млрд долл.

Одна из важнейших экологических угроз для развивающихся стран связана с **водными ресурсами**. В конце XX в. около 1,3 млрд чел. в развивающихся странах были лишены доступа к безопасной питьевой воде и 2 млрд жили в антисанитарных условиях.

Кроме того, во всем мире усиливается загрязнение водных систем промышленными отходами и химическими веществами. Среди них наибольшую опасность представляют нефть и нефтепродукты, пестициды, синтетические поверхностно-активные вещества и др. За последние годы увеличилось загрязнение Мирового океана, во многом определяющего экологическое равновесие на планете. Особое место в этих процессах занимает тепловое загрязнение водных систем, ведущее к гибели обитающих в них живых организмов.

Условиями выживания человечества становятся охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов.

## **2 Основные загрязнители окружающей среды**

Количество загрязнителей окружающей среды огромно. Особенно оно велико для воздушной среды: вредные газы, наиболее распространенными из которых являются окись углерода, сернистый ангидрид окислы азота - токсичные пары и, наконец, пыль различной степени токсичности. Эти загрязнители могут быть взрывоопасными и иметь органическое и неорганическое происхождение.

Многие загрязнители воздуха, например окись углерода, пары ртути, не имеют цвета и запаха, присутствие их в воздухе не ощущается человеком, что создает особую опасность. Некоторые загрязнители имеют кумулятивное свойство: они накапливаются в органах человека и вызывают заболевания, например пары ртути, которые выделяются при многих производственных процессах. Потенциальная опасность паров ртути может увеличиваться, например, в связи с бесконтрольным захоронением боя использованных люминесцентных электрических ламп, имеющих широкое применение. Токсичность некоторых веществ проявляется неожиданно: например бериллиевая

пыль даже в небольших концентрациях в воздухе вызывает тяжелое заболевание - бериллиоз; химикат кепоне вызывает поражение мозга и печени, причем эти поражения создают угрозу канцерогенных заболеваний, вредные вещества выделяют различные полимерные материалы, применяющиеся для отделки помещений и мебели.

Сложен механизм воздействия на окружающую среду фреонов, широко применяемых в холодильной технике: освобождаясь и достигая слоев стратосферы, они разрушаются ультрафиолетовыми лучами. Выделяющиеся при этом атомы хлора взаимодействуют с озоном и снижают его содержание в стратосфере. Между тем озон поглощает большую часть ультрафиолетового излучения, предохраняя все живое на Земле от его пагубного воздействия. Кроме того, фреоны препятствуют рассеиванию инфракрасных лучей в космос, что может повлиять на климатические условия.

Загрязнителей водоемов, по данным ПДК, приведенным в Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, сейчас около 600. Это различные химические вещества, в том числе кислоты, щелочи и соли.

Особую опасность представляют загрязнители водоемов в виде заразных бактерий и вирусов. По данным Всемирной организации здравоохранения, около 80% всех заболеваний в мире связаны с употреблением загрязненной воды.

Многие загрязнители мигрируют из одной среды в другую, накапливаются и попадают в пищу человека. Так, химикаты, применяемые в сельском хозяйстве, не только усваиваются растениями, но вместе с дождевыми и тальными водами попадают в водоемы и распространяются далее. Различные фтористые соединения, которыми загрязняют наружную воздушную среду, например алюминиевые заводы, осаждаются на почву и растения, усваиваются ими, попадают в организм животных, питающихся этими растениями, и от них могут попасть в желудочно-кишечный тракт человека.

Предполагалось когда-то, что ртуть, попадающая в водоем, остается вследствие своей высокой плотности на дне в безвредном состоянии. Однако оказалось, что бактерии ее разлагают, с ними она попадает в пищу рыб и через них в организм человека. Даже в таком чистом водоеме, как Женевское озеро, в верхнем слое придонных осадков обнаружено 65 т ртути, из которых только 5 т имеют естественное происхождение. Основным источником загрязнения ртутью - предприятия, сбрасывающие в водоемы неочищенные отходы производства этилена и красителей. Ртуть, загрязняющая воздушную среду,

оседает на почву, растения, здания, при повышении температуры испаряется и повторно загрязняет воздух.

Вредные вещества могут накапливаться в животном организме.

Акустическая среда заполняется шумом. Различают низкие, средние и высокие звуки.

Колебания охватывают большой диапазон частот: от 1 до 16 Гц-инфразвуковые, от 16 Гц до 20 кГц-звуковые, выше 20 кГц - ультразвуковые. Находящиеся в звуковой области шумы, принято делить на низкочастотные (ниже 350 Гц), среднечастотные (от 350 до 800 Гц) и высокочастотные (выше 800 Гц). Чаще всего в спектре шума присутствуют все частоты. Самое неблагоприятное действие на человека оказывает шум, в спектре которого преобладают высокие частоты.

Нормируемыми параметрами шума являются уровни в децибелах (дБ) среднеквадратичных звуковых давлений в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Они допускаются большими для низких частот и меньшими для высоких частот, например в квартирных жилых домах - 55 дБ для 63 Гц и 18 дБ для 8000 Гц, а на постоянном рабочем месте и на территории предприятий соответственно - 103 и 80 дБ.

Ультразвук и инфразвук не воспринимаются человеческим ухом, но они могут оказывать на человека неблагоприятное воздействие. Последствия этого воздействия зависят от его продолжительности, характера шума (тональный, импульсный), а также от состояния человека.

Шум является не только причиной развития глухоты, но и таких заболеваний, как гипертония, расстройство центральной нервной системы, язва желудка и др. Сильный шум, длительное время воздействующий на человека, понижает его способность к продолжению рода. Звук, равный 130 дБ, воспринимается уже не как звук, а как давление, причиняющее боль.

Существенным загрязнителем водных бассейнов являются азотные удобрения почвы. Они, способствуя подъему урожайности сельскохозяйственных культур, в значительной степени не усваиваются растениями, попадают с атмосферными осадками в водоемы и перенасыщают их.

Вопрос защиты водоемов от подобных загрязнений является актуальным. Загрязняют водоемы, отравляют в них воду и гербициды, например ДЦТ, приводящий к гибели не только вредных, но и полезных насекомых. Но все же основными источниками загрязнения воздушной среды и водоемов являются предприятия черной и цветной металлургии, химической, нефте-

перерабатывающей и нефтедобывающей, целлюлозно-бумажной, машиностроительной, пищевой, горнодобывающей и легкой промышленности. На эти отрасли хозяйства приходится большая часть всех сбросных вод. Кроме того, воздушная среда загрязняется выделениями тепловых электрических станций, отопительных установок (котельных и печей) и производственных котельных, причем степень загрязнения зависит от вида сжигаемого топлива (таблица 1).

Для оценки вида топлива, в разной степени загрязняющего воздушную среду, существует суммарный показатель<sup>1</sup>. Он отражает влияние на человека всех вредных веществ, которые выделяются при горении топлива. Значение этого суммарного показателя для некоторых видов топлива следующее: сланцы эстонские - 3,1565; подмосковный уголь Б2 - 2,0156; экибастузский уголь СС - 1,848; торф фрезерный - 1,0228; донецкий уголь А - 0,8707; березовский уголь Б2 - 0,4975; мазут ( $S^p = 3\%$ ) - 0,1131; мазут ( $S^p = 0,5\%$ ) - 0,0578; газ природный – 0,0378.

Другим источником загрязнения окружающей среды является транспорт: автомобильный, авиационный, железнодорожный и водный.

Источниками шума, заполняющего акустическую среду, на промышленных предприятиях являются различного рода машины, технологическое оборудование, вентиляторные установки, выпуск в атмосферу сжатого воздуха и пара, внутризаводской транспорт и т.д. В жилых и общественных зданиях шум создает работа лифтов, санитарно-технических систем (водоснабжение и канализация), систем вентиляции и кондиционирования воздуха. В жилых домах дополнительными источниками шума являются радио- и телеаппаратура, музыкальные инструменты и т.д. Однако, главным источником шума в городах, проникающим во все здания, является транспорт, причем доминирующую роль играет автомобильный транспорт. На общем фоне (включая шум от работающих в городе строительных и дорожных машин) он создает до 50% шума.

Большое неудобство причиняет шум, создаваемый самолетами и вертолетами в расположенных вблизи аэропортов населенных пунктах, так как уровень шума обычного реактивного двигателя на расстоянии 30 м от земли равен 130 дБ, а на расстоянии 100 м – 119 дЦ.

---

<sup>1</sup> Кропп Л.И., Залогин Н.Г., Яновский Л.П. Показатель суммарной вредности продуктов сгорания энергетических топлив. - Теплоэнергетика, 1978, № 10, с. 47- 49

Таблица 1 - Количество вредных примесей на 1 м<sup>3</sup> уходящих газов (приведенных к нормальным условиям при коэффициенте избытка воздуха 1,4)

Топливо	Вредные примеси		
	летучая зола (до газоулавливания)	окислы серы	окислы азота
Уголь:			
березовский бурый	6,66	0,48	0,41
кузнецкий СС	20	0,85	1,22
донецкий тощий	24,2	5,4	0,7
экибастузский	63,9	2,24	0,79
подмосковный бурый	50,5	11,2	0,58
Эстонские сланцы	81,5	3,56	0,65
Мазут (S <sup>P</sup> = 3%)	0,1	3,98	0,8

## 2.1 Последствия загрязнения окружающей среды экологически несостоятельными технологическими процессами

В больших городах обнаруживают сейчас более 40 различных веществ, чуждых «природной» воздушной среде. Особенно сильно загрязняют воздушный бассейн городов промышленные предприятия.

Внутренний воздух цехов и промышленных предприятий загрязняется разнообразными вредными газами, парами и пылями, которых сейчас насчитывается более 700 видов. При этом некоторые загрязнители создают в помещениях взрывоопасные смеси (нефтеперегонные заводы, мукомольные предприятия, заводы синтетического каучука и др.).

Неблагоприятное воздействие загрязнение воздушной среды оказывает (вследствие абразивного действия, осаждения сажи и коррозии) на фасады и крыши зданий, металлоконструкции и транспорт, причем коррозия металлов зависит от относительной влажности воздуха: коррозия алюминия начинается при влажности воздуха более 80%, мягкой стали - при влажности от 60 до 75%, никеля и меди - при влажности от 63 до 70%.

Коррозия происходит в значительной степени под действием серной кислоты, которая образуется в воздухе при взаимодействии серного ангидрида с водяными парами и выпадает с дождем (кислотные дожди). Облака серного ангидрида под действием ветра могут распространяться на многие сотни километров, пересекая границы государств. При этом некоторые страны сильно страдают от этого «обмена» загрязненной атмосферой.

Основным источником выделения окислов серы являются тепловые электростанции. Под губительным воздействием кислотных дождей происходит разрушение памятников архитектуры. Например, сооруженному из мрамора бесценному памятнику древнегреческого зодчества Акрополю за

последние 30 лет был нанесен больший ущерб, чем за предшествующие два тысячелетия.

Сернистый ангидрид вызывает постепенное потемнение листьев на деревьях, покраснение игл сосны. Среди культивируемых растений наиболее чувствительны к его действию люцерна, ячмень, овес, пшеница, ревень, салат-латук, шпинат, табак, фасоль, свекла, редис и помидоры. Почва, насыщенная кислотными дождями, теряет свою структуру, из нее удаляются такие важные элементы, как кальций и магний и, что особенно тревожно, в ней затихает работа микробов—строителей плодородного слоя.

Загрязнение окружающей среды наносит большой ущерб не только рыбному хозяйству, но и животным, птицам, полезным насекомым, в частности пчелам. Вредные вещества наносят поражение животному миру через органы дыхания, а также проникая в организм с загрязненной растительной пищей и водой.

### **3 Основные пути уменьшения загрязнения окружающей среды**

#### **3.1 Создание безотходных (малоотходных) производств**

Главное направление в уменьшении загрязнения окружающей среды промышленностью состоит в развитии безотходных (малоотходных) производств. В них все отходы, в том числе загрязняющие воздух и воду, почти полностью отсутствуют или используются в других технологических циклах данного производства, смежных отраслей промышленности или в сельском хозяйстве.

Развитие таких производств необходимо не только для уменьшения загрязнения окружающей среды, но и для более экономного расходования минеральных ресурсов.

Для организации такого производства имеются широкие возможности:

- жом, получаемый из свеклы на сахарных заводах, традиционно используется на корм скоту;
- доменные шлаки, являющиеся отходами черной металлургии, а также многие шлаки от котельных используются для изготовления строительных материалов;
- стружки и опилки, являющиеся отходами деревообрабатывающего производства, используются для изготовления древесностружечных плит и арголита;
- различные ценные продукты, улавливаемые фильтрами, и т.д.

Такая задача решается специально при разработке новых технологиче-

ских процессов.

Особенно много сернистого ангидрида выделяется от сжигания сернистых каменных углей и мазута в топках теплоэлектростанций. Для улавливания сернистого ангидрида и получения из него серной кислоты разрабатываются установки. Однако эти проекты пока не реализуются, поэтому очень важно снижение концентрации вредных примесей в продуктах сгорания топлива.

Применение производственных процессов с замкнутым циклом, как правило, дает значительную экономию, особенно выгодно развитие крупнотоннажных производств (использование отходов для производства бетона, цемента, керамики и т.д.).

Развитию малоотходных производств в большой степени содействует строительство так называемых промышленных комплексов, т.е. несколько предприятий различного профиля, размещенных на одной промышленной площадке. К тому же это экономит единовременные затраты на строительство подъездных путей, источников водо-, тепло-, электроснабжения и т.д.

Замкнутые циклы, или безотходные процессы, способствующие сохранению окружающей среды, следует распространять не только в промышленном производстве, но и в других сферах человеческой деятельности. Уже сейчас широко используются вторичное сырье, металлолом, пищевые отходы и т.д. Долго не могли найти применение изношенным автомобильным шинам: их сжигали, тем самым сильно загрязняя атмосферу. Теперь эти шины в измельченном виде добавляют в дорожные покрытия, что улучшает его качество (уменьшается тормозной путь), ведутся исследовательские работы по повторному использованию корда.

Широкое использование осадка из сточных вод, обратное водоснабжение, использование вторичных энергоресурсов и компоста из переработанного мусора - это, по существу, тоже замкнутый цикл происходящих процессов.

Развитие малоотходных производств с замкнутым циклом находится пока в начальной стадии. Успех этого дела зависит от технологов, занимающихся разработкой новых и совершенствованием действующих технологических процессов.

### **3.2 Уменьшение загрязнения воздушной среды от автомобильного транспорта**

Одним из наиболее мощных загрязнителей наружной воздушной среды является автомобильный транспорт, быстрый рост которого во второй поло-

вине 20 века привел к насыщению городов легковыми автомобилями и переключению на них большей части пассажирских перевозок. Это резко ухудшает санитарные условия крупных городов: автомобиль не только загрязняет воздушную среду и создает шум, но, перевозя небольшое число пассажиров и работая на наиболее ценных видах топлива, использует его недостаточно эффективно. В связи с этим возникла необходимость разработки ряда мероприятий, позволяющих предотвратить загрязнение биосферы автотранспортными выделениями.

Одним из таких мероприятий является переход с автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями на электромобили, действующие от подзаряжаемых на станциях батарей-аккумуляторов. Электромобили обладают рядом достоинств: они бездымны, бесшумны, просты в управлении. Распространению электромобилей в городском транспорте способствуют небольшой среднесуточный пробег автомобилей в городе, ограничение скорости и возможность организации сети зарядных станций для батарей-аккумуляторов. Наряду с предотвращением загрязнения воздушной среды и уменьшением шума в городах внедрение электромобилей обеспечивает экономии жидкого топлива.

Применение электроаккумуляторного транспорта начнется в ближайшее время, поэтому уже сейчас надо строить станции подзарядки. Вместе с тем такие станции не нужны для электромобилей «гибридного» типа, имеющих топливный и электроаккумуляторный двигатели. На топливном двигателе эти машины намечается эксплуатировать за городом, где их работа не будет создавать недопустимого загрязнения воздуха. Одновременно топливный двигатель предназначен для подзарядки аккумулятора, на котором машина работает в городских условиях.

Следует широко использовать массовый общественный электрический транспорт, в частности троллейбусный. КПД общественного электротранспорта, с учетом потерь на выработку электроэнергии, 25 - 27%, он не загрязняет воздух, создает меньше шума.

### **3.3 Уменьшение загрязнения от установок, вырабатывающих тепло**

Применением топлив, выделяющих минимальное количество продуктов сгорания для установок, обеспечивающих теплотребность систем отопления, горячего водоснабжения и вентиляции зданий, можно уменьшить загрязнение наружной воздушной среды. К таким топливам относится прежде всего природный газ, преимущество которого перед другими видами топлива заключается в том, что при его сжигании не образуется сажи и золы. В

качестве продуктов сгорания выделяются двуокись углерода, окись углерода, окислы азота.

Все остальные виды твердого и жидкого топлива в зависимости от их состава и способа сжигания загрязняют наружную среду видимой фракцией (сажа, зола), окисью углерода и другими вредными газами, а при наличии в составе топлива серы - сернистым ангидридом.

Наиболее рациональным мероприятием, направленным на уменьшение загрязнения наружной воздушной среды отопительными установками, является ликвидация малых установок благодаря развитию централизованного теплоснабжения. При этом вследствие повышения КПД котельных уменьшается (на 20 - 25%) количество сжигаемого топлива, а следовательно, и загрязнение окружающей среды. Кроме того, при централизованном теплоснабжении в крупных котельных возможна очистка дымовых газов перед выбросом их в атмосферу от взвешенных частиц.

Особенно целесообразно развитие централизованного теплоснабжения от ТЭЦ (теплофикации).

Мировые запасы сырой нефти с низким содержанием серы (до 0,5 - 1%) составляют всего 12 - 15%. Для снижения загрязнения воздушной среды вредными примесями, образующимися при использовании сернистых жидких топлив, необходимо уменьшить в них содержание серы.

Это достигается обработкой жидких топлив методом каталитической гидрогенизации и другими способами.

При сжигании сернистого мазута в настоящее время применяют жидкие присадки (органические или минеральные водорастворимые), которые способствуют устранению загрязнения и коррозии поверхностей нагрева котлов. Использование жидких присадок повышает эффективность сжигания топлива. Ими обрабатывают до 60% всего сжигаемого в топках мазута.

Облагораживание топлива перед сжиганием для уменьшения загрязнения воздушной среды особенно целесообразно, если оно сжигается в отопительных и производственных котельных малой мощности, поскольку в них для очистки дымовых газов практически можно применить лишь инерционные газоочистные установки. Последние, работая на дымовых газах с мелкодисперсными загрязнениями, имеют низкую эффективность. К тому же при использовании инерционных газоочистных установок необходимо применять дымососы, что создает неудобства, так как для их размещения требуется дополнительная площадь, кроме того, они создают шум при работе.

### **3.4 Уменьшение загрязнения окружающей среды промышленными предприятиями**

Промышленные предприятия загрязняют не только наружную, но и внутреннюю воздушную среду производственных цехов. Существует ряд мероприятий, направленных одновременно на уменьшение загрязнения наружной и внутренней воздушной среды. Это прежде всего совершенствование производства, состоящее в замене применяемых токсичных веществ нетоксичными или малотоксичными, в использовании выбросов для других технологических процессов и производств. Кроме того, это герметизация аппаратуры и проведение технологических процессов в вакууме с тем, чтобы при непредвиденном или запланированном открывании аппаратов вредные вещества не загрязняли воздух. В тех случаях, когда технологический процесс нельзя герметизировать или вести в вакууме, в местах выделения вредных веществ устраивают встроенные вентиляционные укрытия и отсосы, например различные зонты, бортовые отсосы, воздухоотсасывающие панели (рисунок 1) и т.п.

Отсосы и укрытия должны проектироваться одновременно с разработкой технологического оборудования и являться его неотъемлемой и органической частью. Оборудование готовых технологических установок местными укрытиями и отсосами приводит к тому, что эффект их действия снижается, а количество отсасываемого воздуха оказывается очень большим. В показатели, характеризующие то или иное технологическое оборудование или процесс, наряду с основными (производительность, стоимость, качество выпускаемой продукции, энергоемкость, металлоемкость, трудоемкость и т.п.) должен включаться показатель, характеризующий санитарные качества. При технологических процессах, связанных с выделением пыли, необходима аспирация, в которой в некоторых случаях применяют гидрподавление. Технологическое оборудование и процессы с выделением особо токсичных веществ, если невозможна их герметизация, а также устройство укрытий и отсосов, необходимо выделять в изолированные помещения с применением дистанционного управления.

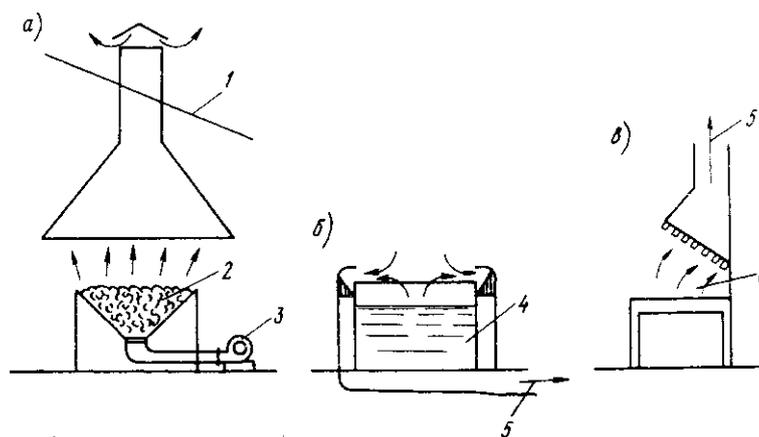


Рисунок 1 - Схемы местных отсосов.

*a* - вытяжной зонтик над горном; *б* - бортовой отсос; *в* - воздухоотсасывающая панель; 1 - кровля; 2 - горячий кузнечный уголь; 3 - дутьевой вентилятор; 4 - жидкость в ванне, выделяющая вредные вещества; 5 - к вентилятору выброса в атмосферу (иногда с предварительной очисткой); 6 - место выделения вредных веществ.

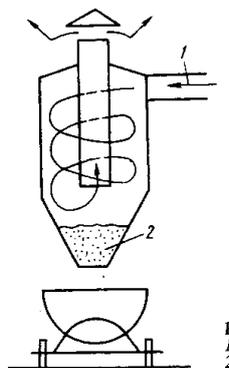


Рисунок 2 - Схема циклона

1 - загрязненный поток; 2 - уловленная взвесь.

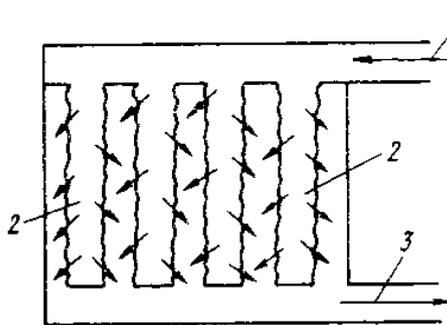


Рисунок 3 - Схема тканевого (матерчатого) фильтра

1 - загрязненный поток; 2 - рукава из ворсистой ткани; 3 - очищенный поток

Наиболее эффективным мероприятием, уменьшающим загрязнение наружной воздушной среды, является очистка технологических и вентиляционных выбросов.

Для улавливания взвешенных частиц широко применяются различные инерционные пылеотделители. Наиболее распространенным из них является

циклон (рисунок 2). Очищаемая газопылевая смесь подводится к корпусу циклона тангенциально, поэтому частички пыли, вращаясь около внутренней поверхности корпуса, осаждаются и периодически удаляются, а очищенный газ (воздух) через расположенную в центре трубу уходит в атмосферу. Эффективность действия циклона, особенно на мелкодисперсных взвешях, невелика, поэтому применяют батарейные циклоны, представляющие собой группу одиночных циклонов, в которых очищаемая газопылевая смесь проходит последовательно из одного циклона в другой.

Для повышения эффективности пылеулавливания применяют гидроциклоны, в которых внутренняя поверхность корпуса смачивается водой, а также пылеосадочные камеры, жалюзийные пылеотделители и др. Распространенными пылеуловителями являются тканевые (рукавные) фильтры (рисунок 3). В них пыль задерживается на ворсистой ткани при прохождении через нее газопылевого потока. Для удаления пыли ткань периодически встряхивается и иногда продувается воздухом.

Более эффективными аппаратами для улавливания пыли являются электрические фильтры, устанавливаемые, например в котельных тепловых электростанций для очистки дымовых газов от сажи, летучей золы-уноса. К коронирующим и осадительным электродам фильтров (рисунок 4) подводят постоянный ток высокого напряжения.

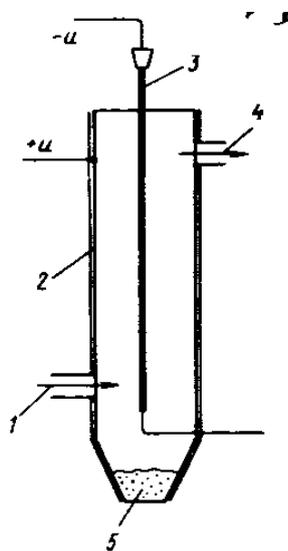


Рисунок 4 - Принципиальная схема электрического фильтра (схема дана для одного элемента цилиндрического фильтра]

1 - загрязненный поток; 2 - осадительный (цилиндрический) электрод; 3 - коронирующий электрод; 4 - очищенный поток; 5 - бункер; +  $u$  - электрический ток положительного заряда; -  $u$  - электрический ток отрицательного заряда

Осадительные электроды присоединяют к положительному полюсу выпрямителя и заземляют, а коронирующие изолируют от земли и присоеди-

няют к отрицательному полюсу. Очищаемый поток газов проходит через пространство между электродами: основная масса взвешенных частиц, заряжающихся под действием коронного разряда (внешне проявляющегося голубоватым свечением вокруг провода и негромким потрескиванием), оседает на осадительных электродах. Она удаляется в бункер встряхиванием, жидкая фаза загрязнений стекает.

Для улавливания пыли газопылевой поток приводят в соприкосновение с водой. Одним из наиболее распространенных аппаратов этого вида является ротоклон (рисунок 5). В нем газопылевая смесь под давлением, создаваемым вентилятором, вихревым потоком проходит через водный слой. При этом тяжелые частицы пыли задерживаются водой и осаждаются в нижнюю часть ротоклона, откуда затем удаляются, а очищенный поток уходит в атмосферу. К аппаратам, в которых пыль улавливается водой, относят скрубберы, барботеры, промывные башни, пенные аппараты, пылеуловители Вентури, в том числе в компоновке с циклоном и др. Разновидностью мокрых пылеуловителей являются конденсационные установки, удаляющие пыль из потока газа, насыщенного водой. Принцип действия установок основан на быстром снижении давления газа, приводящем к испарению воды. Вследствие этого часть водяного пара конденсируется на витающих пылинках, так как они в этом случае являются ядрами (центрами) конденсации. Пылинки, смачиваясь и утяжеляясь, могут быть легко отделены от газа в каком-либо простейшем устройстве, например циклоне. Вода в мокрых аппаратах при соприкосновении с некоторыми видами пыли может менять свои химические свойства и, попадая в водоемы, являться причиной их загрязнения.

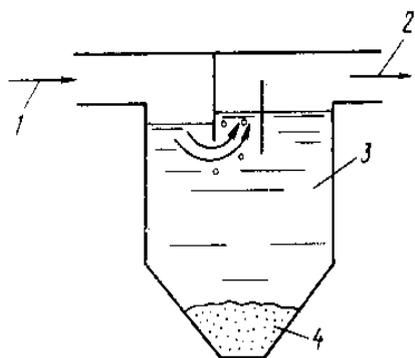


Рисунок 5 - Схема ротоклона.  
1 - загрязненный поток; 2 - очищенный поток; 3 - вода; 4 - уловленная взвесь

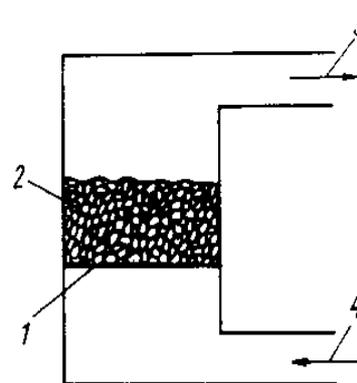


Рисунок 6 - Схема адсорбера.  
1 - сетка; 2 - адсорбент; 3 - очищенный поток; 4 - загрязненный поток

Для повышения эффективности пылеулавливания иногда применяют

перед пылеуловителем обработку газопылевого потока ультразвуком, создаваемым вращающимися или стационарными сиренами.

Для очистки технологических и вентиляционных выбросов от вредных газов и паров применяются адсорберы и абсорберы. В адсорберах очищаемый поток пронизывает слой адсорбента, состоящий из зернистого вещества, с развитой поверхностью, например активированного угля, силикагеля, окиси алюминия, пиролюзита и т.п. При этом вредные газы и пары связываются адсорбентом и впоследствии могут быть выделены, из него. Имеются адсорберы с неподвижным слоем адсорбента (рисунок 6), который меняется после насыщения улавливаемым веществом, а также адсорберы непрерывного действия, в которых адсорбент медленно перемещается и одновременно очищает проходящий через него поток. Применяются также адсорберы с «кипящим» (псевдосжиженным) слоем, в которых очищаемый поток подается с большой скоростью и поддерживает слой адсорбента во взвешенном состоянии. Поверхность соприкосновения очищаемого потока с поверхностью адсорбента больше, но одновременно может произойти истирание адсорбента и запыление очищаемого потока, поэтому за адсорбером приходится устанавливать пылевой фильтр.

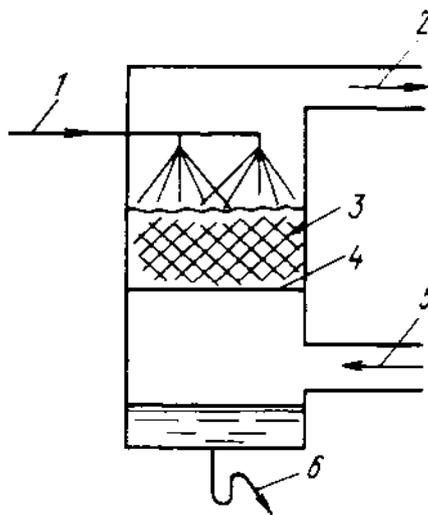


Рисунок 7 - Схема абсорбера

1 - абсорбент; 2 - очищенный поток; 3 - насадка; 4 - сетка; 5 - загрязненный поток; 6 - выброс в канализацию.

В адсорберах для очистки применяют, как правило, жидкие вещества, например воду или растворы солей (абсорбенты), поглощающие вредные газы и пары. При этом некоторые вредные вещества растворяются абсорбентом, а другие вступают с ним в реакцию. Конструкции абсорберов весьма разнообразны. Одна из них приведена на рисунке 7: орошаемая раствором

насадка из колец Рашига, пронизывается очищаемым потоком. В качестве абсорберов могут применяться распылительные камеры кондиционеров, в которых вместо воды разбрызгивается поглощающий примеси раствор, а также уже упоминавшиеся барботеры, ротоклоны, пенные аппараты, очистители Вентури и другое оборудование. Из адсорберов и особенно абсорберов необходимо удалять отработавший сорбент, так как он создает так называемое вторичное загрязнение.

### **3.5 Рассеивание вредных веществ отведением выбросов на большую высоту и устройством санитарно-защитных зон**

Не для всех видов производств и технологических процессов разработаны способы очистки газов, в некоторых случаях это требует больших затрат. До сих пор еще нет рентабельного способа очистки от сернистого ангидрида и окислов азота уходящих дымовых газов тепловых электрических станций, поэтому часто загрязненные выбросы отводят на большую высоту. При этом выбрасываемые вредные вещества, достигая приземного пространства, рассеиваются, их концентрации снижаются до предельно допустимых. Некоторые вредные вещества на большой высоте переходят в другое состояние (конденсируются, вступают в реакции с другими веществами и т.п.), другие, как, например, ртуть, осаждаются на поверхности земли, листве, строениях и при повышении температуры снова испаряются в воздух.

Наиболее распространено отведение загрязнителей на большую высоту с помощью труб, которые в отдельных случаях достигают высоты 350 м и более. Эту высоту вычисляют из формулы 1:

$$C_M = MAFmn / (H^2 \sqrt{V_1 \Delta T}) \quad (1)$$

$C_M$  - максимальная приземная концентрация вредных веществ при выбросе нагретой газовой смеси из одиночного (точечного) источника с круглым устьем при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии  $X_M$ , м, от источника, (должна быть не более ПДК);  $M$  - количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с;  $A$  - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе,  $c^{2/3}$  мг град<sup>1/3</sup>, от 120 до 240 в зависимости от географического района расположения;  $F$  - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;  $m$ ,  $n$  - безразмерные коэффициенты, зависящие от условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $H$  - высота источника выброса над уров-

нем земли, м;  $V_1$  - объем газовой смеси,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta T$  - разность температур выбрасываемой газовой смеси  $T_Г$  и окружающего атмосферного воздуха  $T_в$  °С.

Действующие нормативные документы содержат данные для расчета расстояния от источника выделения вредных веществ до места, с максимальной концентрацией в приземном слое холодных выбросов из аэрационного фонаря и из группы источников, рассеивание выбросов с учетом вредного действия нескольких ингредиентов, фоновой концентрации вредных веществ в атмосфере и учета ее в расчете рассеивания выбросов, а также данные для определения границ санитарно-защитной зоны промышленного предприятия.

Основными показателями, определяющими максимальные концентрации загрязнителей в приземном пространстве, являются количество загрязнителей, содержащихся в выбросе, и высота выброса. Для отведения выбросов на большую высоту используют не только высокие трубы, но и так называемые факельные выбросы, представляющие собой конические насадки на выхлопном отверстии, через которые загрязненные газы выбрасываются вентилятором с большой скоростью (20-30 м/с). Применение факельных выбросов создает меньшие единовременные затраты, но вызывает больший расход электроэнергии.

Отведение вредных веществ на большую высоту с помощью высоких труб и факельных выбросов не уменьшает загрязнения окружающей среды (воздушной, почвы и гидросферы), а приводит только к рассеиванию их. При этом концентрация вредных веществ в воздушной среде у места их выброса может оказаться меньше, чем на большом расстоянии.

Для уменьшения концентрации вредных веществ на жилой территории, которая окружает промышленные предприятия, устраивают санитарно-защитные зоны. Они предназначены также для защиты жилых территорий от запахов сильнопахнущих веществ, повышенных уровней шума, вибрации, ультразвука, электромагнитных волн, радиочастот, статического электричества и ионизирующих излучений, источниками которых являются промышленные предприятия.

Санитарно-защитная зона устанавливается непосредственно от источника выделения вредных веществ: трубы, шахты, фонаря и т.д. Для установления размеров санитарно-защитных зон, в зависимости от характера и масштабов производственных вредностей введена санитарная классификация промышленных предприятий. Существуют пять классов предприятий, при-

чем предприятия I класса имеют санитарно-защитную зону 1000 м, II класса - 500 м, III класса - 300 м, IV класса – 100 м и V класса - 50 м. При наличии гигиенических и технико-экономических обоснований допускается увеличение санитарно-защитных зон не более чем в 3 раза. Для отдельных групп или комплексов крупных предприятий I и II класса химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, машиностроительной и некоторых других отраслей промышленности и тепловых электрических станций, которые оказывают особо неблагоприятные воздействия на окружающую среду, размер санитарно-защитных зон определяется конкретно для каждого случая и может быть больше, чем указано выше.

Территория санитарно-защитной зоны озеленяется и благоустраивается, на ней могут размещаться отдельные здания и сооружения, предприятия меньшего класса вредности, а также вспомогательные здания и сооружения (пожарные депо, бани, прачечные, стоянки для транспорта и т.п.). Возможность использовать земли, отводимые под санитарно-защитные зоны, для сельскохозяйственного производства зависит от количества и характера загрязнений, которые на нее попадают.

Для сокращения размеров санитарно-защитной зоны и улучшения состояния наружной воздушной среды большое значение имеет взаимное расположение промышленной площадки и селитебной территории, учитывающее климатические условия, в частности действие ветра. С этой целью промышленные предприятия и селитебные территории необходимо располагать на хорошо проветриваемом месте, причем таким образом, чтобы при господствующем ветре выделяющиеся вредные вещества не заносились на селитебную территорию.

Особенно неблагоприятны для рассеивания вредных веществ в воздухе местности с преобладанием слабых ветров или штилей. В этих условиях возникают температурные инверсии, при которых наблюдается избыточное накопление вредных веществ в наружном воздухе.

Атмосферные осадки (дождь, снег и т.п.) способствуют удалению из наружного воздуха части загрязнителей. Исследования показывают, что обычный дождь интенсивностью 1 мм/ч осадков в течение 15 мин удаляет из воздуха 28% частичек пыли размером 10 мкм. Однако при размере частиц менее 2 мкм эффективность захвата аэрозолей дождем практически падает до нуля. Систематические и продолжительные дожди увеличивают степень очистки воздуха, одновременно увеличивая количество оседающих на поверхность земли, крыш и пр. вредных веществ.

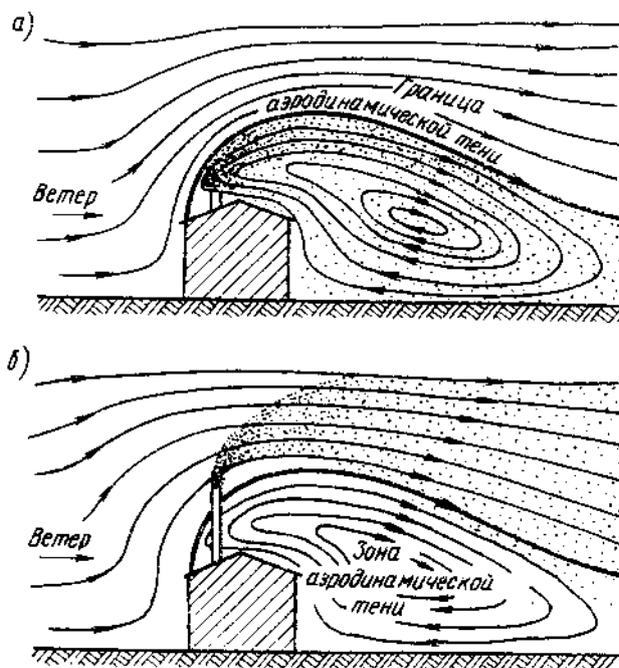


Рисунок 8 - Схема влияния высоты выброса на загрязнение наружного воздуха промышленного предприятия

*а* - выброс в пределах зоны аэродинамической тени (следа); *б* - выброс выше зоны аэродинамической тени (следа)

Большое значение для рассеивания вредных веществ в наружной воздушной среде промышленных предприятий и селитебных территорий имеют планировочные особенности. Форма зданий и их взаимное расположение, а также зеленые насаждения не должны затруднять аэрацию промышленных площадок и населенных мест. Влияние застройки на турбулентность ветрового потока прослеживается до уровня, равного трехкратной высоте зданий.

Особое внимание следует обращать на правильное расположение места выброса вредных веществ в плане и высоту их выпуска. За обдуваемыми ветром зданиями и сооружениями образуется зона аэродинамической тени, в которой происходит циркуляция воздуха. Важно, чтобы в эту циркуляционную зону не вовлекались вредные вещества, выброс которых происходит на малой высоте (рисунок 8), так как концентрация загрязнений может увеличиться в 6 - 10 раз. При большей высоте выброса, выходящей за границы аэродинамической тени, загрязнения рассеиваются практически беспрепятственно.

### 3.6 Зеленые насаждения

Зеленые насаждения не только способствуют рассеиванию вредных веществ в воздухе, но и поглощают их.

При озеленении территории промышленных предприятий и их са-

нитарно-защитных зон следует выбирать древесные, кустарниковые, цветочные и газонные растения в зависимости от климатического района, характера промышленного производства и эффективности данной породы для очистки воздуха, а также ее газоустойчивости. Наиболее устойчивыми являются, например, акация белая, айлант высокий, клен ясенелистовый. Зеленые насаждения по-разному реагируют на различные загрязнения в воздухе, причем степень и характер saniрующего воздействия зависят в значительной степени от типа посадок.

По характеру защитного действия посадки разделяют на изолирующие и фильтрующие. Изолирующими называют посадки плотной структуры (полосы или небольшие массивы), которые создают на пути загрязненного воздушного потока механическую преграду, заставляющую поток обтекать массив. При нормальных метеоусловиях они снижают газо- и парообразные примеси (сернистый ангидрид, окись углерода, фенол) на 25 - 35% путем рассеивания и отклонения загрязненного воздушного потока, а также поглощающего действия зеленых насаждений.

Фильтрующими называют посадки, продуваемые и ажурные по структуре, выполняющие роль механического и биологического фильтра при прохождении загрязненного воздуха сквозь зеленый массив. Эти посадки являются основными для санитарно-защитных зон и занимают около 90% всей озелененной площадки, под которую рекомендуется отводить 60 - 75% общей площади санитарно-защитной зоны.

Ассортимент растений следует выбирать дифференцированно для каждой зоны территории в зависимости от степени загрязнения воздуха. При этом для опушечных насаждений подбирают наиболее устойчивые породы деревьев и кустарников.

Все вопросы размещения и выбора зеленых насаждений решаются при составлении ландшафтного проекта, в котором учитывается необходимость создания противопожарных разрывов между границами предприятий и посадками деревьев (50 м - для хвойных и 20 м - для лиственных пород).

Полив территории (особенно заасфальтированной) имеет большое значение для улучшения состояния наружной воздушной среды промышленных предприятий. Он является обязательным, например, на аккумуляторных заводах, где выделяется в воздух токсичная свинцовая пыль.

### **3.7 Уменьшение загрязнения внутреннего воздуха производственных и гражданских зданий**

Состояние наружной воздушной среды как на площадке одного и того

же промышленного предприятия, так и микрорайона населенного места не одинаково. Наиболее чистым оказывается воздух в хорошо аэрируемых местах, куда в меньшей степени попадают загрязнения от технологических, вентиляционных, неорганизованных (случайных) и транспортных выбросов. Именно в таких местах следует располагать воздухоприемные устройства для приточной вентиляции. По существующим нормам концентрации вредных веществ в местах воздухозабора на промышленных предприятиях не должны превышать 0,3 ПДК для внутреннего воздуха.

Для очистки от пыли наружного воздуха, подаваемого приточной вентиляцией в помещения, в приточных вентиляционных камерах устанавливают фильтры. Чаще других применяют масляные фильтры (рисунок 9), в которых наружный воздух под действием вентилятора проходит через медленно движущиеся смоченные маслом сетки. При этом частицы пыли прилипают к сеткам и осаждаются в масляной ванне, откуда периодически или непрерывно удаляются.

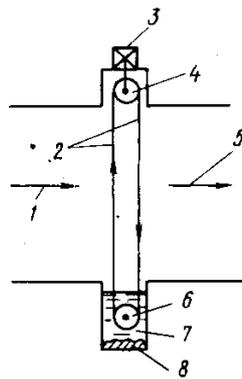


Рисунок 9 - Схема масляного фильтра для очистки наружного воздуха от пыли

1 - загрязненный поток; 2 - металлическая сетка; 3 - электродвигатель с редуктором; 4 - ведущий вал; 5 - очищенный поток; 6 - ведомый вал; 7 - масляная ванна; 8 - уловленная пыль в масляной ванне.

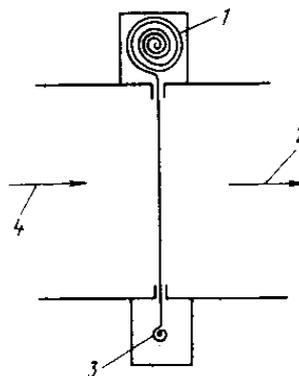


Рисунок 10 - Схема фильтра из нетканого волокна для очистки наружного воздуха

1 - катушка с нетканым волокном; 2 - очищенный поток; 3 - катушка для наматывания запыленного волокна; 4 - запыленный поток

Мелкодисперсная пыль масляными фильтрами улавливается плохо. Кроме того, масло может придавать запах проходящему через фильтр воздуху и застывать при пониженных температурах, а при быстром движении воздуха срываться его потоком и загрязнять установленное за фильтрами оборудование.

Этих недостатков лишены фильтры из нетканого волокна (рисунок 10). В них воздух проходит сквозь ленту сухого фильтрующего материала, оставляя значительную часть содержащейся в нем пыли, в том числе и мелкодисперсной. Фильтрующий материал по мере загрязнения перематывается с верхней катушки на нижнюю и периодически меняется.

Подаваемый в помещение наружный воздух очищают не только от пыли, но и от других загрязнителей. Чистота внутреннего воздуха производственных цехов обеспечивается рядом технологических мероприятий: заменой токсичных материалов нетоксичными или малотоксичными, герметизацией технологических процессов, ведением их в вакууме и др. Остаточные выделения вредных веществ, которые не могут быть устранены технологическими мероприятиями, удаляются вентиляционными устройствами.

Вентиляционные устройства применяют в жилых и общественных зданиях. Однако это не исключает совершенствования ведущихся там технологических процессов, если они связаны с загрязнением окружающей среды. Например, продукты сгорания газа в бытовых плитах из кухни распространяются в комнаты. Воздух загрязняется окисью углерода и окислами азота. Медицинские наблюдения за людьми, проводящими много времени в газифицированных кухнях, показали, что у них может появиться оксиуглеродная интоксикация крови. В связи с этим в последнее время жилые помещения оборудуют электрическими плитами, которые совсем не загрязняют воздух.

И при этом в жилых помещениях необходим постоянный воздухообмен, который не может быть достигнут при применяемой вытяжной вентиляции с естественным побуждением, поэтому устройство принудительной подачи воздуха в помещения позволит улучшить качество воздушной среды, будет способствовать правильному движению воздуха в квартире (из жилых комнат в кухни и санитарные узлы), а также уменьшит перетекание воздуха из нижних этажей в верхние и из наветренных квартир в заветренные. При этом приточный воздух, если он будет подаваться централизованно, можно фильтровать, увлажнять, а также насыщать дезинфицирующими веществами.

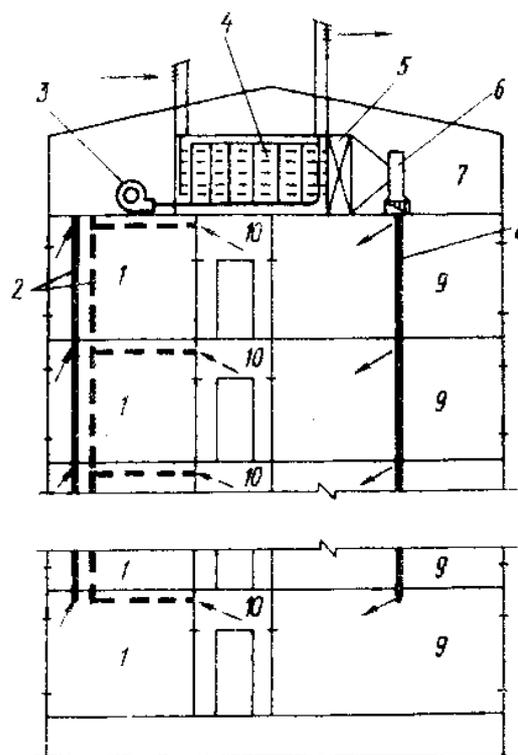


Рисунок 11 - Схема организованного притока воздуха в жилые помещения с использованием тепла уходящего вентиляционного воздуха

1 - кухни; 2 - вытяжные воздуховоды из санитарных узлов и кухонь; 3 - вытяжной вентилятор; 4 - теплообменник; 5 - догреватель приточного воздуха (устанавливается с повышенной теплоотдачей, если система совмещена с отоплением); 6 - приточный вентилятор; 7 - теплый чердак; 8 - приточный воздуховод для подачи воздуха в жилые помещения; 9 - жилые помещения; 10 – коридоры.

Возможности использования централизованного притока воздуха в жилые помещения значительно расширились в связи с применением теплообменников, в которых используется тепло уходящего вентиляционного воздуха для нагрева наружного приточного воздуха, а также в связи с применением «теплых чердаков» (верхних технических этажей, в которые выводятся все вытяжные вентиляционные каналы).

Применение такой системы теплообменников позволит (рисунок 11) не только улучшить состояние воздушной среды в жилых домах, но и получить значительную экономию тепла, так как КПД теплообменников достигает 60 - 70%. А это в свою очередь приводит к уменьшению загрязнения воздушной среды, поскольку сокращается количество сжигаемого топлива.

### 3.8 Уменьшение загрязнения водоемов

В настоящее время из-за загрязнения водоемов применяемыми в сельском хозяйстве химическими удобрениями и ядохимикатами возникла проблема их рационального использования, т.е. сведения к минимуму их по-

ступление в водоемы с атмосферными осадками (ливневыми и талыми водами). Это, однако, является задачей специалистов сельского хозяйства и поэтому здесь не рассматривается.

Другим мощным источником загрязнения водоемов, как было уже сказано, являются промышленные предприятия. Кроме того, водоемы загрязняются хозяйственно-бытовыми сточными водами (от туалетных комнат, кухонь, бань, прачечных и т.п.). Для уменьшения загрязнения водоемов сточными водами промышленных предприятий совершенствуют технологию производственных процессов и оборудования. Но несмотря на предпринимаемые меры, сточные воды практически всех промышленных предприятий содержат те или иные загрязнители.

Загрязняют водоемы также и дождевые воды, стекающие с территорий промышленных предприятий и населенных мест. Особенно загрязненными оказываются первые порции воды в начале дождя и талые весенние воды.

### **3.9 Характеристика сточных вод и их отведение**

Все сточные воды подразделяются на четыре категории: хозяйственно-бытовые, загрязненные производственные, условно-чистые производственные (например, незагрязненные воды для охлаждения оборудования) и атмосферные. Первые две категории имеют большее загрязнение, вторые - меньшее.

Промышленные сточные воды содержат либо неорганические (машиностроение, металлообработка), либо органические (пищевая промышленность) загрязнения, а хозяйственно-бытовые воды и воды некоторых отраслей промышленности (например, химической) - как органические, так и неорганические. Наиболее опасны в санитарном отношении органические загрязнения, особенно физиологические выделения человека и животных, поскольку они могут способствовать распространению желудочно-кишечных и других инфекционных заболеваний.

Загрязнения в сточных водах находятся в виде механических примесей (бумаги, тряпок, костей, волокон, песка и пр.), суспензий, эмульсий (частиц размером более 0,1 мкм), коллоидов (частиц размерами 0,1 - 0,001 мкм) и растворов. Попадая в водоем, загрязненные сточные воды нарушают его естественный режим: поглощая растворенный в воде кислород, они нарушают кислородный баланс водоема, ухудшают качество воды, парализуют жизнедеятельность флоры и фауны. При этом вода может оказаться совершенно непригодной для питья, технического водоснабжения, купания и т.п.

Если сточные воды не отводятся организованно, то органические ве-

щества, содержащиеся в них, скапливаются в почве и на ее поверхности, загнивают, заражают воздух.

При проникании сточных вод в глубь грунта загрязняются грунтовые воды, которые становятся непригодными для водоснабжения. Эти недостатки удастся избежать при отведении сточных вод канализационными системами.

Применяются канализационные системы, которые принимают все сточные воды (общесплавная канализация), и отдельные системы, принимающие отдельно хозяйственно-бытовые и загрязненные промышленные воды, и отдельно - атмосферные и условно-чистые промышленные воды.

Большие промышленные предприятия или их комплексы имеют свою канализацию. Малые промышленные предприятия, находящиеся в городе, часто сбрасывают сточные воды в городскую канализацию. При этом важно, чтобы промышленные стоки не нарушали работу очистных сооружений городской канализации.

### **3.10 Основные методы очистки сточных вод**

Очистка сточных вод перед сбросом в водоемы или перед выпуском с промышленных предприятий предупреждает загрязнение водоемов и грунтовых вод.

Характер загрязнений сточных вод зависит от обслуживаемых системой канализации объектов, которые могут состоять из одного или нескольких производственных предприятий, группы зданий общественного назначения (например, дом отдыха, санаторий, пионерский лагерь), поселка и, наконец, города. В крупных городах может быть несколько канализационных систем и очистных сооружений.

Механическая очистка является наиболее распространенной. Из сточной жидкости удаляют загрязнения, находящиеся в ней в нерастворенном и частично коллоидальном состоянии, причем крупные предметы задерживаются решетками, которые ставят перед очистными сооружениями.

Уловленные предметы отправляют на свалки, мусоросжигательные станции и т.п., а на крупных канализационных станциях их дробят в специальных машинах и вновь сбрасывают в поток сточных вод для улавливания, в последующих очистных сооружениях. Реже при механической очистке сточной жидкости применяют процеживание через сито (для улавливания волокнистых примесей). Песок, шпак, а также основную массу органических соединений, находящихся во взвешенном состоянии, осаждают из сточной жидкости (путем резкого уменьшения скорости ее движения) в песколовках

и отстойниках (рисунок 12), которые по конструкции бывают горизонтальными, радиальными и вертикальными.

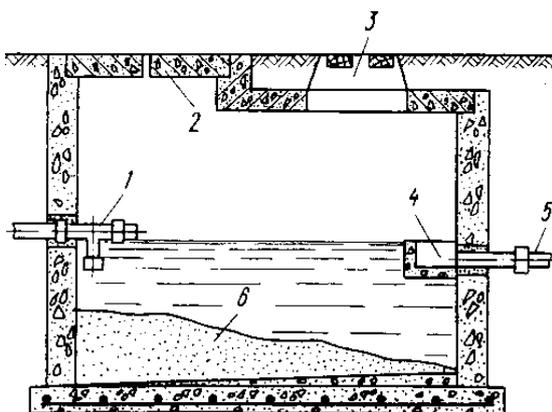


Рисунок 12 - Схема песколовки

1 - впуск сточной жидкости; 2 - съемная плита перекрытия песколовки; 3 - люк для удаления отстоя; 4 - лоток выпуска; 5 - выпуск сточной жидкости; 6 - отстой песка или грязи.

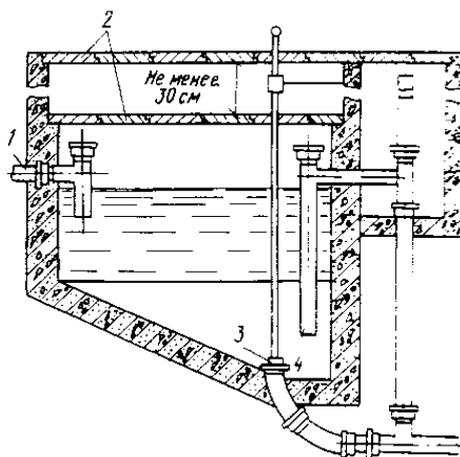


Рисунок 13 - Схема жироловки

1 - выпуск сточной жидкости; 2 - съемный настал (снимается для удаления уловленной массы); 3 - клапан для опорожнения жироловки; 4 - заборные отверстия для выпуска очищенной сточной жидкости

Перспективными являются полочные отстойники, получившие широкое распространение за рубежом. Отстаиванием улавливают всплывающие примеси (нефть, смолы, жиры) (рисунок 13).

Для механической очистки сточных вод используют песчаные и сетчатые фильтры. Их можно устанавливать также для дополнительной очистки сточной жидкости после отстаивания. Прогрессивным является метод разделения суспензий в гидроциклонах и центрифугах.

**Химическая очистка** сточной жидкости происходит при взаимодействии загрязнителей или загрязнителей и реагентов. В результате реакций

окисления и восстановления загрязнения переходят в новые соединения, выпадающие в осадок или выделяющиеся в виде газов. Особенно часто применяют реакцию нейтрализации, иногда в сочетании с коагуляцией.

Нейтрализация сточной жидкости происходит при смешении кислых и щелочных сточных вод, сточных вод с нейтрализующим реагентом, фильтрацией сточных вод через нейтрализующие материалы и другими способами. Кислые и щелочные сточные жидкости перемешивают в резервуарах-усреднителях, например прудах, рассчитанных не менее чем на суточное пребывание смешиваемых жидкостей. Нейтрализацию реагентом проводят в специальных камерах-нейтрализаторах, причем нейтрализатор может быть совмещен с отстойником. В качестве фильтрующего материала применяют известняк, мрамор и доломит. Этим способом обрабатывают обычно соляно-, азотно- и сернокислые воды.

**Физико-химическая очистка** основана на процессах коагуляции, флокуляции, экстракции, сорбции, эвапорации, флотации, кристаллизации, электролизе и др.

**К о а г у л я ц и я** применяется для ускорения процесса осаждения тонкодисперсных примесей и эмульгированных смол, если простое отстаивание или фильтрование не дает удовлетворительного результата. В качестве коагулянта добавляют сульфат алюминия, алюминат натрия и др.

**Ф л о к у л я ц и я** применяется для интенсификации процессов коагуляции и осаждения взвешенных частиц. С этой целью широко используют органические природные и синтетические реагенты.

**П р и э к с т р а к ц и и** (рисунок 14) сточную жидкость смешивают с веществом (экстрагентом), в котором растворяется основная масса загрязнения, например для улавливания фенола из сточной жидкости в нее добавляют бензол. Плотность экстрагента меньше плотности сточной жидкости, поэтому при подаче снизу он поднимается вверх, встречает на своем пути загрязнения, соединяется с ними и удаляется сверху. Очищенная от уловленных загрязнений жидкость отводится снизу.

**П р и с о р б ц и и** загрязняющие жидкость частицы оседают на поверхности сорбентов, например активированных углей.

**П р и э в а п о р а ц и и** загрязняющие сточную жидкость летучие вещества (например, фенол) отгоняют с водяным паром. При этом летучие загрязнения сточной жидкости переходят в пар, который поступает далее в погложительную колонку, где очищается от загрязнений.

В энергетике, нефтяной, бумажной и пищевой промышленности

очистка сточной жидкости осуществляется напорной флотацией, в результате которой загрязняющие воду дисперсные частицы всплывают вместе с пузырьками воздуха, подаваемого в очистной аппарат снизу. Для интенсификации процесса в сточную жидкость иногда добавляют коагулянт (образующий хлопья) или пенообразующие вещества (пенная флотация). Загрязнитель, отделенный от сточной жидкости, удаляют с поверхности. Пенная флотация с озонированием применяется для очистки сточной жидкости от широко используемых в настоящее время поверхностно-активных веществ (ПАВ).

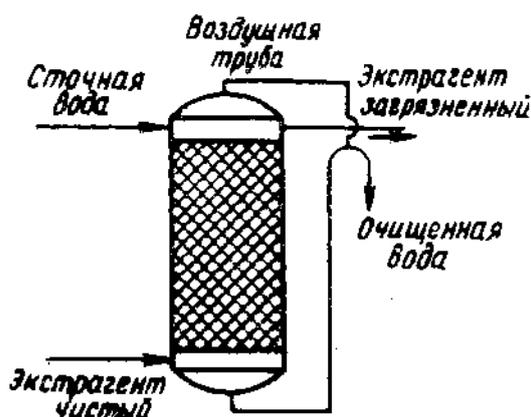


Рисунок 14 - Схема физико-химической очистки сточных вод.

При кристаллизации загрязнений из сточных вод выделяют в виде кристаллов. Кристаллизация происходит обычно в водоемах с повышенной концентрацией загрязнений.

Способ электролиза и электродиализа применяют для очистки от трудно окисляемых загрязняющих веществ. Электрогидравлический эффект, возникающий при разрядке токов высокого напряжения, можно использовать для разрушения сложных молекул загрязнителей (например, красителей).

Химической и физико-химической очистке подвергаются в основном промышленные сточные воды.

**Биологическая очистка** сточной жидкости применяется при загрязнении органическими веществами. Она основана на способности микроорганизмов использовать для питания находящиеся в сточных водах органические вещества. В результате сложного биохимического окисления, происходящего при наличии кислорода, происходит минерализация органических загрязнений. Образовавшиеся минеральные соединения увеличиваются в массе благодаря жизнедеятельности микроорганизмов (аэробных бактерий).

Биологическую очистку ведут либо в условиях, близких к естествен-

ным (на полях орошения, фильтрации, биологических прудах). либо в искусственных условиях (аэротенках, окислительных каналах с механическим орошением, биологических фильтрах и т.п.).

В крупных очистных сооружениях биологическую очистку производят в аэротенках (рисунок 15), представляющих собой емкость с очищаемой сточной жидкостью, через которую снизу вверх пропускается мелкими пузырьками воздух (иногда кислород). Для повышения эффективности очистки созданы новые конструктивные модели аэротенков: многосекционные и коридорные, с неравномерной подачей воды, смесители с поверхностным аэраторами - отстойники, фильтр-тенки, окситенки и др.

В связи с увеличением массы микроорганизмов после аэротенков их выделяют в виде активного ила, биопленки обычно в так называемых вторичных отстойниках. В очистных системах с аэротенками большая часть активного ила возвращается из вторичного отстойника в аэротенк, а прирост (избыточный ил) сбрасывается и обрабатывается с осадком из первичных отстойников. Таким образом, активный ил требуется только при запуске сооружений биологической очистки, в дальнейшем процесс только контролируют.

Для жизнедеятельности микроорганизмов необходимо наличие в сточных водах азота, фосфора и калия, поэтому при отсутствии этих элементов их вводят в виде соответствующих минеральных солей.

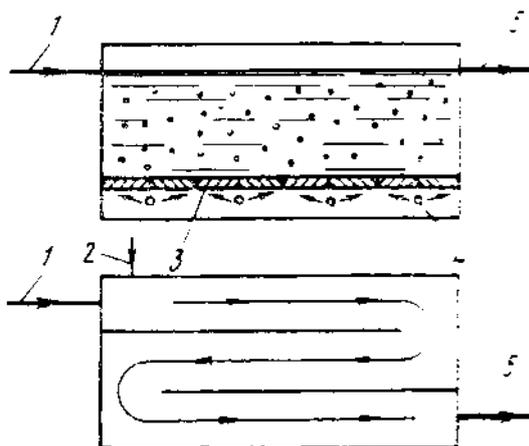


Рисунок 15 - Принципиальная схема аэротенка

1 - загрязненный поток; 2 - активный ил; 3 - фильтровые пластины для распределения воздуха, проходящего через толщу очищаемой воды; 4 - перфорированные трубы, через которые нагнетается воздух; 5 - очищенный поток.

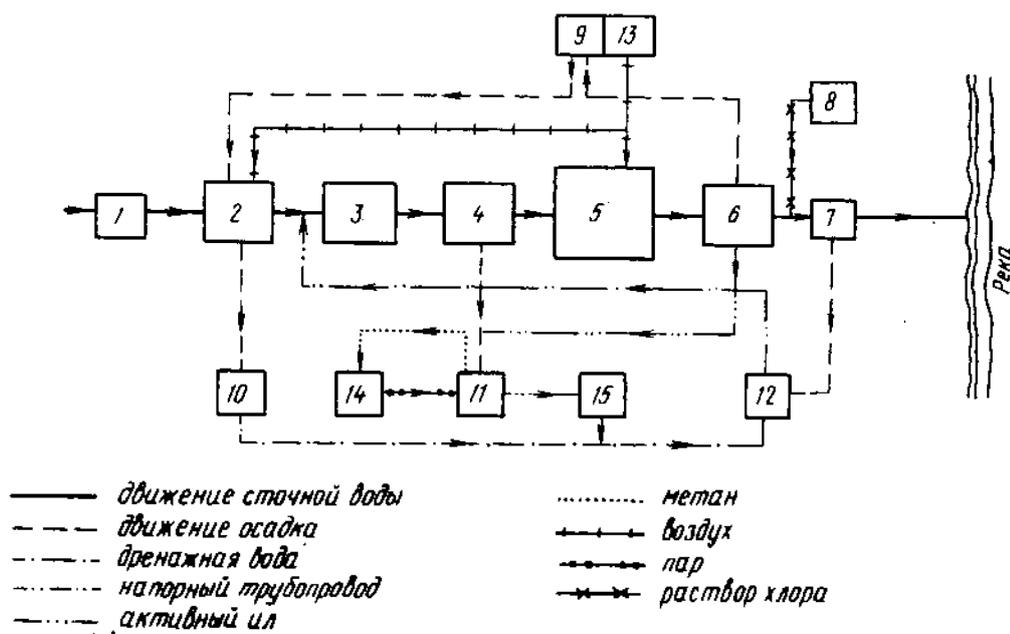


Рисунок 16 - Схема комбинированной очистки с аэротенками и сбрасыванием осадка в метантенках

1 - решетка; 2 - песколовки; 3 - преаэратор; 4 - первичные отстойники; 5 - аэротенки; 6 - вторичные отстойники; 7 - контактные резервуары; 8 - хлораторная; 9 - иловая насосная; 10 - песковые площадки ( для отвала песка из песколовков); 11 - метантенки; 12 - насосная станция; 13 - воздуходувная станция; 14 - котельная; 15 - иловая площадка или цех вакуум- фильтрации

Степень загрязнения сточной жидкости органическими веществами характеризуется биохимической потребностью в кислороде (БПК), необходимым для окисления органических загрязнений. Она может достигать нескольких тысяч миллиграммов на 1л. При биологической очистке получается вода, имеющая БПК-10 - 15 мг/л (полная очистка) или 30 - 50 мг/л (неполная очистка). БПК воды, используемой для водоснабжения, может достигать 3 мг/л.

После отстаивания очищаемую жидкость сбрасывают в водоемы. Если ее источником были хозяйственно-бытовые стоки, жидкость дезинфицируют.

Биологической очисткой удаляют 10 - 40% находящегося в сточной жидкости фосфора. Вместе с тем его количество увеличивается в связи с применением моющих средств, содержащих фосфор.

Сброс недостаточно очищенной от фосфора сточной жидкости в водоемы, особенно малопроточные, приводит к быстрому зарастанию их сине-зелеными водорослями. Для удаления соединений фосфора из городских сточных вод, а также при повторном использовании воды в промышленном водоснабжении применяется **биолого-химический метод** очистки. Этот способ характеризуется введением коагулянта в очищаемую жидкость и применением

повышенных доз активного ила в аэротенках.

Очистка сточных вод производится на очистных канализационных станциях, куда собираются сточные воды многих объектов. Если к системе канализации присоединяются промышленные предприятия с особо загрязненными стоками, то для того чтобы не нарушилась работа канализационных трубопроводов и очистных канализационных станций, сточные воды подвергают локальной (местной) очистке. При этом очистные сооружения, как правило, располагают на территории промышленных предприятий, иногда непосредственно в его цехах.

При локальной очистке применяют песколовки, жироловки и устройства для химической и физико-химической очистки. В ряде случаев очистка загрязненных сточных вод промышленных предприятий является сложной задачей.

На канализационных очистных станциях хозяйственно-бытовые и производственные воды, как правило, очищают совместно комбинированным способом (рисунок 16) с использованием механического, биологического и химического методов.

Отстаивание осадка на установках большой мощности производится в первичных и вторичных отстойниках, а дезинфекция хлором оставшихся после очистки микроорганизмов - в специальных емкостях (контактных резервуарах).

Задержанные в отстойниках вещества (в основном избыточный ил) направляют в специальные емкости (метантенки), где они при температуре до 53°C сбродиваются (перегнивают) без доступа кислорода под влиянием анаэробных бактерий. Бактерии разлагают органическую часть загрязнений на минеральные соли с выделением метана и углекислого газа, тем самым уменьшая эту часть загрязнений на 50%. Сброженный, перегнивший осадок выгружают на иловые площадки, где его подсушивают до состояния влажной земли, после чего используют как удобрение. На крупных очистных станциях такие иловые площадки занимают большие территории. Для их уменьшения сброженный осадок обезвоживают, например на вакуум-фильтрах.

Для подачи воздуха в аэротенки очистные станции имеют воздуходувки.

Метан, полученный из метантенков, используют в котельной, вырабатывающей тепло для нужд очистных станций.

В составе очистных станций предусматривают компрессорные для

пневматической аэрации сточной жидкости, насосные для перекачки оборотных сточных вод, дренажных вод, осадка сырого и сброженного активного ила, а также хлораторную, склады хлора, материальный склад, мастерские, контору и лабораторию.

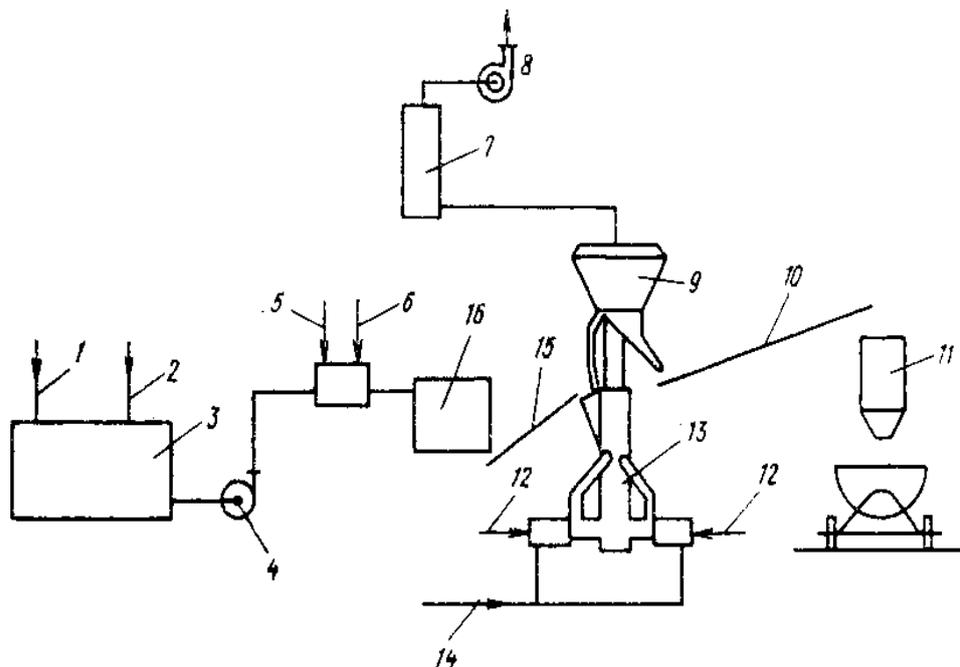


Рисунок 17 - Схема приготовления несброженного осадка для использования в качестве удобрения

1 - несброженный осадок; 2 - избыточный уплотненный активный ил; 3 - резервуар-регулятор; 4 - насос; 5 - хлорное железо; 6 - известковая суспензия; 7 - установка для очистки парогазовой смеси, отсасываемой от сушилки; 8 - вентилятор; 9 - сепаратор воздушно-проходного типа (выполняет досушку и разделение по фракциям с возвратом пылевидной фракции); 10 - ленточный транспортер; 11 - бункер готового продукта; 12 - сжатый воздух; 13 - сушилка со встречными струями; 14 - сетевой газ; 15 - транспортер; 16 - вакуум-фильтр или фильтр-пресс.

Применяются очистные станции без метантенков, выдающие гранулированный несброженный осадок (рисунок 17). Осадок из отстойников направляют в фильтры для обезвоживания. В процессе механического обезвоживания к исходному осадку для улучшения его водоотдачи добавляют реагенты: хлорное железо 2 - 4% и известь 10 - 15% массы сухого вещества. Далее осадок попадает в сушилку со встречными горящими газовыми струями, в которой он одновременно подсушивается и гранулируется (без выгорания органической части). Под воздействием высокой температуры в нем гибнут болезнетворные организмы. Из сушилки смесь сухого гранулированного осадка (влажностью 30 - 50%), продуктов сгорания, пара и газа подается в сепаратор, где гранулированный осадок отделяется для дальнейшего использования в качестве удобрения.

Выходящая парогазовая смесь может загрязнять наружную воздушную среду, в связи с чем должны быть приняты меры, предупреждающие это загрязнение. Загрязнение воздушной среды происходит также при сжигании осадка на некоторых промышленных предприятиях при локальной очистке сточных вод.

Очистные станции, выдающие гранулированный несброженный осадок, по единовременным и приведённым затратам обходятся на 30% дешевле, чем станции с метантенками. Они занимают значительно меньшую территорию.

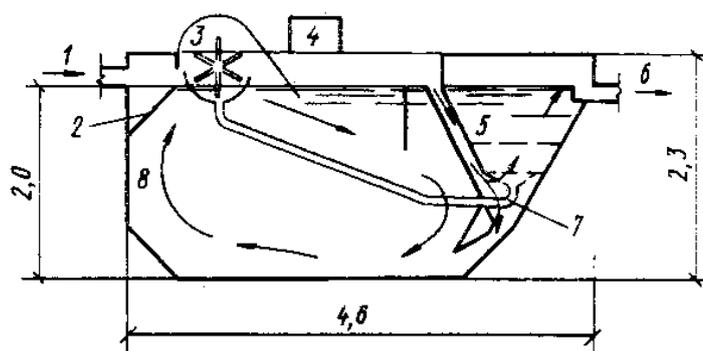


Рисунок 18 - Схема компактной установки заводского изготовления для очистки сточных вод методом полного окисления

1 - подающий трубопровод; 2 - пескоулавливающий лоток; 3 - механический аэратор; 4 - электродвигатель и редуктор под кожухом; 5 - отстойная зона; 6 - отводящий трубопровод; 7 - трубопровод, 8 - аэрационная зона.

Для очистки небольшого количества сточной жидкости применяют компактные очистные установки с пневматической и механической аэрацией производительностью от 12 до 700 м<sup>3</sup> сточной жидкости в сутки. На рисунке 18 приведена схема очистной установки с механической аэрацией.

Установка предназначена для полной биологической очистки бытовых и близких к ним по составу промышленных сточных вод и представляет собой металлический резервуар, разделенный системой перегородок на аэрационную и отстойную зоны.

Аэрация сточных вод осуществляется механическим аэратором роторного типа с приводом от электродвигателя с редуктором. Технологическая схема работы установки следующая. Сточная жидкость по присоединительному патрубку поступает в пескоулавливающий лоток и проходит через решетку с прозорами по 16 мм, задерживающую крупные примеси. Из лотка сточную жидкость направляют в аэрационную зону, где она очищается активным илом. Для жизнедеятельности и развития активного ила в жидкость постоянно подают воздух механическим аэратором. Через щель

сточная жидкость поступает в отстойную зону, где отделяется активный ил. Осевший активный ил частично возвращается в аэрационную зону, где он снова участвует в процессе очистки. Очищенная сточная жидкость через лотки и сбросной патрубков выходит из установки и поступает в водоем.

В зависимости от способа подачи сточной жидкости установку монтируют на уровне земли или заглубляют ее так, чтобы сточная жидкость поступала в нее самотеком. В первом случае требуется утепление установки, во втором случае в климатических зонах со средней зимней температурой до  $-30^{\circ}\text{C}$  установки монтируют на открытом воздухе. При более суровых климатических условиях над установкой сооружают неотапливаемый шатер. Установку можно располагать в непосредственной близости от канализуемых объектов.

Обслуживание установки сводится к ежедневной очистке решетки, контролю за работой двигателя аэратора, периодической профилактике и удалению осадков и избытков активного ила на иловую площадку переносным насосом (1 раз в 3 - 4 месяца).

Для размещения компактных очистных установок со всеми вспомогательными устройствами требуется небольшая площадь.

Кроме загрязнения водоемов различными вредными веществами, поступающими со сточными водами, существует так называемое тепловое загрязнение водоемов, вызванное сбросом в них теплой воды. Основным источником такого загрязнения являются тепловые электростанции, забирающие воду из водоемов для охлаждения конденсаторов и потом сбрасывающие ее туда с более высокой температурой. Это само по себе не оказывает прямого воздействия на качество воды. Однако повышение температуры воды в водоеме интенсифицирует биологические процессы: приводит к «цветению» воды, уменьшению растворенных в ней газов, изменению ее физических и химических свойств. При спуске хозяйственно-бытовых вод в такие водоемы из них высеиваются патогенные микроорганизмы кишечной группы, которые не только хорошо выживают, но и быстро размножаются. Повышение температуры в водоемах отрицательно влияет на некоторые сорта рыб.

Для устранения теплового загрязнения водоемов электростанциями устраивается обратное водоснабжение. Однако делается это не всегда.

При сбросе тепловых вод в водоемы перспективно использование их для тепловодного рыбоводства. Его преимущество по сравнению с традиционными методами искусственного выращивания рыбы состоит в интенсифи-

кации производства: например, карма выращивают за 1 – 2 года вместо 4 лет, а растительных рыб за 2 - 3 года вместо 5 - 8 лет.

### 3.11 Уменьшение количества сбрасываемых сточных вод

Доочистка очищенной сточной жидкости на очистных станциях и ее дальнейшее использование для промышленного водоснабжения наиболее эффективно. Процесс доочистки сводится в большинстве случаев к дополнительному пропусканию очищенной воды через фильтры того же типа, что и на водопроводных станциях (песчаные и сетчатые микрофильтры). Иногда применяют метод флотации, а также сорбции.

После доочистки воду подают в сеть промышленного водоснабжения для использования на технологические нужды, в частности для охлаждения, технологического оборудования, а также в качестве поглощающей и транспортирующей среды для механических примесей в химической, металлургической, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, угольной, машиностроительной, энергетической, целлюлозно-бумажной, лесной, деревообрабатывающей и других отраслях промышленности при исключении контакта персонала с технической водой.

Расчеты показывают, что гораздо экономичнее использовать очищенные городские сточные воды в качестве технической воды по сравнению с забором воды из городских водопроводов.

**Оборотное водоснабжение** также уменьшает количество сбрасываемой промышленными предприятиями сточной жидкости, причем применение этого метода возможно в очень широких масштабах.

Особенно часто оборотное водоснабжение используют для охлаждения технологического оборудования (рисунок 19). При этом вода, охлаждающая оборудование, не выбрасывается в канализацию, а неоднократно используется: поступает на охлаждение в градирни, после чего насосом снова подается в технологическое оборудование и т.д.

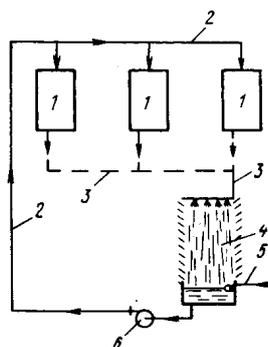


Рисунок 19 - Схема оборотного водоснабжения, используемого для охлаждения технологического оборудования

1 - охлаждаемое технологическое оборудование; 2 - трубопровод подачи охлажденной воды к оборудованию; 3 – трубопровод, подающий нагретую воду от оборудования; 4 - аппарат, охлаждающий воду (например, градирня); 5 - водопровод; 6 - центробежный насос

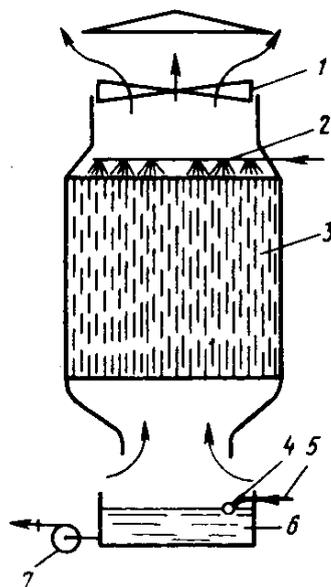


Рисунок 20 - Схема устройства пленочной градирни с вентилятором

1 - вентилятор; 2 - трубопровод с форсунками, разбрызгивающими охлаждаемую воду; 3 - насадка; 4 - поплавковый клапан; 5 - водопровод; 6 - поддон для сбора охлажденной воды; 7 - насос для подачи охлажденной воды.

В градирнях вода охлаждается наружным воздухом, в основном в результате испарения небольшой части воды. При этом процессе скрытая теплота парообразования отнимается от самой воды, вследствие чего и понижается ее температура. Количество испаряемой воды зависит от площади ее поверхности, условий теплообмена с воздухом (его температуры и влажности) и скорости движения.

В связи с тем, что часть циркулирующей в системе оборотного водоснабжения воды испаряется, систему приходится постоянно пополнять. Добавляют воду обычно в поддон градирни с помощью поплавкового клапана, который устанавливают на водопроводе.

Градирни бывают капельными и пленочными (рисунок 20). В первых вода разбрызгивается на мелкие капли, во вторых в основном стекает тонкими пленками. Воздух в градирни поступает снизу, поднимается навстречу падающему потоку воды и, забрав тепло, уходит в атмосферу.

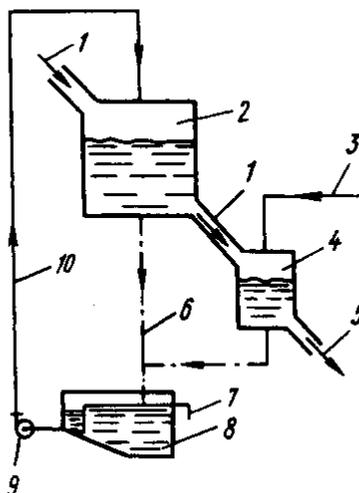


Рисунок 21 – Схема оборотного водоснабжения для мойки (промывки) сырья, полупродуктов, продуктов

1 - поток промываемого вещества; 2 - промыватель на оборотной воде; 3 - водопровод; 4 - промыватель на водопроводной воде; 5 - поток промытого вещества; 6 - трубопровод, подающий загрязненную воду; 7 - канализация; 8 - аппарат для очистки оборотной воды (например, отстойник); 9 - насос; 10 - трубопровод, подающий очищенную воду.

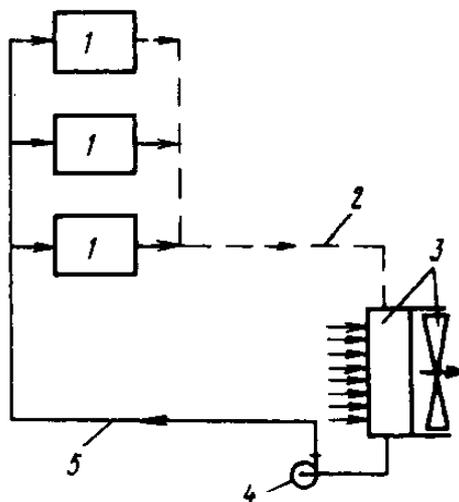


Рисунок 22 – Схема воздушного охлаждения оборудования с применением промежуточного теплоносителя

1 - охлаждаемое водой технологическое оборудование; 2 - трубопровод, подающий нагревшуюся в оборудовании воду на водоохладитель; 3 - поверхностный теплообменник (с вентилятором) для охлаждения воды наружным воздухом; 4 - насос; 5 - трубопровод, подающий охлажденную воду на оборудование

Движение воздуха может быть естественным (под влиянием разности температур и плотностей наружного воздуха и воздуха в градирне) и искусственным (создаваемым вентилятором). В последнем случае градирни называют вентиляторными. Градирни размещают на территории предприятия.

Для охлаждения воды применяют также фонтаны, охлаждающие пруж-

ды и брызгальные бассейны.

В охлаждающих прудах тепломассообмен между охлаждающейся водой и воздухом происходит с поверхности воды, в брызгальных бассейнах - поверхности воды и разбрызгиваемых капелек, которые сначала (под напором) поднимаются вверх, а потом падают в бассейн. Для экономии тепла целесообразно использовать тепло охлаждаемой воды для нагревания холодной воды, идущей на горячее водоснабжение. В качестве охладителей в оборотном водоснабжении применяют теплообменные аппараты (например, бойлеры).

Оборотное водоснабжение можно применять для технологических процессов, не связанных с охлаждением оборудования, например для промывки сырья, мойки полупродуктов и пр. (рисунок 21). При этом вода, промывающая тот или иной материал, не выбрасывается, а попадает в очистное сооружение. После очистки вода насосом вновь подается в оборудование для промывки материала. Для окончательной (более чистой) промывки иногда устанавливают дополнительное оборудование, работающее на проточной водопроводной воде (рисунок 21). Потребность в воде при оборотном водоснабжении по сравнению с прямоточным уменьшается в 20 - 25 раз.

В ряде случаев (например, при остром недостатке воды или ее большой стоимости) для охлаждения оборудования применяют безводный метод. При этом для охлаждения греющих поверхностей оборудования используют холодный воздух, в том числе с применением промежуточного теплоносителя, например воды, которая циркулирует, не испаряясь, по замкнутому герметическому контуру (рисунок 22). В последнем случае теплоноситель охлаждается в поверхностных теплообменниках.

**Повторное использование водопроводной воды** также уменьшает количество сточных вод, сбрасываемых промышленными предприятиями. Оно состоит в том, что после использования воды в одном технологическом процессе ее применяют в другом.

Поскольку режим первичного использования воды (в первой группе технологического оборудования) обычно не совпадает с режимом ее повторного применения, за первой группой оборудования приходится устанавливать накопитель воды в виде сообщающейся с атмосферой емкости и насос, который из накопителя подает воду для повторного использования (рисунок 23).

Если при первичном использовании вода загрязняется, то перед повторным применением ее очищают.

Использование сточных вод после доочистки, обратное водоснабжение и повторное использование воды кроме уменьшения загрязнения водоемов экономически выгодно и уменьшает расход пресной воды, т.е. экономит природные ресурсы.

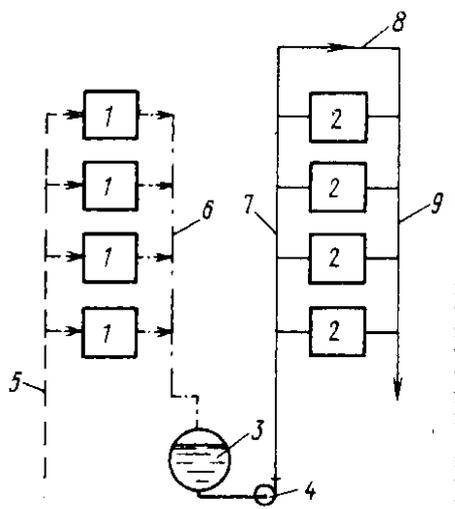


Рисунок 23 - Схема повторного использования воды с установкой накопителя и насоса

1 - технологическое оборудование, использующее водопроводную воду; 2 - технологическое оборудование, использующее отработанную воду; 3 - накопитель; 4 - насос; 5 - водопровод; 6 - трубопровод, подающий отработанную воду в накопитель; 7 - трубопровод, подающий воду для повторного использования; 8 - трубопровод для сброса избытка отработанной воды; 9 - трубопровод для сброса использованной воды в канализацию

Для пополнения пресных подземных вод их питают поверхностными водами, которые по мере прохождения через слои земли до места водоразбора скважины очищаются.

Все мероприятия по уменьшению расхода пресной воды вызваны не только необходимостью предохранения водоемов от загрязнения, но и ее дефицитностью: из мировых водных запасов (14 млрд.км<sup>3</sup>) на долю пресной воды приходится лишь 2,7%, причем из них только 0,36% - на реки, озера и болота, которые доступны для человека.

### 3.12 Сброс сточных вод в водоемы

Сброс сточных вод в водоемы регламентируется рядом нормативных документов. Согласно им, запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды, которые могут быть устранены с помощью рациональной технологии, максимального использования систем оборотного и повторного водоснабжения или устройства бессточных производств, воды, содержащие ценные отходы, а также те воды, которые с учетом их состава и местных

условий могут быть использованы для орошения в сельском хозяйстве.

Действующая НТД запрещает вводить в эксплуатацию новые и реконструированные предприятия, цехи, агрегаты, не обеспеченные устройствами, предотвращающими загрязнение и засорение вод или их вредное воздействие. Использовать водоемы для сброса сточных вод разрешено только при соблюдении специальных требований и условий, предусмотренных законодательством. При этом сброс производственных, коммунально-бытовых и других сточных вод возможен только после согласования с органами, осуществляющими государственный санитарный надзор, охрану рыбных запасов, и другими заинтересованными организациями.

Сброс сточных вод практически допускается только в тех случаях, если он не ведет к увеличению в водоеме загрязняющих веществ свыше установленных норм, и при условии очистки водопользователем сточных вод до пределов, установленных органами по регулированию использования и охране вод.

Лица, виновные в загрязнении и засорении водоемов, несут уголовную или административную ответственность в соответствии с законодательством.

Поверхностные водоисточники подразделены на водоемы санитарно-бытового использования и водоемы, используемые в рыбохозяйственных целях. Как те, так и другие в свою очередь подразделяются на два вида. Водоемы санитарно-бытового использования имеют участки для забора воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения или водоснабжения пищевых предприятий и участки, предназначенные для спортивных сооружений, купания, отдыха населения.

Водоемы рыбохозяйственного использования подразделяют на участки, где воспроизводятся и сохраняются ценные сорта рыбы, и на участки, предназначенные для других рыбохозяйственных целей. Согласно правилам, после спуска сточных вод увеличение содержания взвешенных веществ в водоемах первого вида не должно быть более 0,25 мг/л, а в водоемах второго вида - не более 0,75 мг/л.

Вода в водоемах не должна приобретать каких-либо специфических привкусов и запахов; для сохранения способности водоема к самоочищению содержание растворенного кислорода в нем должно быть не менее 4 или 6 мг/л в зависимости от назначения.

Биохимическая потребность в кислороде при температуре воды в водоемах 20°C не должна превышать 3 мг/л; в водоемах, предназначенных для купания, спорта и отдыха, и в водоемах, находящихся в черте населенных

мест, она должна быть не более 6 мг/л. Водородный показатель воды в водоеме должен находиться в пределах 6,5 - 8,5.

Сточные воды в смеси с дистиллированной водой в пропорции, соответствующей разбавлению в водоеме, не должны давать явно выраженной окраски в столбике высотой 20 см для водоемов первого вида и 10 см для водоемов второго вида.

Сточные воды как в растворе, так и во взвешенном состоянии не должны содержать ядовитых веществ, которые могли бы оказать прямое или косвенное вредное воздействие на человека, животных, рыб и водные организмы, служащие кормовой базой для рыб.

Концентрации вредных веществ в водоемах не должны превышать предельно допустимых. Сточные воды, сброшенные в водоемы, не должны создавать на их поверхности пленки нефтепродуктов, масел и других примесей, а также значительно повышать температуру воды.

Для того чтобы сточные воды в наименьшей степени оказывали вредное влияние на водоемы, необходимо, чтобы они возможно быстрее перемешались с водой водоема; выпускать сточную жидкость можно лишь на некотором расстоянии от берега.

Лучшее смешивание сточной жидкости с водой водоема обеспечивают рассеивающие выпуски (через несколько патрубков на выпускной трубе), располагаемые в фарватере реки, где скорость течения наибольшая. По высоте выпуск должен быть размещен ниже горизонта талой воды. Чтобы выпускная труба и патрубки не повреждались проходящими судами, место выпуска ограждают сигнальными устройствами.

Сточные воды спускают в водоемы возможно дальше по течению от мест водозабора и купания, спортивных или других комплексов.

### **3.13 Уменьшение загрязнения окружающей среды твердыми отходами**

Все, что производится человечеством для удовлетворения его потребностей в виде продуктов питания, одежды, мебели, машин, т.е. все, что добывается, выпускается промышленностью и сельским хозяйством, строится, рано или поздно превращается в отходы. Часть этих отходов удаляется вместе со сточными водами, другая часть в виде газов, паров и пыли попадает в атмосферу, но большая часть выбрасывается в виде твердых отходов, поэтому развитие безотходного производства (по замкнутому циклу), значительно сокращающего количество промышленных отходов, в частности твердых, является актуальной проблемой.

Объем бытовых отходов в расчете на одного человека увеличивается

примерно на 3 - 5% в год и по некоторым оценкам, уже достигло критической массы. Состав ТБО постоянно усложняется, включая все больше экологически опасных компонентов.

Проблема твердых отходов обостряется тем, что многие изделия и материалы почти не разлагаются в естественных условиях. Так, если для разложения шерстяных изделий требуется 5 лет, то для полихлорвиниловых пакетов - до 20 лет, металлических изделий - более 100 лет, стекла - 1 млн лет, а пластиковая тара практически не разлагается.

Существует три способа решения проблемы твердых бытовых отходов: 1) захоронение; 2) уничтожение; 3) вторичная переработка.

Удаление (вывоз) промышленных отходов, как правило, производится самими предприятиями в специальные места захоронения (иногда отвалы) или на общие свалки, куда вывозятся твердые бытовые отходы (мусор) из города. Сбор твердых бытовых отходов производится по мусоропроводам в мусороприемные камеры и далее в мусоровозы. При отсутствии мусоропроводов мусор собирается в специальные контейнеры, затем перегружается на мусоровозы. В некоторых городах организован сбор мусора от населения непосредственно в мусоровозы, которые приезжают для этого в строго установленное время («по звонку»). Однако все эти методы не совершенны и в ряде случаев не гигиеничны, так как мусороприемные камеры и контейнеры являются источником неприятных запахов и рассадником насекомых и грызунов.

В последнее время в некоторых странах стали применять пневматический транспорт для удаления мусора из мусоропроводов по горизонтальным подземным каналам до станции, обслуживающей несколько зданий (микрорайон). На этих станциях после прессования (для уменьшения объема) мусор перегружается в мусоровозы.

Твердые отходы пока еще свозятся на так называемые неконтролируемые свалки - специально отведенные в пригородах отгороженные участки. Отходы на них разлагаются, иногда загораются, в результате происходит загрязнение воздушной среды, иногда токсичными веществами, которые могут попасть на свалки с промышленными отходами. Кроме того, вредные вещества из неконтролируемых свалок, например из пищевых отходов, могут вымываться дождем, талыми и поверхностными, а в некоторых случаях грунтовыми водами и загрязнять водоемы и подземные воды.

**Переработка твердых отходов на компост** является более совершенным, хотя и менее экономичным приемом их обезвреживания и исполь-

зования. С этой целью применяют полевое компостирование, кроме того, отходы перерабатывают на специальных заводах. Наиболее совершенным сейчас считается непрерывный процесс компостирования с аэробным окислением органических отходов во вращающемся наклонном барабане.

Выгруженный в приемный бункер мусор с помощью дозирующего бункера с пластинчатым питателем подается ровным слоем на транспортер, откуда магнитным сепаратором и вручную из него извлекают металлический лом. Частично освобожденная от металла масса поступает во вращающиеся барабаны (ферментеры), сделанные на основе обжиговых цементных печей. В них происходит процесс переработки мусора в органическое удобрение - компост. Барабан (диаметром 4 м и длиной 60 м) заполняется массой на  $\frac{2}{3}$  объема (частота вращения его 1 -  $\frac{1}{3}$  об/мин). Для окисления специальным вентилятором подается воздух. Отходы находятся в барабане трое суток, за это время он делает до 2000 оборотов. Процесс происходит с выделением тепла, вследствие чего компостируемая масса обезвреживается, а бумажная масса и пищевые отходы измельчаются в частицы размером 1 - 2 мм. После дополнительной сепарации металла масса попадает на грохот для отделения некомпостируемых отходов: резины, кожи, текстиля, а также дерева, цветного металла и полимерных материалов, которые составляют  $\frac{1}{3}$  массы перерабатываемых отходов.

Компостируемый материал из грохота поступает в измельчитель, размер частиц доводится до 25 мм (стекла как наиболее хрупкого компонента - до 3 мм). В таком виде компост можно использовать в сельском хозяйстве. В нем (в расчете на сухое вещество) содержится около 1% азота и по 0,5% фосфора и калия, а также необходимые для подкормки растений микроэлементы. Внесение компоста в почву улучшает ее структуру. Некомпостируемая часть отходов после удаления из нее ценных компонентов, в частности цветных металлов, отвозится на свалку.

**Сжигание твердых отходов** является другим рациональным приемом их обезвреживания с использованием выделяющегося при этом тепла. Этот процесс происходит на мусоросжигательных станциях (заводах) (рисунок 24), имеющих паровые или водогрейные котлы со специальными топками. Температура в топке должна быть не менее-  $1000^{\circ}\text{C}$ , для того чтобы сгорали все дурнопахнущие примеси газов и не происходило бы зашлаковывания колосников. Перед выходом в дымовую трубу газы необходимо очищать, например, с помощью электрических фильтров. Металлический лом отделяют от шлака электромагнитным сепаратором.

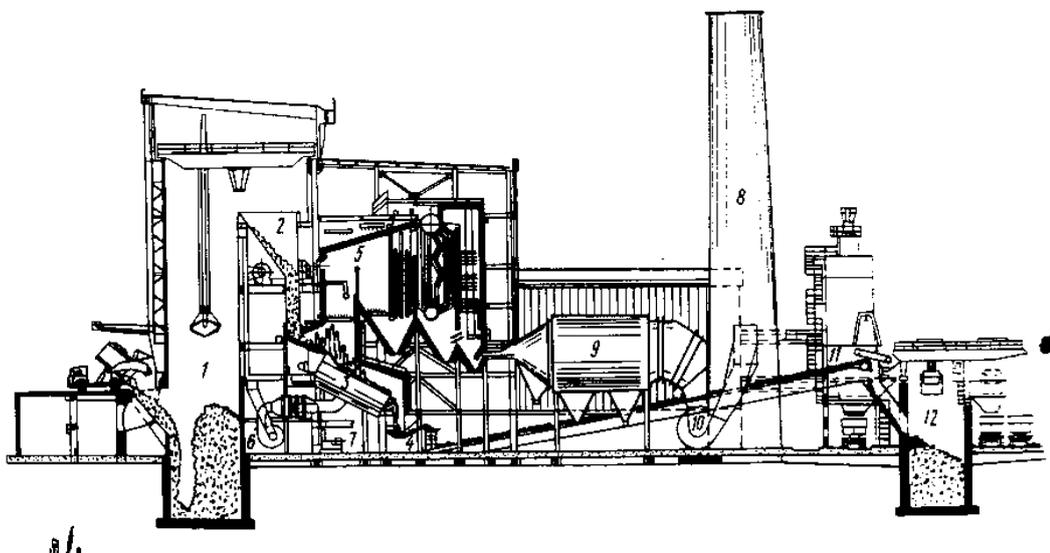


Рисунок 24 - Мусоросжигательная станция

1 - приемный бункер; 2 - загрузочная воронка топки; 3 - механическая колосниковая решетка, на которой сгорают твердые бытовые отходы; 4 - ванна для охлаждения шлака; 5 - паровой котел, нагреваемый за счет сжигания отходов; 6 - дутье воздуха в топку; 7 - питательный насос для подачи воды в котел; 8 - дымовая труба; 9 - электрофильтр для дымовых газов; 10 - дымосос; 11 - электромагнитный сепаратор; 12 - бункер шлака

Тепло, полученное при сжигании твердых отходов, используется для выработки электрической энергии или теплоснабжения, при этом работа мусоросжигательных станций согласуется с работой электрических станций и районных котельных.

Переработка отходов на компост и сжигание их с использованием получающегося при этом тепла являются, по существу, завершением безотходного процесса.

Сжиганием, компостированием и захоронением в высоконагружаемых полигонах можно обезвреживать твердые бытовые и многие промышленные отходы. Последние по санитарно-гигиеническим характеристикам и возможности совместного обезвреживания с бытовыми отходами делятся на практически инертные, биологически окисляемые легко разлагающиеся органические вещества, слаботоксичные, малорастворимые в воде (в том числе при взаимодействии с органическими кислотами), нефтемаслоподобные (не подлежащие регенерации), токсичные со слабым загрязнением воздуха (превышение ПДК в 2 - 3 раза) и особо токсичные. Совместно с твердыми бытовыми отходами могут складироваться слаботоксичные отходы стеклоткани, липкой ленты, полиэтиленовых труб, гетинакса (слоистого пластика), текстолита, асбестоцемента, карболита, твердые отходы суспензионного производства сополимеров стирола с акрилонитрилом или метилметакрилатом,

эмульсионного производства акрилонитрилбутадиенстирольных пластиков и суспензионного производства полистирольных пластиков, а также отходы, содержащие биологически окисляемые вещества (древесина, опилки, стружка, невозвратная деревянная и бумажная тара предприятий авиационной промышленности без промасленной бумаги и пр.).

При совместном сжигании бытовых и промышленных отходов (в том числе илистых и пастообразных консистенциях) следует учитывать удельную теплоту сгорания, зольность, взрывоопасность, температуру воспламенения, плавления и другие показатели, причем в каждом случае рекомендуется составлять топливный план с указанием доз промышленных отходов и свойств отдельных компонентов.

Кроме того, для промышленных отходов организуют специальные полигоны двух типов: для обезвреживания одного вида отходов захоронением или химическим способом и для централизованной переработки и обезвреживания твердых, пастообразных и жидких отходов, которые недопустимо сбрасывать со сточными водами (комплексные). Особо вредные промышленные отходы помещают в специальной таре на глубину 10 - 12 м в котлованы из водонепроницаемых грунтов или в железобетонные резервуары. Однако главным направлением в устранении вредного воздействия промышленных отходов на окружающую среду является их использование в производственных циклах, т.е. организация малоотходных производств.

В последние годы в разных странах реализуется много новых предложений и исследований, направленных на использование твердых бытовых отходов. Это, прежде всего, переработка мусора пиролизом с образованием кокса, жидкого и газообразного топлива. Преимущество получения из отходов топлива по сравнению с получением тепла при сжигании мусора состоит в возможности накопления топлива и его транспортировки. Во многих странах организован отдельный сбор мусора, который вошел в привычку у жителей и освобождает органы государственного управления от необходимости нанимать специальных работников для сортировки отходов. На начальном этапе главным инструментом, побуждающим людей сортировать мусор самостоятельно, был штраф. Однако в дальнейшем все большую роль стало играть моральное воздействие. Наряду с этим для создания экономических стимулов широко применяется такой инструмент косвенного эколого-экономического регулирования, как система залоговых цен.

Основными стимулами, побуждающими предпринимателей специализироваться на вторичной переработке отходов, являются кредитные и нало-

говые льготы, а также режим ускоренной амортизации основного капитала. Кроме того, применяются и инструменты прямого эколого-экономического регулирования в виде стандартов на производственные технологии.

### 3.14 Защита от шума

Уменьшение шума в источниках его образования является наиболее эффективной мерой борьбы с ним, поэтому при проектировании и выборе станков, машин, установок (вентиляторов, компрессоров, насосов и т.д.) необходимо учитывать режим их работы и акустические характеристики. Так, значительно уменьшить шум можно использованием вентилятора с небольшой частотой вращения. Увеличение шума часто происходит от дефектов, возникающих при эксплуатации механического оборудования: нарушения балансировки вращающихся элементов, недопустимого износа деталей, плохой смазки и т.п.

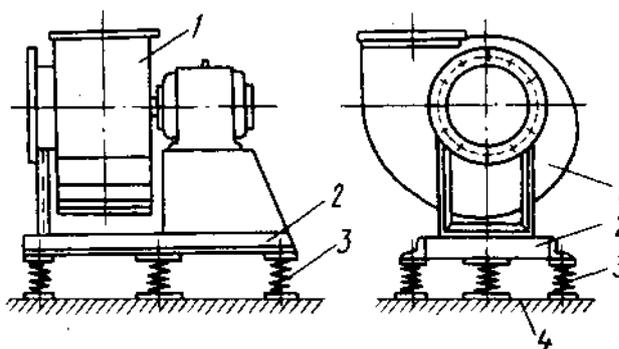


Рисунок 25 - Виброизолирующее основание для центробежного вентилятора  
1 - центробежный вентилятор; 2 - рама; 3 - пружинный виброизолятор; 4 - фундамент

Для уменьшения вибрации механическое оборудование устанавливают на фундаменты с амортизирующими прокладками. Вентиляторы и насосы, например, укрепляют на пружинных виброизоляторах (рисунок 25). Фундамент для стационарно установленного оборудования нужно располагать на грунте изолированно от строительных конструкций. Для тяжелого механического оборудования это требование обязательно. Механическое оборудование присоединяют к коммуникациям с помощью гибких вставок.

Если позволяют технологический процесс и условия эксплуатации - оборудование заключают в кожухи, покрытые изнутри звукопоглощающими материалами, например пенополиуретаном. Кожух устанавливают на резиновых прокладках, не допуская соприкосновения его с оборудованием. Чтобы уменьшить вибрацию от привода оборудования, стенки кожуха покрыва-

ют вибродемпфирующим материалом. Кожухи со звукопоглощающими покрытиями делают не только на стационарно установленном оборудовании, но и на передвижных установках и в транспорте. В автомобилях звукопоглощающими материалами покрывают стенки, днище, багажник и место расположения двигателя. При этом шум уменьшается не только в салоне или в кабине водителя, но и в окружающей среде: именно эту функцию выполняет звукопоглощающее покрытие капота, применяющееся в некоторых конструкциях автомобилей.

При проектировании промышленных предприятий и гражданских зданий оборудование, являющееся источником шума, размещают в изолированных помещениях. Чтобы предотвратить отражение звука, потолок, стены и перекрытия покрывают звукопоглощающей облицовкой. Площадь облицовки определяют расчетом. Если полученная в результате расчета площадь недостаточна для снижения уровня звукового давления, а также вместо облицовки потолка и над отдельными источниками устраивают штучные звукопоглотители или устанавливают экраны между источником шума и защищаемым местом.

Часто воздушный шум аэродинамического происхождения возникает при движении воздуха через вытяжные и особенно приточные отверстия в системах вентиляции и кондиционирования. Для его устранения уменьшают скорость потока воздуха и удаляют препятствия, например решетки, на его пути. Кроме того, на приточных отверстиях устанавливают конические патрубки, которые создают высокое сопротивление проходящему воздуху, способствуя его правильному распределению. Для уменьшения распространения шума до вентиляционных камер и кондиционеров и после них по ходу движения воздуха устанавливают глушители (рисунок 26) из звукопоглощающего материала, например мягких матов или полужестких плит из стекловолокна, которые закладывают за перфорированные металлические листы. При этом важно, чтобы гидравлическое сопротивление глушителя было минимальным. Подобные глушители устанавливают не только у вентиляционных установок, но и у газодинамических установок, например компрессоров (рисунок 27).

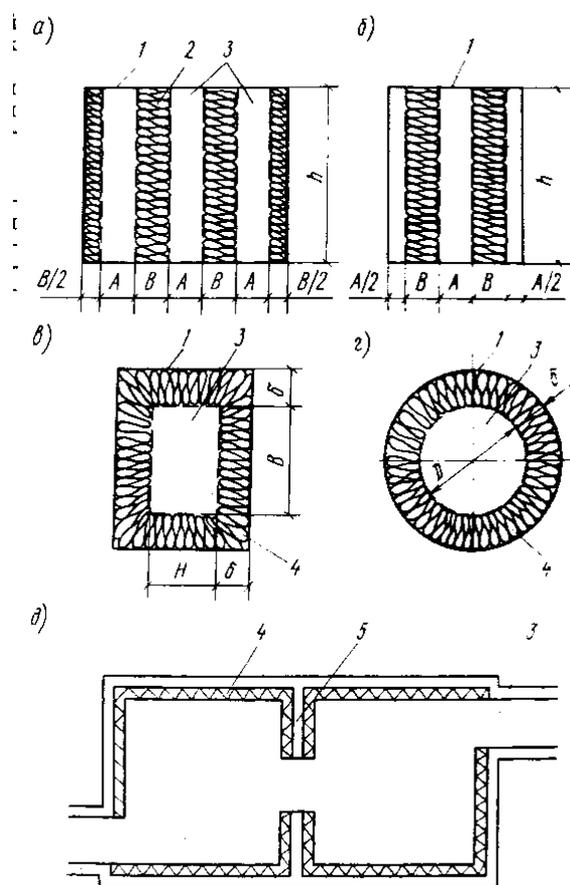


Рисунок 26 - Схемы конструкций глушителей для вентиляционных установок

*a* - пластинчатый с крайними пластинами; *б* - пластинчатый без крайних пластин; *в* - трубчатый прямоугольного сечения; *г* - трубчатый круглого сечения; *д* - камерный; 1 - кожух глушителя; 2 - звукопоглощающая пластина; 3 - каналы для воздуха; 4 - звукопоглощающая облицовка; 5 - внутренняя перегородка

Для снижения шума в жилых домах, возникающего при работе систем водоснабжения, следует применять ограничители давления, которые одновременно способствуют уменьшению избыточного расхода воды, а также совершенную водоразборную арматуру. Например, шум, возникающий при наполнении ванны водой, может быть снижен, если отверстия кранов оборудовать спускающейся до дна резиновой трубкой или эластичными наконечниками. Водопроводные трубы следует крепить к капитальным стенам хомутами с резиновой прокладкой.

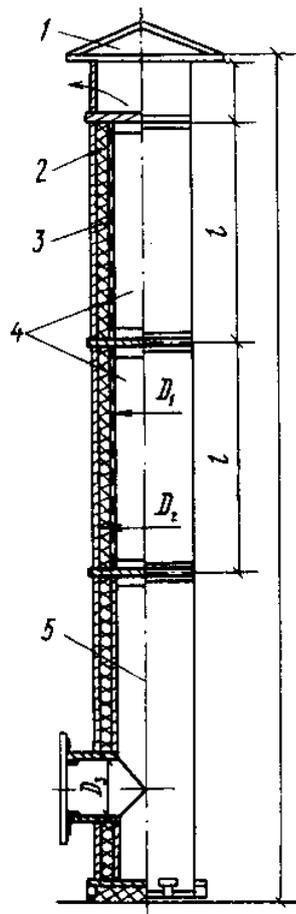


Рисунок 27 - Схема вертикального трубчатого глушителя на выхлопе компрессорных и мелких газодинамических установок

1 - зонт; 2 - звукопоглотитель; 3 - перфорированный лист; 4 - секции глушителя; 5 - цоколь;  $D_1$  - внутренний диаметр глушителя;  $D_2$  - внешний диаметр глушителя;  $D_3$  - диаметр подводящего воздуховода;  $l$  - длина секции.

Постоянным источником шума в жилых домах являются лифтовые установки. Снижение шума от них достигается применением раздвижных дверей с амортизирующими прокладками, виброизоляцией механизмов, тщательной регулировкой отдельных узлов и механизмов, например путем центрирования и сбалансирования вращающихся деталей лебедки и электродвигателя.

Основным источником внешнего шума в городах и других населенных пунктах являются транспортные потоки на улицах и дорогах, железнодорожные поезда, воздушный транспорт, поэтому звукоизоляция ограждающих конструкций имеет особое значение. Мероприятиями, позволяющими снизить проникновение шума в здания, являются: уменьшение поверхности остекления зданий, герметизация окон, надежное закрепление стекол в рамах, применение тройного остекления, устройство остекления в отдельных переплетах вместо спаренных, увеличение расстояния между стеклами и

их толщины. Во входах в здания устраивают двойные двери с тамбуром, стены которого облицовывают звукопоглощающими материалами.

Через наружные и внутренние стены, перегородки и перекрытия проникает шум не только с улицы, но и из одного помещения в другое. Снижение массы этих конструкций уменьшает их звукоизолирующие свойства, поэтому облегченные конструкции следует покрывать слоями звукопоглощающих материалов. При этом необходимо герметизировать наружные и внутренние стыки между панелями.

Большое значение для уменьшения шума от транспортных потоков в городах имеет ширина улиц. Так, при ее увеличении с 20 до 40 м общий уровень уличного шума при прочих равных условиях снижается на 4 - 6 дБ. При сплошной застройке улицы шум увеличивается в результате отражения звука от зданий, при свободной планировке, при которой дома расположены на большом расстоянии друг от друга или обращены к улице торцевыми сторонами, шум уменьшается.

Зеленые насаждения снижают уровень уличного шума в летнее время на 8 - 10 дБ благодаря поглощению звуковой энергии листвой, поэтому дома следует располагать с отступом от тротуаров на 15 - 20 м и озеленять эту часть территории кустарником и деревьями. Эти мероприятия особенно важны на магистралях с интенсивным движением транспорта.

Шум, создаваемый транспортом, зависит от качества дорожных покрытий. Различные транспортные развязки, пересечения улиц в двух уровнях, подземные и надземные пешеходные переходы, позволяющие транспорту ехать без остановки, способствуют снижению шума. Дефекты в дорожном покрытии, плохо установленные металлические крышки и основания для них на водопроводных, канализационных, телефонных и теплофикационных люках являются причиной дополнительных шумовых ударов, особенно при проезде порожних автомашин.

Часто в черте города проходят железнодорожные линии. В этом случае ширина санитарно-защитных зон от жилых зданий до продольной оси ближайшего пути железной дороги должна быть не менее 200 м. а в районе мостов - 300 м.

В борьбе с транспортным шумом используют не только инженерно-технические решения, но и организационные меры: запрещение звуковых сигналов, полетов над городом воздушных транспортных средств, ограничение движения, взлетов и посадок самолетов на аэродромах, расположенных вблизи населенных мест, в ночное время и др.

## **4 Защита воздушной и водной среды от выбросов тепловых электростанций**

### **4.1 Выбросы в атмосферу тепловых электростанций и их влияние на окружающую среду**

Более детально рассмотрим вопросы, связанные с защитой окружающей среды от воздействия тепловых электростанций. Энергетическое производство, потребляя огромное количество минерального топлива и кислорода воздуха для его окисления, выдает продукцию в виде электрической и тепловой энергии, а газообразные и твердые продукты сгорания являются его отходами. При этом только часть твердых отходов - некоторая доля золы и шлака - используется в народном хозяйстве. Примерно 40% тепловой энергии, выделившейся при сгорании топлива, преобразуется в электрическую, а остальная ее часть передается в окружающую среду с водой, охлаждающей конденсаторы паровых турбин, и с продуктами сгорания.

Защита атмосферы от выбросов энергетического производства имеет место при внедрении ядерной энергетики при безусловном обеспечении радиационной безопасности АЭС. При производстве электрической и тепловой энергии на базе ядерного горючего материальный обмен с окружающей средой неизмеримо меньше и носит качественно иной характер. Энергетический же обмен на 1 кВт·ч выработанной электроэнергии больше, чем на ТЭС, вследствие более низкого термического КПД цикла на насыщенном паре.

Значительная часть выработанной электроэнергии в процессе передачи и потребления также превращается в теплоту, которая рассеивается в окружающей среде.

Для энергетического производства характерно наличие различных загрязненных стоков, связанных с процессами водоподготовки, консервации и промывки оборудования, гидротранспорта золошлаковых материалов и т. п. Однако в этой области принципиально возможно создание замкнутых и бессточных систем.

Указанные особенности энергетического производства создают значительные трудности при защите окружающей среды от его неблагоприятных воздействий.

Остановимся на отдельных аспектах защиты воздушного и водного бассейнов от выбросов ТЭС.

Выброс окислов азота энергетическими и транспортными установками нежелателен, так как даже при малых концентрациях они раздражающе действуют на органы дыхания, приводят к коррозии оборудования, к образова-

нию удушливых смогов. Чем выше температура в камере сгорания и больше свободного кислорода, тем интенсивнее образование окислов азота NO и NO<sub>2</sub>. В связи с этим основным направлением борьбы с появлением окислов азота в дымовых газах электростанций является «подавление» окислов азота в топках путем организации топочных режимов, исключающих или уменьшающих их образование.

В энергетических топливах содержится сера, особенно много ее в каменных углях и мазутах, при сжигании которых образуются вредные для живых организмов и растительности окислы серы.

Окислы серы ускоряют коррозию оборудования, вредно сказываются на жизнедеятельности растений, особенно хвойных деревьев, приводят к подсыханию опаданию хвои.

Теплота, полученная при сжигании топлива, так или иначе поступает в окружающую среду. Если сравнить ее количество с получаемым земной поверхностью в результате солнечной радиации, то оно составит немногим более 0,01%, что дает повышение температуры Земли примерно на 0,01 °С и не вызывает опасности перегрева планеты. И все же не следует забывать, что локальные воздействия на природу, особенно в густонаселенных промышленных районах, весьма значительны, и меры по их уменьшению необходимо принимать незамедлительно.

#### **4.2 Защита атмосферы от вредных выбросов ТЭС**

Проблема защиты атмосферы от вредных выбросов тепловых электростанций решается в следующих направлениях:

- внедрение передовых технологий сжигания топлива;
- предварительная очистка топлива от вредных примесей - золы и серы;
- организация топочных режимов, уменьшающих образование вредных составляющих;
- очистка дымовых газов от золы, окислов серы и азота;
- рассеивание дымовых газов через высокие трубы;
- комплексное энерготехнологическое использование топлива, обеспечивающее уменьшение вредных выбросов.

Практическая реализация перечисленных направлений зачастую связана с большими трудностями технического и экономического характера.

Облагораживание топлива, т. е. предварительное удаление из него серы и золы, приводит к резкому его удорожанию. Так, например, снижение сернистости мазута на нефтеперерабатывающих заводах с 2,5 до 0,5% удорожа-

ет его вдвое. При сжигании топлива около 99 % содержащейся в нем серы переходит в дымовые газы в форме  $SO_2$  и менее 1% в форме  $SO_3$ . В зависимости от содержания серы в топливе и теплоты его сгорания концентрация окислов серы в 1 м<sup>3</sup> дымовых газов, приведенном к нормальным условиям (давлению 760 мм рт. ст. и температуре 0°C), составляет 1 - 5 г/м<sup>3</sup>.

Кроме окислов серы вредной газообразной примесью, выбрасываемой с дымовыми газами тепловых электростанций и определяющей в значительной мере загрязнение воздушного бассейна, являются окислы азота.

Окислы азота образуются при окислении азота топлива и азота воздуха в зоне высоких температур при сжигании всех видов органического топлива.

На образование окислов азота в топке котла влияют прежде всего температурный уровень и концентрация кислорода в зоне горения факела, а также вид топлива. Влияние таких факторов, как паропроизводительность котла, тип горелочных устройств и топочной камеры, тепловое напряжение топочного объема, избыток воздуха в топке и способ его подачи, наличие рециркуляции и других, проявляется в той мере, в какой они сказываются на температуре горения.

Концентрация окислов азота быстро возрастает с увеличением температуры и достигает существенных значений при температуре более 1750°C.

В топочной камере образуется в основном окись азота NO, которая и выбрасывается с дымовыми газами в атмосферу, где довольно быстро доокисляется до двуокиси азота NO<sub>2</sub>, представляющей собой бурый ядовитый газ с характерным запахом.

Назовем некоторые основные способы снижения концентрации окислов азота:

- сжигание топлива в камерах сгорания газовых турбин при температуре до 1500°C;
- уменьшение избытка воздуха, подаваемого в топку (практически реализуется при сжигании газа и мазута);
- некоторое понижение температуры подогрева воздуха;
- снижение теплового напряжения в топочной камере путем увеличения ее объема и применения двухсветных экранов;
- рациональный выбор горелочных устройств и их расположения;
- применение многоступенчатого сжигания, когда в нижние горелки подается обедненная, а в верхние - обогащенная воздухом топливовоздушная смесь, что позволяет понизить температуру в основной (нижней) зоне горения и дожигать горючие вещества в верхней зоне;

– рециркуляция дымовых газов в топочную камеру (возврат в топку части дымовых газов, отбираемых обычно после водяного экономайзера при температуре 300 - 400°С), которая уменьшает температуру горения, снижает концентрацию кислорода и скорость горения.

В нашей стране действует положение об учете суммарного действия окислов серы и азота при одновременном присутствии их в воздухе. С учетом этого обстоятельства требуется разбавлять дымовые газы воздухом в 10 000 - 25 000 раз, что достигается путем рассеивания их в атмосфере с помощью высоких дымовых труб (250 – 360 м)

Все тепловые электростанции на твердом топливе оборудуются золоулавливающими установками. В настоящее время созданы золоуловители с эффективностью золоулавливания (КПД), равной 98 - 99%. Основные типы используемых золоуловителей можно выделить в следующие группы:

- электрофильтры (КПД 98 - 99%);
- сухие инерционные золоуловители - циклоны и батарейные циклоны (КПД 85 - 90%);
- мокрые золоуловители (КПД 90 - 95%);
- комбинированные золоуловители - сочетание золоуловителей второй и третьей групп с электрофильтрами (КПД 98 - 99%).

Несколько более подробно остановимся на парогазовых установках, которые снижают выбросы окислов азота в 5 - 6 раз больше по отношению к котлам и одновременно обеспечивают преобразование до 60 % тепловой энергии, выделившейся при сжигании топлива в электрическую (по конденсационному циклу).

По сравнению с паросиловыми парогазовые установки (ПГУ) позволяют значительно снизить потребление топлива и повысить КПД до 70-80 % при выработке электрической и тепловой энергии на ТЭЦ. В состав ПГУ входит энергоэффективное оборудование: газотурбинная установка, котёл-утилизатор, паровая турбина.

На рисунке 28 показана принципиальная схема ПГУ.

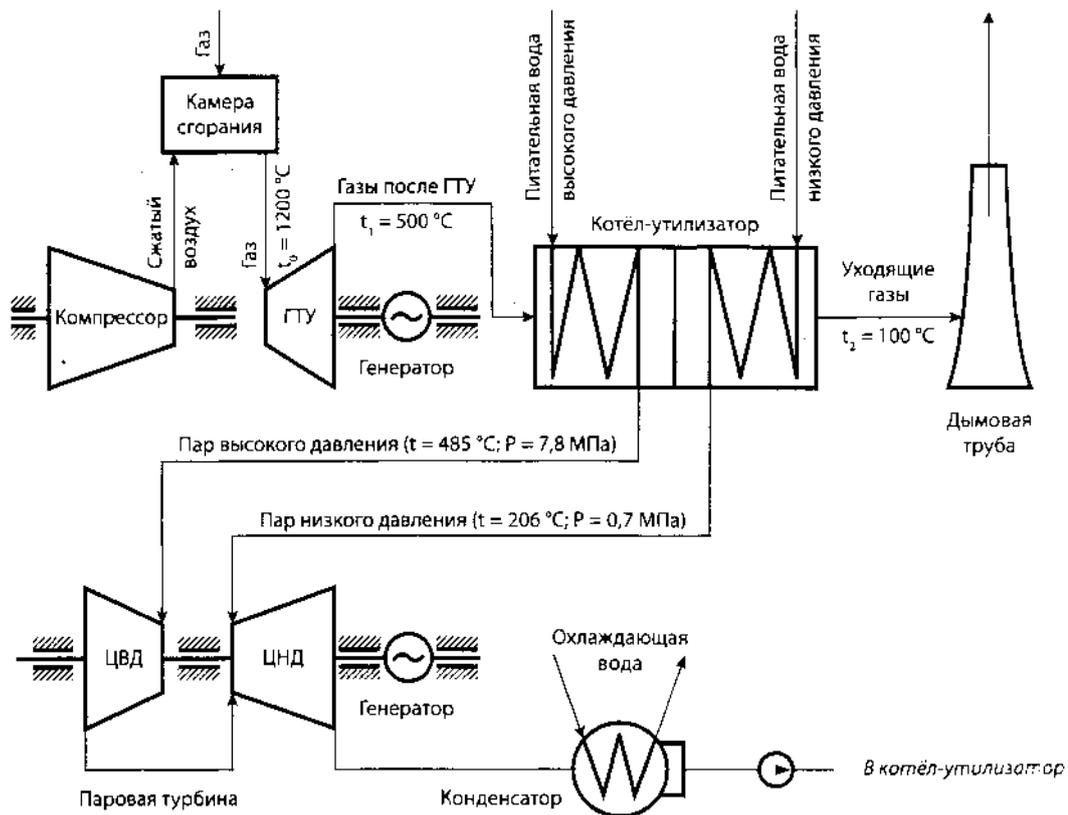


Рисунок 28 - Принципиальная схема ПГУ

ГТ - газовая турбина, ЦВД - цилиндр высокого давления, ЦНД - цилиндр низкого давления, КС - камера сгорания, ГТУ - газотурбинная установка.

ПГУ могут производить электрическую энергию и тепловую энергию. ПГУ состоит из двух отдельных блоков: паросилового и газотурбинного, в составе каждого из которых имеется свой генератор. На одном валу с газовой турбиной находится первый генератор, который вырабатывает электрический ток. Перед тем как газ поступит в газовую турбину, надо повысить его давление примерно в 2,8 раза, то есть до 2,5-3,0 МПа (давление в городской сети 1,2 МПа). Это делается с помощью дожимного газового компрессора.

Температура продуктов сгорания на входе в газовую турбину обычно составляет 1100-1500 °С. Энергоэффективность установки растёт с увеличением этой температуры.

Проходя через газовую турбину, продукты сгорания отдают ей лишь часть своей энергии и на выходе из турбины все ещё имеют высокую температуру. Далее продукты сгорания попадают в котёл-утилизатор, где образуется водяной пар. Температуры продуктов сгорания достаточно для того, чтобы довести пар до состояния, необходимого для вращения паровой турбины. Пар поступает в паровую турбину, с которой механически связан второй генератор.

### Газотурбинная установка (ГТУ).

На валу газовой турбины находятся компрессор и электрогенератор. Газовая турбина и компрессор - в общем кожухе ГТУ. Там же находится и камера сгорания. На рисунке 29 представлена ГТУ в разрезе. КПД современных ГТУ достигает 40%.

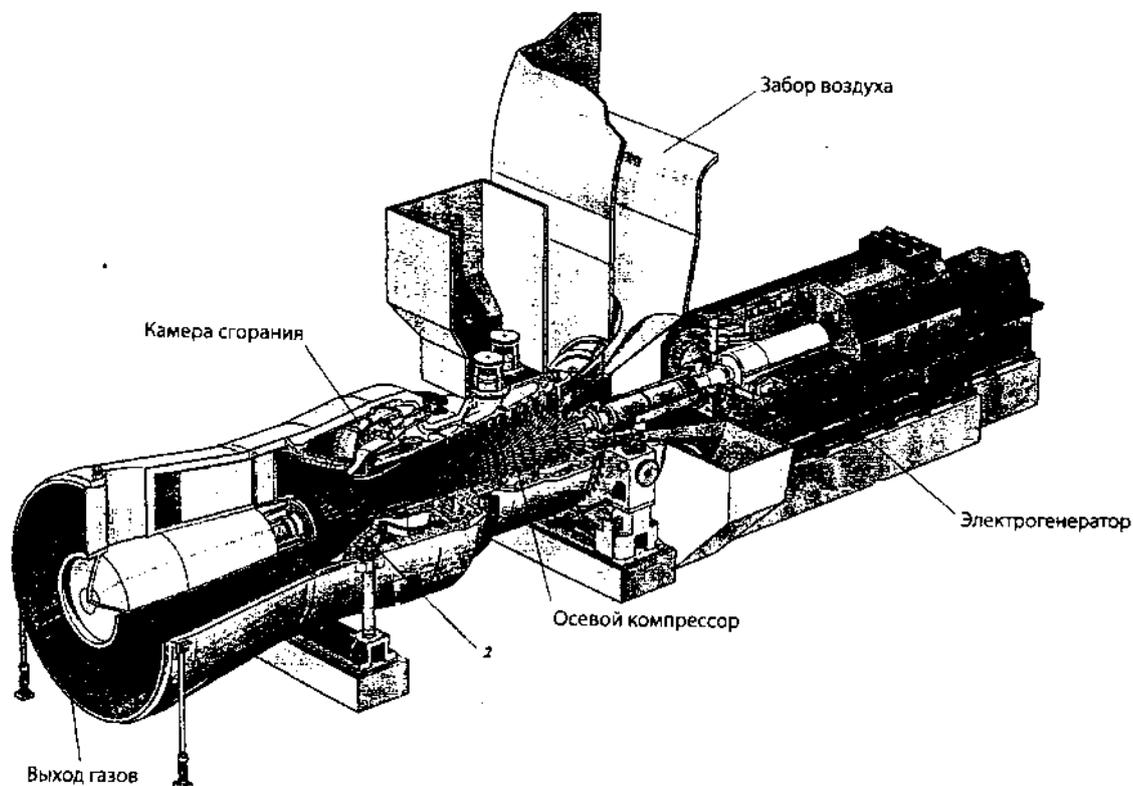


Рисунок 29 – ГТУ в разрезе при наличии электрогенератора.

Выбросы окислов азота генерируются в камере сгорания ГТУ, в которой осуществляется сжигание топлива при температуре до  $1500^{\circ}\text{C}$ , что способствует минимизации образования окислов азота. Кроме того, в камере сгорания поддерживается избыток воздуха от 3,5 до 5, что способствует разбавлению продуктов сгорания и ведет к снижению выбросов окислов азота.

### **Котёл-утилизатор**

Котёл-утилизатор (КУ) выполняет роль утилизатора теплоты выхлопных газов энергетической ГТУ.

В зависимости от назначения ПГУ в КУ может генерироваться пар или подогреться вода.

Как правило, в КУ сжигание топлива не производится. В качестве греющей среды в нём используется тепло выхлопных газов ГТУ.

По конструктивному исполнению КУ могут быть нескольких типов:

- горизонтальные или вертикальные. Последние выполняют подвесными или самоопорными;
- с естественной или принудительной циркуляцией и прямоточные.

КУ могут оснащаться дожигающими устройствами, в которых в среде выхлопных газов ГТУ дополнительно сжигается топливо. Это приводит к повышению температуры газов перед поверхностями нагрева КУ и повышает его паропроизводительность.

Поверхности нагрева КУ делают из стальных труб с наружным оребрением. Спирально-ленточное оребрение труб выполняют в заводских условиях на специальных установках с использованием токов высокой частоты. Это позволяет приваривать к трубам ленту различной толщины, конфигурации и размера. Оребрение повышает эффективность теплообмена, что позволяет уменьшить габариты по сравнению с гладкотрубными поверхностями нагрева в среднем в 1,5 раза. На рисунке 30 показан в разрезе КУ вертикальной компоновки с дожигающим устройством.

Как правило, КУ изготавливают из блоков высокой заводской готовности. Это обеспечивает:

- повышение качества монтажных работ и сокращение их продолжительности;
- благоприятные условия для транспортировки, так как ширина модуля КУ обычно составляет 3-4 м при длине не более 15 м.

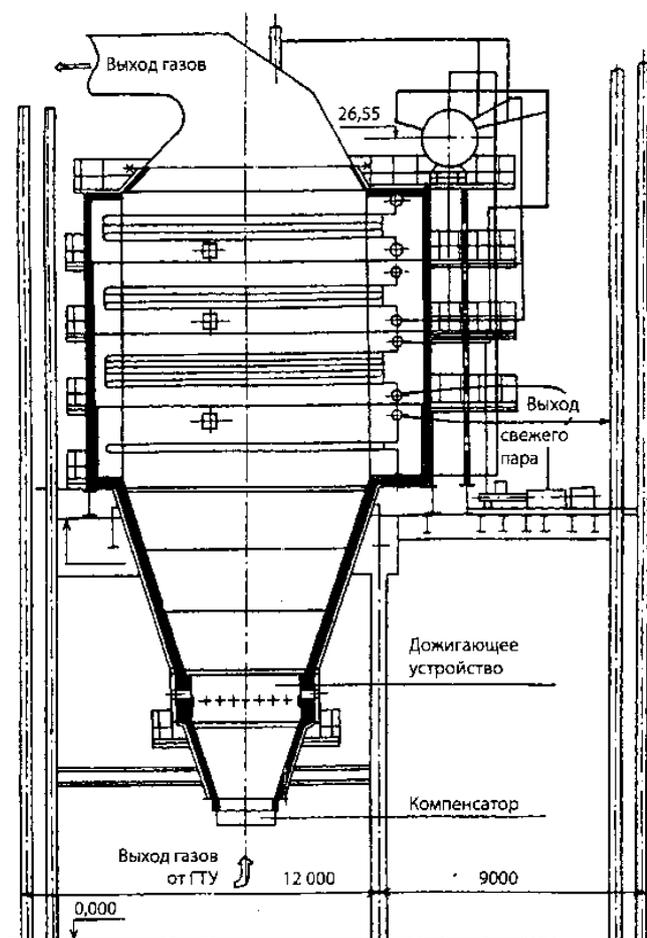


Рисунок 30 – КУ вертикальной компоновки с дожигающим устройством

## Паровые турбины для блоков ПГУ

Тепловые схемы паротурбинных установок блоков ПГУ ТЭЦ отличает относительная простота в связи с отсутствием регенерации. На рисунке 31 приведён разрез паровой турбины типа Т-63/76-8.8. Турбина имеет два отопительных отбора. Она представляет собой одноцилиндровый агрегат, имеющий двухкорпусную конструкцию цилиндра с петлевой схемой движения пара в цилиндре. Внутренний корпус цилиндра выполнен литым, а наружный - сварным. Подобная конструкция позволяет улучшить маневренность турбины благодаря сокращению времени её прогрева, что повышает маневренность ПГУ в целом. Это очень важно с учётом высокой маневренности ГТУ. Обеспечивая около 30 % выработки электроэнергии в Республике Беларусь, ПГУ играют ключевую роль в снижении расходов топлива в энергосистеме и снижении выбросов окислов азота.

Кроме того, ПГУ потребляют на 50-60% меньше охлаждающей воды на единицу мощности, чем традиционные электростанции, что также обеспечивает существенную экономию и снижает нагрузку на окружающую среду.

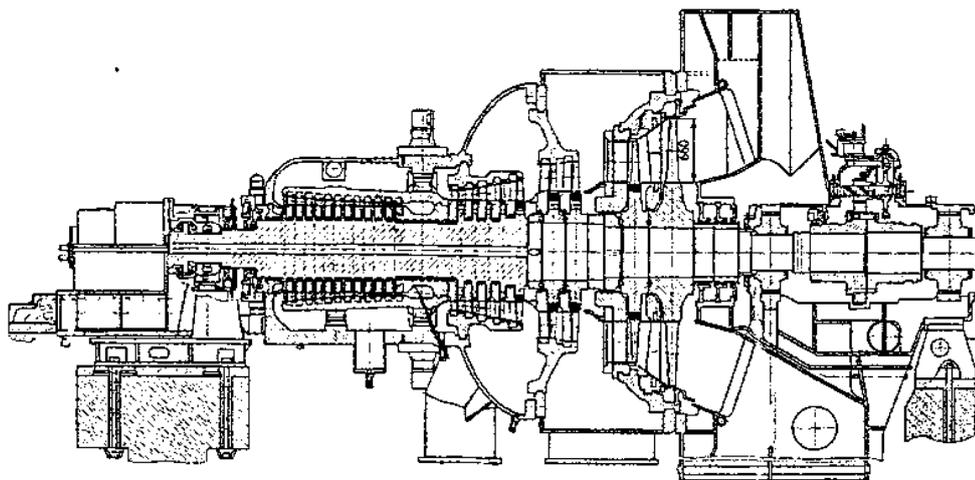


Рисунок 31 – Разрез паровой турбины типа Т-63/76-8,8.

### 4.3 Защита водного бассейна от выбросов ТЭС

В настоящее время проблема рационального использования и охраны водных ресурсов приобрела особую актуальность в связи с ухудшением качества воды, вызванным сбросом промышленных и бытовых сточных вод в естественные водоемы.

Теплоэнергетика - один из крупнейших в народном хозяйстве потребителей воды для технологических нужд, на ее долю приходится до 40% валового потребления воды в стране.

К сточным водам тепловых электрических станций относятся охлаждающие воды (после охлаждения конденсаторов турбин, масло- и воздухо-

охладителей и пр.); сбросные воды из систем гидрозолоудаления; сточные воды водоподготовительных установок и конденсатоочисток; отработавшие растворы после химической очистки теплосилового оборудования и его консервации; нефтезагрязненные воды; растворы от обмывок поверхностей нагрева котлов, работающих на мазуте. Количество этих стоков и их состав весьма различны и зависят от мощности ТЭС, вида используемого топлива, принятого способа водоподготовки, системы золоудаления и других факторов.

Возможны два пути уменьшения загрязнения природных водоемов сточными водами ТЭС: глубокая очистка всех стоков до предельно допустимых концентраций или организация систем повторного использования стоков. Первый путь малоперспективен, так как связан с большими затратами на сооружение и эксплуатацию соответствующих установок. Более предпочтительно создание оборотных систем с многократным использованием воды. При этом очистка стоков до ПДК уже не обязательна, достаточно довести их качество до уровня, требуемого технологическим процессом, в котором они снова будут использоваться. Второй путь ведет к резкому сокращению количества воды, забираемой тепловой электростанцией из водоисточников, и создает основы для разработки бессточных схем. Оценим масштабы стоков тепловых электростанций, пути их снижения и обезвреживания.

Количество охлаждающей воды на ТЭС определяется в основном количеством пара, поступающего в конденсаторы турбин; оно наибольшее на конденсационных электростанциях. На КЭС расход охлаждающей воды на 1 кВт ч выработанной электроэнергии составляет 100 - 130 кг, на АЭС он еще больше – 170 - 200 кг. Отвод теплоты при нагреве воды на 8 - 10 °С составляет на КЭС около 4,3 кДж/(кВт ч), а на АЭС - 7,3 кДж/(кВт-ч). Таким образом, с охлаждающей водой в водоемы сбрасывается огромное количество теплоты, что создает так называемое «тепловое загрязнение».

Водоемы представляют собой сложные экологические системы, в которых существуют сообщества животных и растений, и, чтобы не наносить ущерба условиям их жизни, санитарными нормами регламентируется повышение собственной температуры водоема тепловыми сбросами не более чем на 5°С зимой и 3°С летом.

Основной способ снижения сброса подогретой воды в водоемы - использование оборотных систем водоснабжения с градирнями. В этом случае не создается теплового загрязнения водоемов, а количество забираемой из них свежей воды намного меньше, чем в системах с водохранилищами-

охладителями и тем более в прямоточных системах, так как необходимо лишь восполнение потерь при испарении. К достоинствам градирен относится также относительно небольшая, по сравнению с водохранилищами, занимаемая ими площадь.

Одним из существенных недостатков подготовки воды на ТЭС методами осаждения и обессоливания с помощью ионного обмена является большой расход реагентов на очистку воды. Сточные воды водоподготовительных установок могут иметь кислую или щелочную реакцию, а также содержат много грубодисперсных примесей и солей, поэтому непосредственный сброс их в водоемы недопустим. Очистка таких вод должна сводиться к их нейтрализации, удалению основной части солей и грубодисперсных примесей в соответствии с санитарными нормами, регламентирующими сбросы сточных вод в водоемы. Для уменьшения сброса сточных вод водоподготовительных установок требуется создание методов и схем подготовки воды на ТЭС, позволяющих уменьшить количество потребляемых реагентов, а также разработка эффективных способов регенерации реагентов из сточных вод.

В отношении уменьшения расхода реагентов перспективны методы непрерывного ионирования, электрокоагуляции, мембранные методы (обратный осмос и электродиализ) и термический способ обессоливания воды. Электрокоагуляция основана на явлении электролиза растворов при прохождении через них электрического тока, а мембранные методы - на переносе примесей или растворителей через мембраны.

Основная задача очистки сточных вод химических промывок и консервации оборудования состоит в разрушении образовавшихся при промывках комплексов металлов с реагентами с последующим выделением металлов в осадок и в разрушении органических соединений. После проведения этих операций осветленная вода может быть сброшена в водоем. Загрязненные нефтепродуктами (далее для краткости называемые маслом) воды очищаются путем отстаивания, флотации и фильтрования (рисунок 32). Основная часть масла находится в сточной воде в виде отдельных мелких частиц сферической формы, которую они приобретают под действием сил поверхностного натяжения. Масло отстаивается в нефтеловушке, состоящей из приемной и отстойной камер и двух полупогружных перегородок. Сточная вода подается в приемную камеру, проходит под первой полупогружной перегородкой и поступает в отстойную камеру, где происходит разделение воды и масла. Частицы масла всплывают на поверхность воды, и образующаяся масляная пленка удаляется специальным устройством. Очищенная вода проходит под

второй полупогружной перегородкой и выводится из нефтеловушки.

Флотация капель масла из сточной воды основана на их способности образовывать комплексы «частица масла - пузырек воздуха» с последующим выделением этих комплексов из воды.

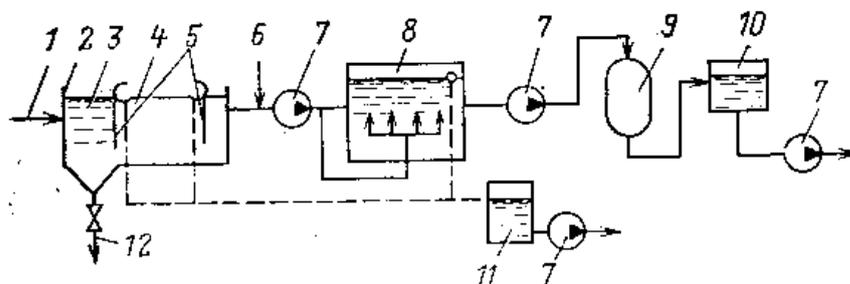


Рисунок 32 - Схема очистки вод, загрязненных мазутом и маслом.

1 - подача загрязненной воды; 2 - нефтеловушка; 3 - приемная камера нефтеловушки; 4 - отстойная камера нефтеловушки; 5 - полупогружные перегородки; 6 - подвод воздуха; 7 - насос; 8 - флотатор; 9 - фильтр; 10 - бак очищенной воды; 11 - бак сбора мазута и масел; 12 - дренаж нефтеловушки.

Воздух подается в трубопровод перед насосом, растворяется в воде, а затем дисперсная система «пузырьки - вода» поступает во флотатор, где и происходит флотационный процесс. Из флотатора образующийся слой пены удаляется в бак сброса мазута и масел, а вода подается насосом на фильтры и далее в резервуар очищенной воды, после чего может быть повторно использована в системе технического водоснабжения станции (что предпочтительнее) либо сброшена в водоем. Удаленные из воды нефтепродукты смываются в бак сбора мазута и масел и направляются на сжигание.

Сточные воды после обмывки поверхностей нагрева котлов (обмывочные воды) имеют кислую реакцию и содержат грубодисперсные примеси (окислы железа, нерастворяющуюся часть золы, продукты недожога и пр.) и примеси в истинно растворенном состоянии. Эти воды нейтрализуются щелочными растворами, отстаиваются, шлам обезвоживается на пресс-фильтрах, расфасовывается и складировается. Очищенная вода может быть повторно использована для обмывки оборудования.

Рассмотренные примеры показывают основное направление решения проблемы охраны водного бассейна - выделение, переработка и использование загрязняющих воду продуктов; повторное многократное использование воды.

#### 4.4 Системы контроля выбросов в атмосферу

Современные блоки комплектуются автоматизированной системой контроля выбросов (АСК). Рассмотрим ее принципиальное устройство на

примере АСК для блока ПГУ-230.

АСК служит для непрерывных измерений с известной погрешностью концентраций и выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух и обеспечивает получение информации о фактических величинах выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO$  и  $CH_4$ ). Структурная схема АСК показана на рисунке 33

АСК предназначена для выполнения следующих задач:

- контроля за соблюдением нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ;
- оценки эффективности мероприятий по снижению вредного воздействия загрязняющих веществ на состояние атмосферного воздуха;
- учета выбросов загрязняющих веществ по результатам непрерывных измерений, подготовки отчетности.

АСК состоит из:

- газоаналитической системы на базе газоанализаторов (Ultramat 23);
- средств измерения расхода топлива (система «Поток»);
- средств сбора, обработки, хранения и передачи информации (контроллеры Siemens серии S7-300);
- средств регистрации и отображения результатов измерений;
- вспомогательного оборудования.

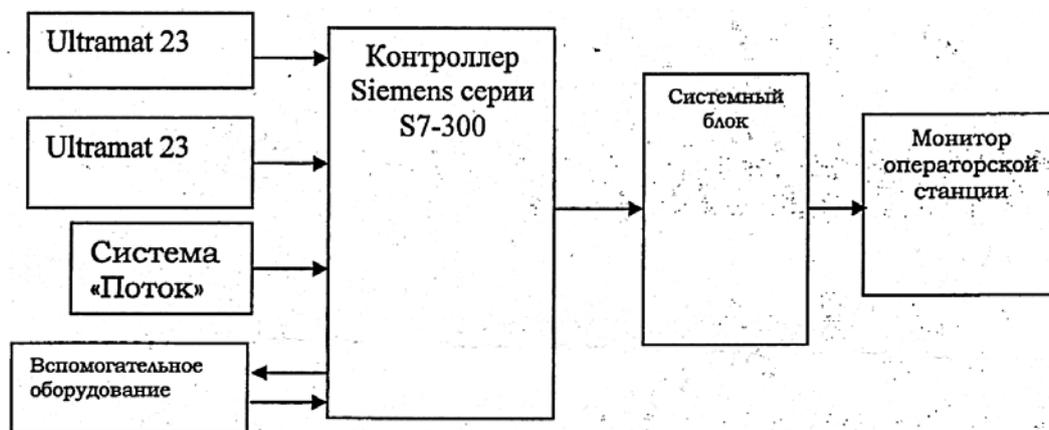


Рисунок 33 - Структурная схема АСК.

Использование АСК позволяет в режиме реального времени видеть ситуацию с выбросами на объекте, на основе материалов архивации анализировать режим работы объекта, использовать данные о суммарных расходах выбросов для коммерческих расчетов.

## 5 Взаимодействие экономики и окружающей среды

Взаимодействие между экономической сферой общества и окружающей средой можно представить в следующем виде.

Поток ресурсов, поступающий в экономику из окружающей среды, должен быть равен потоку отходов, возвращающихся в окружающую среду в результате экономической деятельности человека. Поскольку часть отходов подвергается вторичной переработке и благодаря этому вновь поступает в производственное и личное потребление, в окружающую среду попадает только та часть отходов, которая не была переработана.

Значение вторичной переработки отходов заключается в том, что она позволяет экономить первичные ресурсы и предотвращать загрязнение окружающей среды, не препятствуя экономическому развитию. Однако в ходе преобразования веществ и сил природы часть энергии безвозвратно утрачивается. Поэтому возможности вторичной переработки ограничены.

Обозначим объем производственных ресурсов (минерально-сырьевые, водные, земельные, лесные, биологические, рекреационные и др.) как  $R_p$ , а объем ресурсов, непосредственно используемых для потребления (водоемы и лес для рекреационных целей, рыбные ресурсы как объект спортивной ловли и т. п.) - как  $R_c$ . Суммарный поток ресурсов трансформируется в выпуск продукции  $Q$ , первичные отходы всех сфер экономики  $\Sigma W_i$  и сумму переработанных отходов  $\Sigma r_i$ . Тогда получаем следующее уравнение:

$$R_p + R_c = Q + \Sigma W_i - \Sigma r_i$$

Это и есть основное уравнение материального баланса между экономической системой и окружающей средой.

Важнейшим требованием современности является минимизация остаточных отходов  $\Sigma W_i - \Sigma r_i \Rightarrow \min$ . Для этого, в свою очередь, необходимо свести к минимуму потребление первичных ресурсов, то есть выполнить условие  $(R_p + R_c) \Rightarrow \min$ .

Добиться этого можно двумя путями:

1)  $Q + \Sigma W_i - \Sigma r_i \Rightarrow \min$ .

2)  $Q / R_p + R_c \Rightarrow \max$ .

В первом случае требуется сокращение объема выпускаемой продукции и объема суммарных первичных отходов при одновременном увеличении объема перерабатываемых отходов. Иными словами, речь идет о сокращении производства, пересмотре господствующей модели потребления, об отказе от традиционных представлений об экономическом росте и благосостоянии.

Во втором случае достигнутые уровни производства и потребления сохраняются только при условии сокращения объема экономического ис-

пользования первичных ресурсов. Это, в свою очередь, требует экологизации производства и потребления, а также организации вторичной переработки отходов. Именно такая модель взаимодействия между экономической системой и окружающей средой характерна для стран с высоким уровнем экономического развития.

Существует множество моделей материальных потоков между экономической системой и окружающей средой. Одной из них является модель американских экономистов-экологов Д. Пирса и К. Тёрнера (рисунок 34), которая наглядно показывает необходимость сохранения запасов природных ресурсов ради благополучия будущих поколений.



Рисунок 34 - Взаимодействие экономики и окружающей среды с учетом основных материальных потоков

Модель показывает обратные связи в эколого-экономической системе, при этом  $ACE$  - ассимиляционный потенциал окружающей природной среды,  $W$  - остаточные отходы. Окружающая среда является источником природных ресурсов и экологических благ, а также служит для размещения и поглощения отходов производства и потребления. Природные ресурсы могут использоваться для производственных целей или непосредственно поступать в потребление. На всех стадиях использования ресурсов образуются отходы. Та их часть, которая подвергается вторичной переработке, возвращается в производство, а оставшаяся часть поступает в окружающую среду.

Если ассимиляционный потенциал окружающей природной среды превышает объем остаточных отходов ( $ACE > W$ ), то качество окружающей сре-

ды не ухудшается. В противоположной ситуации ( $ACE < W$ ) качество окружающей среды ухудшается, а значит, ослабляется ее способность снабжать ресурсами производство и потребление.

Как указывалось выше, природные ресурсы, делятся на возобновимые и невозобновимые. Для устойчивости воспроизводства возобновимых ресурсов необходимо, чтобы объем их добычи не превышал ежегодно возобновляемого запаса. Если это условие не соблюдается, то ресурсов становится все меньше, а это означает, что будущие поколения не смогут удовлетворять свои потребности в полном объеме.

В отношении невозобновимых природных ресурсов для устойчивого развития требуется, чтобы добыча не превышала существующего запаса разведанных месторождений.

## 6 Экологический мониторинг

Для выяснения степени загрязнения окружающей среды и других негативных антропогенных воздействий необходим контроль состояния окружающей среды. Одной из основных форм такого контроля является экологический мониторинг - постоянно действующая система наблюдения за загрязнением окружающей среды.

Основной задачей экологического мониторинга является обеспечение органов экологической политики достоверной информацией, необходимой для принятия соответствующих мер регулирования. Поэтому он предполагает наблюдение за источниками загрязнения, за состоянием экологических систем и природных ресурсов, а также оценку фактического качества окружающей среды и прогноз будущих изменений.

Экологический мониторинг включает следующие направления:

- мониторинг атмосферного воздуха;
- мониторинг гидросферы. То есть системы поверхностных и подземных вод;
- мониторинг земель;
- радиационный мониторинг.

В рамках *мониторинга атмосферного воздуха* производится отбор проб на основные (пыль, двуокись серы, окислы азота, окись углерода) и специфические загрязняющие вещества (перечень которых устанавливается для каждой местности в отдельности).

*Мониторинг гидросферы* проводится по гидрохимическим и гидробиологическим показателям в соответствии с установленными стандартами.

*Мониторинг земель* включает наблюдения за загрязнением почв пести-

цидами и токсичными промышленными отходами, в том числе тяжелыми металлами.

*Радиационный мониторинг* позволяет контролировать уровень загрязнения радионуклидами атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, а также почвы.

Информация, полученная национальными системами наблюдения и контроля, служит основой для координации экологической политики в глобальном масштабе. В будущем предполагается создать Глобальную систему мониторинга окружающей среды под эгидой ООН.

В современных условиях важным элементом контроля загрязнения окружающей среды на уровне субъектов экономики является экологический аудит. Он представляет собой независимую проверку, направленную на сбор информации о загрязнении окружающей среды и ее оценку с точки зрения экологических стандартов. Целью экологического аудита является определение способов и путей экологизации производства.

## **7 Альтернативная энергетика**

В мире в настоящее время быстро развивается альтернативная энергетика. Прежде всего солнечная и ветровая. Сейчас мощность всех установок с использованием энергии солнца, ветра и других источников достигла 600 ГВт. Это в три раза больше мощности всей энергосистемы России. За последние пять лет прирост солнечных фотопреобразователей достиг 55 %, ветроустановок (ВЭУ) - 20 %. К примеру, в Дании ВЭУ генерируют 33 % всей энергии.

В настоящее время доля возобновляемых источников энергии в мировом энергопотреблении составляет уже 19 %. Лидером является Китай, где с использованием возобновляемых источников энергии генерируется 118 ГВт, за ним следуют США - 93 ГВт и Германия - 78 ГВт. Европа и США намерены к 2040 году довести долю альтернативной энергетики до 40 %.

Однако если обычные электростанции не зависят от климата и погоды, то работа энергообъектов возобновляемой энергетики связана с природными условиями местности, где они установлены. Скажем, в ряде районов Дании, где сильный ветер дует стабильно, или в Техасе, где очень большое количество солнечных дней, использование альтернативной энергии вполне рентабельно.

Более детально остановимся на составляющих альтернативной энергетике.

## 7.1 Солнечная энергетика

В 2014 году мощность солнечной энергетики в мире выросла с 138 до 185 ГВт. С учетом того, что общая мощность мировой энергетики - около 6000 ГВт, доля солнечных электростанций (СЭС) уже превысила 3 %. В 2010 году суммарная мощность СЭС составляла всего 70 ГВт. За несколько лет ге-лиоэнергетика выросла более чем в 2,5 раза.

Быстрое технологическое совершенствование солнечных батарей сни-зило их стоимость в пять раз за пять лет, при этом КПД лучших массовых образцов увеличился с 15 до 20 %.

В США, например, цена киловатт-часа упала с 32,3 цента в 2009 году до всего 7,2 цента в 2014-м. Солнечные киловатты стали дешевле тех, что производятся на угольных электростанциях, до сей поры считавшихся ос-новным сектором американской энергетике.

В первой половине 2014 года полмиллиона домовладельцев и коммер-ческих потребителей в США установили у себя солнечные батареи. Впервые в истории этой страны солнечных мощностей было введено больше, чем всех остальных вместе взятых (53 %).

Считается, что к 2020 году стоимость солнечной энергии сократится еще на 25 %, что сделает солнечную энергию дешевле газовой. Несмотря на резкий рост солнечной энергетике, в ближайшее десятилетие это не вызовет резкого обрушения цен на углеводороды. Пик ее выработки по- прежнему приходится на летний полдень, в то время как пик энергопотребления - на зимний вечер. А значит, до создания крупных накопительных мощностей солнечная генерация не сможет превысить 20 % от среднегодовой генерации энергосистемы. Тем не менее, по данным немецкого Института Фраунгофера, за 11 месяцев в 2014 года в Германии объем выработки электроэнергии с использованием газа составил всего 29 млрд кВт-ч (на 18 % меньше, чем в 2013-м), а вот объем солнечной генерации достиг 32,5 млрд кВт-ч (на 7 % больше).

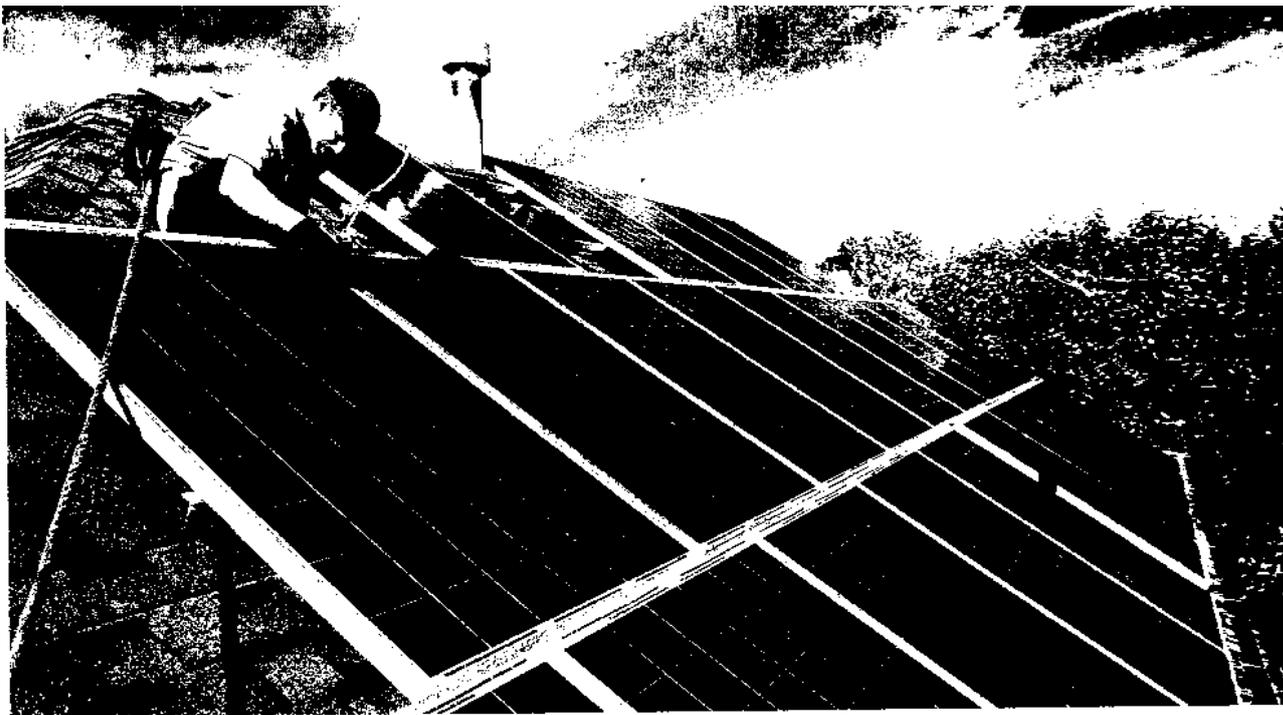


Рисунок 35 – Солнечная батарея на кровле здания

## 7.2 Ветроэнергетика

В 1995 году суммарная мощность ветроэнергетического сектора в мировом энергетическом балансе составляла всего лишь 4800 МВт, в 2005-м - 59 000 МВт, в 2009-м - 159 740 МВт. В 2010 году этот показатель составил 197 000 МВт, что на 20 % больше, чем в 2009-м. В последующем эта динамика замедлилась. Так, в 2013 году среднегодовой темп роста остановился на уровне 12 %, а в 2014-м поднялся всего до 13,5 %.

Если в 2005 году энергию ветра использовали около 50 стран, то в 2012 году их количество увеличилось ровно в два раза и достигло 100 (таблица 2).

В пятерку ведущих ветроэнергетических держав 2014 года вошли Китай, США, Германия, Испания, Индия. Доля этих стран в мировом производстве энергии с использованием ветра составила 72 %. Ветро-энергетический рынок Китая, за полгода (конец 2013 - июнь 2014) нарастил свою мощность на 7000 МВт. Высокие темпы роста в первом полугодии 2014 года в Германии - 1800 МВт.

Лидером по установленной мощности ветроэнергетических установок по состоянию на июнь 2014 года является Азия – 36,9 % мирового рынка, с небольшим отрывом за ней следует Европа – 36,7 %.

В таблице 2 представлена суммарная мощность ветроустановок в некоторых странах мира.

Таблица 2. Суммарная мощность ветроустановок в некоторых странах мира.

Место в рейтинге по развитию ветроэнергетики	Страна	Мощность установок, МВт			
		Июнь 2014 года	2013 год	2012 год	2011 год
1	Китай	98 588	91 413	75 324	62 364
2	США	61 946	61 108	59 882	46 919
3	Германия	36 488	34 658	31 315	29 075
4	Испания	22 970	22 959	22 796	21 673
5	Индия	21 262	20 150	18 321	15 880
6	Великобритания	11 180	10 531	8445	6018
7	Франция	8592	8254	7499	6877
8	Италия	8586	8551	8144	6640
9	Канада	8526	7698	6201	5265
10	Дания	4855	4772	4162	3927
11	Португалия	4829	4724	4525	4379
12	Швеция	4824	4470	3745	2798
13	Бразилия	4700	3399	2507	1429
14	Австралия	3748	3049	2584	2226
15	Польша	3727	3390	2497	1616
	Итого:	33 6327	318 488	282 607	233 579

Ветроэнергетический рынок Германии за первое полугодие 2014 года в сравнении с аналогичным периодом 2013-го вырос на 47 %. Высокие темпы роста наблюдались также в Великобритании, Швеции, Франции, Польше.

Ветроэнергетический рынок США: за полугодие (конец 2013 - июнь 2014) объем мощностей в стране увеличился на 835 МВт.

В настоящее время начинает развиваться офшорная (морская) ветроэнергетика. Первая морская ветроэлектростанция была введена в строй в Дании, но мировым лидером в этом регионе является Великобритания. На ее долю в 2012 году приходилось 74 % рынка мировой офшорной ветроэнергетики. Сегодня примерно каждая третья ВЭУ страны установлена в море, при этом в британских водах находится каждая вторая морская действующая ВЭУ в мире.

Кроме Соединенного Королевства крупные офшорные ветропарки в Европе имеют еще 4 страны - Бельгия, Германия и Нидерланды. К концу 2013 года позиции этих стран по производству электроэнергии на офшорных ветроустановках распределились следующим образом: Великобритания - 3,681 тыс. МВт, Дания - 1,272 тыс. МВт, Бельгия - 571 МВт, Германия - 520 МВт.

### **7.3 Возобновляемые источники в Республике Беларусь**

В целях создания более благоприятных условий для инвестирования в строительство объектов возобновляемой энергетики и предоставления гарантий государства по защите данных инвестиций Президент Беларуси 18 мая подписал Указ № 209 «Об использовании возобновляемых источников энергии». Документ направлен на систематизацию работы по внедрению в республике объектов возобновляемой энергетики.

Указом закрепляются неизменными в течение 10 лет с момента ввода установок в эксплуатацию повышающие коэффициенты, применяемые при определении тарифов на электрическую энергию, производимую установками по использованию возобновляемых источников энергии.

Документ также предусматривает дифференцирование повышающих коэффициентов не только в зависимости от вида возобновляемых источников энергии, но и от иных параметров установок (электрическая мощность, срок службы оборудования на дату ввода в эксплуатацию и др.).

Правительству предоставлено право на установление и распределение квот на строительство установок по видам (энергия солнца, ветра, воды, биогаз) для определения экономически оправданных объемов их строительства, исключения чрезмерного развития по отдельным направлениям, обеспечения выбора наилучших технических предложений и наиболее экономически совершенных установок.

По состоянию на январь 2015г. в Республике Беларусь работало 49 ветроустановок, 11 биогазовых комплексов, 6 станций по утилизации газа. Работала Гродненская ГЭС и велись работы по строительству еще двух ГЭС на Западной Двине. Под Новогрудком в поселке Грабники смонтирован ветропарк из пяти установок мощностью по 1,5 Мвт. Срок окупаемости 11 лет.

## **8 Перечень нормативных документов в области охраны окружающей среды**

1. ТКП 45.02-12.2014 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Порядок ведения учета в области охраны окружающей среды и заполнения форм учетной документации».

2. ТКП 17.13-12-2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Требования к лабораториям, осуществляющим аналитический контроль и мониторинг поверхностных и сточных вод».

3. ТКП 17.06-08-2012 (02120) «Порядок установления нормативов до-

пустимых сбросов химических и иных веществ в составе сточных вод».

4. ТКП 17.11-06-2012 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Правила проведения инвентаризации стойких органических загрязнителей, дополнительно включенных в стокгольмскую конвенцию О СОЗ».

5. ТКП 17.11-01-2009 (02120) Технический кодекс установившейся практики. «Охрана окружающей среды и природопользование. Отходы. Правила использования углеводородсодержащих отходов в качестве топлива».

6. ТКП 17.13-01-2008 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Мониторинг окружающей среды. Правила проектирования и эксплуатации автоматизированных систем контроля за выбросами загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферный воздух».

7. СТП 09.110.02.312-08 «Порядок организации и проведения непрерывного мониторинга выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании топлива в котельных, газотурбинных и газомоторных установках».

8. СТП 09.110.02.311-06 «Инструкция по определению удельных выбросов котлов ТЭС для нормирования выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух».

9. ТКП 17.13-13-2013 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Аналитический контроль и мониторинг. Правила проведения наблюдений при аварийном загрязнении поверхностных вод».

10. СТП 34.01.203 (РД 34.01.203) «Перечень нормативных документов по водоподготовке, очистным сооружениям, конденсатоочистке, по эксплуатации энергетических масел и электролизных установок, обязательных для использования технологическими подразделениями энергопредприятий».

11. МЗ РБ №10-27/12-722 от 11.04.2014. «Об утверждении санитарных норм и правил «Требования к проектированию, строительству, капитальному ремонту, реконструкции, благоустройству объектов строительства, вводу объектов в эксплуатацию и проведению строительных работ».

12. МЗ РБ. Постановление № 115 от 16.11.2011. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

13. МЗ РБ. Постановление № 39 от 31.03.2010. «Об утверждении санитарных норм, правил и гигиенических требований к проектированию и эксплуатации атомных электростанций».

14. МЗ РБ. Постановление № 110 от 01.11.2011. Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы, гигиенические требования к содержанию территорий населенных пунктов и организаций.
15. МЗ РБ. Постановление № 174 от 21.12.2010. Об установлении классов опасности загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, порядке отнесения загрязняющих веществ к определенным классам опасности загрязняющих веществ.
16. МЗ РБ. Постановление № 172 от 21.12.2010. О внесении изменений и дополнений в санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы. «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ».
17. МЗ РБ. Постановление № 11 от 10.12.2011. Об утверждении санитарных норм, правил и гигиенических нормативов. «Гигиенические требования к организации санитарно-защитных зон предприятий, сооружений и других объектов, являющихся объектами воздействия на здоровье человека и окружающую среду».
18. СНПиГН «Гигиенические требования к условиям труда работников и содержанию производственных предприятий» УП МЗ РБ от №98 от 16.07.2010.
19. СНПиГН «Санитарные нормы, правила и гигиенические требования к организации психологических процессов и производственному оборудованию» УП МЗ РБ от № 93 от 13.07.2010.
20. РУП «Бел НИЦ Экология» Сборник нормативных документов по вопросам охраны окружающей среды. Выпуск 60,61.
21. РУП «Бел НИЦ Экология» Сборник методик выполнения измерений допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций РБ в 3-х частях.
22. МВИ.МН 1003-2007. Методика выполнения измерений концентраций и выбросов загрязняющих веществ, скорости газов, температуры, влажности и давления электронными переносными приборами.
23. КС РБ Закон Республики Беларусь «Об обращении с отходами».
24. МПР и ООС РБ «Правила эксплуатации газоочистных установок».
25. МПР и ООС РБ «Классификатор отходов, образующихся в Республике Беларусь».
26. ТКП 17.08-04-2006 (02120) Порядок определения выбросов при сжигании топлива в котлах теплопроизводительностью более 25 МВт.

## 9 Обозначения

АВР - аварийное включение резерва  
АГП - автоматическое гашение поля возбуждителя генератора  
АМНС - аварийный масляный насос смазки  
АПВ - автоматическое повторное включение  
АПК - антипомпажный клапан  
АР - асинхронный режим работы генератора  
АРВ - автоматическое регулирование возбуждения генератора  
АРЧМ - автоматическое регулирование частоты и активной мощности  
АСК - автоматизированная система контроля выбросов  
АСУ ТП - автоматизированная система управления технологическими процессами  
АЧР - автоматическая частотная разгрузка генератора  
АЭС - атомная электростанция  
БВР - барабан высокого давления  
БНД - барабан низкого давления  
БРОУВД - быстродействующая редуционно-охладительная установка  
БРУНД - быстродействующая редуционная установка  
ВД - высокое давление  
ВН - высокое напряжение  
ВНА - входной направляющий аппарат (поворотный)  
ВОК - выносной охладитель конденсата  
ВХР - водо-химический режим  
ГВТО - газовойдяной теплообменник (иное название КУ)  
ГЖ - горючая жидкость  
ГНК - газовый подогреватель конденсата  
ГПЗ1 - главная паровая задвижка котла-утилизатора  
ГРП - газораспределительный пункт  
ГРС - газораспределительная станция  
ГТ - газовая турбина  
ГТД - газотурбинный двигатель  
ГТРС - газотурбинная редуционная станция  
ГТУ - газотурбинная установка  
ДГК - дожимной газовый компрессор  
ДКС - дожимная компрессорная станция  
ЗОТ - зона обратных токов  
ИВД - испаритель высокого давления  
ИНД - испаритель низкого давления  
ИО - исполнительный орган  
КВОУ - комплексное воздухоочистительное и шумопоглощающее устройство  
КЗ - короткое замыкание  
КМП - керамические и металлокерамические материалы  
КС - камера сгорания

КУ - котел-утилизатор  
ЛВЖ - легковоспламеняющаяся жидкость  
МНС - масляный насос смазки  
МТВ - мультитрубки Вентура  
МТЗ - максимальная токовая защита  
МЩУ ППГ - местный щит управления пункта подготовки газа  
НГПР - насос гидросистемы подъема роторов  
НА - направляющий аппарат  
НД - низкое давление  
НН - низкое напряжение  
НРК - насос рециркуляции конденсата  
НСР - насос системы регулирования  
ОМ - огнеупорные материалы  
ППП - подводный газопровод  
ПГУ - парогазовая установка  
ПДК - предельно допустимые концентрации  
ПЗК - предохранительный запорный клапан  
ПМН - пусковой масляный насос  
ПНА - поворотный направляющий аппарат  
ППВД - пароперегреватель высокого давления  
ППГ - пункт подготовки газа  
ППМ - пористые порошковые материалы  
ППНД - пароперегреватель низкого давления  
ПР - производство растворимости веществ в воде  
ПСГ - подогреватель сетевой воды горизонтального типа  
ПСК - предохранительный сбросной клапан  
ПТ - паровая турбина  
ПТК - программно-технический комплекс  
ПТУ - паротурбинная установка  
ПТЭ - правила технической эксплуатации  
ПУЭ - правила устройства электроустановок  
ПЭНВД - питательный электронасос высокого давления  
РВД - ротор высокого давления  
РЗА - релейная защита и автоматика  
РК - рабочее колесо  
РМНС - резервный масляный насос смазки  
ТКП - технический кодекс установившейся практики  
ТМ - теплоизоляционные материалы  
ТН - трансформатор напряжения  
ТНПА - технические нормативные правовые акты  
ТСН - трансформатор собственных нужд  
УСД - узел стабилизации давления газа  
УСД (ГРП) - узел стабилизации давления (ГРП)  
ФГО - фильтр грубой очистки  
ФТО - фильтр тонкой очистки

ЦВД - цилиндр высокого давления  
ЦНД - цилиндр низкого давления  
ЦПГУ - цех парогазовых установок  
ЧАПВ - включение питания отключенных потребителей при восстановлении частоты  
ЧРП - частотный регулируемый привод  
ЭВД1 - первая ступень экономайзера высокого давления  
ЭВД2 - вторая ступень экономайзера высокого давления  
ЭНД - экономайзер низкого давления

### Список использованной литературы

1. Ю.М. Шнайдерман, В.В. Саранцев, М.В. Алейникова. Учебно-методическое пособие Основы современной энергетики. Минск. БНТУ, 2015.
2. Е.Э. Васильева, В.В. Альханакта. Учебно-методическое пособие. Экономика природопользования. Минск, 2011.
3. Ю.М. Шнайдерман. Еще раз об аудитах на ТЭС. Журнал «Энергетическая стратегия», №2, с.32-33, 2015.
4. Е.Н. Иванов и др. Сокращение водопотребления и повторное использование сточных вод – перспективная задача теплоэнергетики. Журнал «Теплоэнергетика», №6, с. 47-52, 2011.
5. Тепловые и атомные станции. Справочник. Под общей редакцией А.В. Клименко, В.М. Зорина. Издательство ИЭИ, 2003.
6. Л.П. Падалко и др. Энергосистема Беларуси и развитие автотранспорта на электротяге. Энергетика и ТЭК. №144, с.41-43, 2015.
7. И.Ф. Ливган. Инженеру об охране окружающей среды. Москва, 1981.
8. В.П. Куличенков, Ю.М. Шнайдерман. Оборудование для повышения энергоэффективности ТЭЦ. Журнал №4 «Энергия и менеджмент», 2015.