

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Л.А. НИКОЛАЕВА, Р.Я. ИСХАКОВА

**ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ВОЗДУШНОГО
БАССЕЙНА НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

УДК 543.2
ББК 24.4
Н63

Рецензенты:

д-р техн. наук, заведующий кафедрой инженерной экологии
ФГБОУ ВО «КНИТУ» *И.Г. Шайхиев;*

д-р биол. наук, заведующий кафедрой инженерной экологии
и рационального природопользования ФГБОУ ВО «КГЭУ»,
эксперт Федерального реестра экспертов Минобрнауки России
Р.Я. Дыганова

Н63 **Николаева Л.А., Исакова Р.Я.**

Охрана водных ресурсов и воздушного бассейна на объектах
энергетики: учеб. пособие / Л.А. Николаева, Р.Я. Исакова. – Казань:
Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 77 с.

Изложены основные термины и определения в области охраны водных
ресурсов и воздушного бассейна, представлены нормативы качества природной
среды. Рассмотрены пути применения воды в теплоэнергетике, а также вопросы
экологии энергетики: очистка сточных вод и атмосферных выбросов ТЭС.
Описаны существующие типы АЭС, в результате работы которых образуются
различные типы отходов. Приведены природоохранные технологии, используемые
для их обезвреживания.

Учебное пособие предназначено для студентов всех форм обучения
по образовательной программе направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика
и теплотехника, профиль «Технология воды и топлива на тепловых и атомных
электрических станциях».

УДК 543.2
ББК 24.4

© Николаева Л.А., Исакова Р.Я., 2020

© Казанский государственный энергетический университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время промышленная экология является интенсивно развивающейся отраслью науки, исследующей взаимодействие промышленного сектора и окружающей природной среды. Она изучает технологические процессы промышленных предприятий с целью уменьшения их воздействия на окружающую среду, а также пути модернизации производственных процессов.

Значительное внимание уделяется вопросам очистки открытых водоемов и атмосферного воздуха в связи со значительным негативным влиянием промышленных объектов на эти компоненты природной среды.

Задачи промышленной экологии сводятся к двум основным направлениям: эффективная очистка сбросов и выбросов при существующем уровне развития производства и сокращение ущерба от антропогенной деятельности посредством совершенствования технологий различных отраслей промышленности, многократного использования отходов производства в качестве вторичных материальных ресурсов.

Различные отрасли промышленного сектора оказывают разное воздействие на состояние окружающей природной среды. Энергетика является важнейшей отраслью хозяйства, без которой невозможна производственная деятельность человека. Однако применение органического топлива как основного источника тепловой энергии сопровождается неблагоприятным влиянием на состояние окружающей среды.

В настоящее время предприятия энергетического комплекса – второй по значимости после автотранспорта источник загрязнения воздушных бассейнов крупнейших городов мира. Также энергетика занимает первое место по «тепловому» загрязнению природных водоемов при сбросе сточных вод.

Атомная энергетика (с точки зрения загрязнения атмосферы) является более экологически безопасной, чем традиционные ТЭС на органическом топливе, но в связи с вероятностью радиационного заражения окружающей среды выступает самым опасным в экологическом отношении видом энергетического производства. Также остро стоит вопрос обезвреживания отходов ядерного топливного цикла, так как захоронение радиоактивных отходов в специальных хранилищах не является экологически целесообразным способом их утилизации и обезвреживания, поскольку при нарушении целостности оболочки хранилища возможно радиоактивное загрязнение природной среды.

Приведенное негативное антропогенное воздействие обусловлено технологическими особенностями энергетического производства и не может быть полностью исключено. Однако снижение негативного влияния объектов энергетики на окружающую среду является приоритетной задачей.

Внедрение в энергетику более эффективных и экологически чистых технологий сегодня является актуальной проблемой промышленной экологии.

Энергетическая отрасль является также наиболее водоемкой отраслью промышленности; при этом в России удельный вес водопотребления этой отраслью все более возрастает. Вода выступает в качестве рабочего тела на ТЭС, термоядерная энергетика тоже является весьма водоемкой.

Однако современные природоохранные технологии, существующие в настоящее время, способны минимизировать негативное воздействие энергетической отрасли на окружающую среду.

Поэтому важной задачей является организация работ по внедрению современных технологий и подходов к очистке газов и сточных вод на объектах энергетики, модернизации существующего оборудования и использованию перспективных энергоустановок, способных существенно улучшить удельные экологические показатели при производстве электро- и теплоэнергии, а также эффективно решать вопросы повышения надежности работы энергогенерирующих установок при дефиците водных ресурсов.

Кроме того, значительным вкладом в охрану окружающей среды является применение принципа ресурсосбережения и экологически чистых технологий на объектах энергетики.

Учебное пособие предназначено для формирования у студентов способностей обеспечивать соблюдение экологической безопасности на производстве и планировать экозащитные мероприятия и деятельности по энерго- и ресурсосбережению на производстве, а также осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий.

ГЛАВА 1. СУЩНОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АСПЕКТА В ЭНЕРГЕТИКЕ

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) Российской Федерации является совокупностью отраслей промышленности, связанных с добычей, переработкой и транспортировкой топливно-энергетических ресурсов, а также производством, доставкой и распределением электроэнергии.

ТЭК России хорошо обеспечен собственными энергетическими ресурсами, представленными запасами органического топлива. При этом возникает значительное количество экологических проблем в связи с расширением потребностей отрасли.

Объекты ТЭК являются одним из основных источников негативного воздействия на окружающую природную среду на всех циклах производственной деятельности.

Поэтому внедрение в энергетическую отрасль более эффективных и экологически чистых технологий сегодня является одной из приоритетных задач. В первую очередь, это связано с общей необходимостью экономии и рационального использования невозобновляемых энергетических ресурсов. Кроме того, подобный подход позволит минимизировать антропогенное воздействие отрасли на окружающую среду.

1.1. Общие понятия и определения

В этой связи актуальным является изучение такой комплексной научно-технической дисциплины, как «Промышленная экология». **Промышленная экология** – система научно обоснованных инженерно-технических мероприятий, направленных на сохранение окружающей природной среды при условии растущих объемов промышленного производства. Таким образом, **объектом** исследования дисциплины являются **природно-промышленные системы**, которые образовались в результате длительного взаимодействия различных отраслей промышленности с окружающей средой.

Основным понятием в промышленной экологии является понятие экологической системы [1]. **Экологическая система** – это совокупность различных видов организмов и условий их существования, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом.

В то же время важным является понятие «экологический фактор».

Экологический фактор – свойства или элемент среды обитания, оказывающие какое-либо воздействие на организм.

Экологические факторы подразделяют на:

- абиотические (т.е. факторы неживой среды: климатические условия и т.д);
- биотические (факторы живой среды);
- антропогенные (возникающие в процессе деятельности человека).

В рамках изучения промышленной экологии наиболее важное значение имеет понятие «**антропогенный производственный фактор**» (АПФ) – фактор, вызывающий негативные изменения окружающей природной среды, подверженной воздействию производственного процесса, и неблагоприятно влияющий на здоровье человека, который непосредственно задействован в данном производстве.

По природе возникновения АПФ могут классифицироваться на:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

По действию АПФ на организм человека различают:

- вредные – АПФ, действие которых приводит к постепенному ухудшению здоровья человека и снижению его работоспособности (шум, электромагнитные поля);
- опасные – АПФ, действие которых приводит к резкому ухудшению здоровья человека (электрический ток, высокие концентрации токсичных веществ в воздухе);
- особо опасные – АПФ, действие которых приводит к промышленной аварии, влияющей на состояние здоровья значительного количества людей (пожар, взрыв, вызванный утечкой газа и т.д.).

Также в промышленной экологии существует понятие «**класс опасности вредных веществ**» – условная величина, предназначенная для упрощенной классификации потенциально опасных веществ. Классы и группы опасности веществ устанавливаются в зависимости от уровня воздействия и степени защиты, предотвращающей это воздействие.

По степени воздействия на организм вредные вещества подразделяют на пять классов опасности:

- I класс – вещества чрезвычайно опасные;
- II класс – вещества высокоопасные;
- III класс – вещества умеренно опасные;
- IV класс – вещества малоопасные;
- V – практические безопасные.

Класс опасности вредных веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей, указанных в табл. 1.1 [13].

Таблица 1.1

**Классификация вредных веществ
по степени токсичности и опасности**

Наименование показателей	Норма для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
Предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Менее 0,1	0,1–1,0	1,1–10,0	Более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15–150	151–5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100–500	501– 2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м ³	Менее 500	500–5000	5001–50000	Более 50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300–30	29–3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0–18,0	18,1–54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0–5,0	4,9–2,5	Менее 2,5

В табл. 1.1 первые четыре показателя характеризуют степень токсичности вредного вещества, а три последние – степень его опасности.

Среди различных отраслей производственного сектора экономики энергетика вносит наибольший негативный вклад в состояние экологической ситуации в регионе.

1.2. Нормативы качества природной среды

При взаимодействии промышленных предприятий и экосистем неизбежно возникает деградация последних. Для улучшения ситуации необходимо реализовать технологические комплексы, направленные на снижение негативного влияния промышленности на окружающую среду. Для реализации экономического механизма регулирования природопользования и повышения экономической заинтересованности промышленных предприятий в снижении антропогенного воздействия на окружающую среду введен принцип «загрязнитель платит». Данный принцип означает, что предприятие, наносящее вред окружающей природной среде, должно нести расходы по осуществлению мер по компенсации экологического ущерба.

За выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, сбросы в водный бассейн и размещение отходов существуют два вида платежей:

– в пределах лимитов допустимых выбросов, установленных для предприятия;

– превышающие пределы лимитов допустимых выбросов, установленных для предприятия.

Лимиты определяются для каждого предприятия на основании экологической обстановки в регионе, его экономических возможностей, а также с учетом поэтапного достижения желаемых нормативов.

Таким образом, **лимиты** – это система эколого-экономических ограничений по выбросам и сбросам в окружающую природную среду загрязняющих веществ, объемам предельных показателей использования природных ресурсов, размещению отходов и т.д.

Лимитами для выбросов и сбросов загрязняющих веществ служат нормативы качества природной среды:

- **ПДК** (предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в атмосфере или водных источниках).
- **ПДС** (предельно допустимые сбросы в водоемы);
- **ПДВ** (предельно допустимые выбросы в атмосферу);
- **ПДН** (предельно допустимые нагрузки на природную среду, например количество голов скота на единицу площади пастбища).

1.2.1. Нормативы качества атмосферного воздуха

Предельно-допустимая концентрация (ПДК) – это максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает каких-либо болезненных ощущений в организме и неблагоприятных наследственных изменений у потомства.

К ПДК относится концентрация какого-либо вещества в атмосфере, которая не оказывает прямого или косвенного вредного воздействия на здоровье и самочувствие человека, не снижает его работоспособности и качества жизни.

При исследовании атмосферного воздуха выделяют ПДК для двух периодов усреднения концентрации:

- **среднесуточная ПДК** ($\text{ПДК}_{\text{ср с}}$) – значение, выступающее основным и гарантирующее отсутствие неблагоприятного хронического действия на организм человека;
- **максимальная разовая ПДК** ($\text{ПДК}_{\text{м р}}$) – значение концентраций для веществ, обладающих раздражающим действием (например, запахом) для оценки максимальных подъемов концентрации в течение 20–30 мин.

С понятием ПДК тесно связано определение пороговых и подпороговых концентраций в атмосфере.

Пороговая концентрация – минимальная доза вещества, вызывающая при хроническом воздействии патологические изменения в организме.

Подпороговая концентрация – максимальная доза раздражающего вещества, не вызывающая при хроническом воздействии патологических изменений в организме.

В связи с этим ПДК определяется на уровне подпороговых значений, нормирование которых ведется в расчете на группы населения (к ним относятся дети, лица пожилого возраста и ослабленные болезнью).

Установление среднесуточной ПДК_{ср с} основано на исследовании действия вредного вещества в условиях круглосуточной экспозиции на экспериментальных животных. Длительность экспозиции составляет 3–4 месяца, а это 10–15 % времени жизни белых крыс, на которых, как правило, проводятся подобные эксперименты. Далее проверка проводится в натурных исследованиях на населении и рассматривается как обязательный второй этап нормирования, его результаты свидетельствуют о надежности установленных в РФ ПДК атмосферных загрязнений и правомерности прямого переноса результатов эксперимента в реальные условия.

Максимальные разовые ПДК_{м р} определяются по рефлекторным реакциям (преимущественно по запаху). Вещества, обладающие запахом или раздражающим свойством, исследуются на добровольцах в условиях краткосрочных опытов с целью определения порога запаха раздражающего или рефлекторного действия. При этом в значении ПДК_{м р} учитывается влияние средних пороговых или подпороговых концентраций не для группы, а для некоторых наиболее подверженных лиц.

ПДК рассматривается относительно конкретного химического вещества, однако для атмосферного воздуха характерно присутствие многих химических соединений. Их взаимодействие и дальнейшее воздействие на организм может иметь следующий характер:

- синергизм (взаимное усиление воздействия на организм);
- антагонизм (взаимное ослабление воздействия на организм);
- независимое действие (ответная реакция организма соответствует каждому из действующих веществ в отдельности).

Для **оценки комбинированного действия** химических веществ используется формула:

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1,$$

где C_1, C_2, C_n – концентрации веществ; $ПДК_1, ПДК_2, ПДК_n$ – предельно допустимая концентрация для каждого вещества.

При условии, что сумма долей обнаруженных концентраций, отнесенных к их ПДК, не превышает единицы, то степень загрязненности атмосферного воздуха с учетом суммации биологического действия не превышает гигиенических нормативов. Перечень смесей атмосферных загрязнений, для которых должна учитываться суммация биологического действия при совместном присутствии, внесен в санитарное законодательство и используется для гигиенической оценки степени загрязнения атмосферного воздуха на стадии предупредительного и текущего санитарного надзора.

По временному интервалу рассматриваются:

- **среднесуточная концентрация**, т.е. среднеарифметическое значение концентраций, измеренных в течение суток или полученных при непрерывном отборе пробы в течение 24 ч;

- **среднемесячная концентрация**, т.е. среднеарифметическое из среднесуточных концентраций за определенный месяц;

- **среднегодовая концентрация** – среднее всех 365 суточных или 12 месячных усредненных концентраций.

Фактическое загрязнение атмосферы воздуха городов и населенных пунктов оценивается по пятибалльной шкале:

- 1 – допустимое загрязнение;
- 2 – умеренное загрязнение;
- 3 – слабое загрязнение;
- 4 – сильное загрязнение;
- 5 – очень сильное загрязнение.

Загрязнение степени 1 является безопасным для здоровья человека. При загрязнении степеней 2–5 вероятность возникновения негативных эффектов возрастает с их увеличением.

При этом следует учитывать, что зачастую содержание примесей в воздухе рабочей зоны больше, чем на промышленной площадке предприятия и за ее пределами. При выбросах предприятием вредных химических веществ в атмосферу, населенные пункты они поступают рассеянными. Учитывая это, приняты **принципы раздельного нормирования** загрязняющих веществ, по которым для каждого вредного вещества устанавливается несколько максимальных разовых предельно допустимых концентраций в воздушной среде.

Например, одно значение ПДК устанавливается для воздуха рабочей зоны (ПДК_{р з}), под которой понимают пространство в пределах двух метров от пола, где находятся места постоянного или временного пребывания работающих, другое – для атмосферного воздуха населенного пункта (ПДК_{н п}).

Предельно допустимая концентрация рабочей зоны – это концентрация, которая при ежедневной трудовой деятельности человека, кроме выходных, в течение 8 ч или при другой продолжительности рабочего дня, но не более 41 ч в неделю, в период всего трудового стажа не может вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследования как в процессе работы, так и в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. На территории предприятий содержание примесей принимается равным 0,3 ПДК.

Предельно допустимая концентрация атмосферного воздуха населенного пункта – это максимальная концентрация примеси, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при воздействии на протяжении всей его жизни или периодических контактах не оказывает вредного влияния, включая отдаленные последствия, на него и на окружающую среду в целом.

Наряду с предельно допустимыми концентрациями существуют временно допустимые концентрации (ВДК), иначе называемые **ориентировочно безопасными уровнями воздействия (ОБУВ)**, – временный гигиенический норматив для загрязняющего атмосферу вещества, установленный расчетным методом для целей проектирования промышленных объектов.

Предельно допустимые выбросы (ПДВ) загрязняющих веществ промышленными предприятиями в атмосферу регламентируются для каждого конкретного объекта исходя из условия, чтобы сумма приземных концентраций данного вещества, поступающих от всех организаций, не превышала ПДК. Таким образом, ПДВ выступают в качестве средства контроля деятельности промышленного объекта. Использование нормативных показателей выбросов позволяет объективно оценить превышение ПДК вредных веществ или веществ и примесей, входящих в состав выбрасываемых газов в двухметровом слое на уровне земли, а также в вертикальном и горизонтальном сечении дымового факела на расстоянии не более 100 км от источника.

Регламентация выбросов в атмосферу осуществляется путем установления ПДВ вредных веществ, т.е. нормативов, определенных из условия, при котором содержание загрязняющих веществ в приземном слое воздуха от источника или их совокупности не превышает нормативов качества воздуха для населения, животного и растительного мира. При этом

обязательно учитываются фоновые концентрации тех же веществ от внешних источников и эффект суммирования.

Движение атмосферного воздуха имеет беспорядочный, случайный характер, при этом происходит постоянное его перемешивание. При выбросах вредных примесей промышленным предприятием происходит их рассеяние, и с увеличением расстояния от точки выброса их концентрации снижаются до безопасных уровней. Поэтому с целью защиты объектов и зон градостроения от воздействия загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу вместе с выбросами, требуется отделять предприятия или их подразделения свободными территориями – санитарно-защитными зонами (СЗЗ).

Санитарно-защитные зоны – это территории определенной протяженности и ширины, располагающиеся между предприятиями и источниками загрязнения и границами зон жилой застройки.

Все промышленные предприятия разделены на 10 групп по отраслям в зависимости от совокупности вызываемых ими вредностей. В пределах каждой группы по степени опасности выделяется пять классов предприятий, и в зависимости от класса устанавливается нормативная ширина СЗЗ. Минимальные протяженности СЗЗ составляют для предприятий:

I класса – 1000 м (ТЭС с электрической мощностью 600 мВт и выше, использующие в качестве топлива уголь и мазут);

II класса – 500 м (ТЭС с электрической мощностью 600 мВт и выше, работающие на газовом и газо-мазутном топливе, а также ТЭЦ и районные котельные тепловой мощностью 200 Гкал и выше, функционирующие на угольном и мазутном топливе);

III класса – 300 м (ТЭЦ и районные котельные тепловой мощностью 200 Гкал и выше, работающие на газовом и газомазутном топливе; золоотвалы ТЭС);

IV класса – 100 м;

V класса – 50 м.

При установлении протяженности СЗЗ учитываются господствующие направления ветров, т.е. в зависимости от розы ветров зоны могут иметь различную протяженность в разных направлениях, но не ниже минимальной. Размеры СЗЗ могут быть уменьшены за счет технологических мероприятий по очистке и обезвреживанию загрязняющих веществ.

Для прочих объектов энергетики размер СЗЗ устанавливается в каждом конкретном случае на основании расчетов рассеивания загрязнений атмосферного воздуха и физического воздействия на него (шум, вибрация, электромагнитные поля и др.), а также на основании результатов натурных исследований и измерений.

1.2.2. Нормативы качества воды водных объектов

Соблюдение ПДК для водоемов также является обязательным нормативным требованием к качеству воды. ПДК в воде – это такие нормативные показатели, при которых исключается неблагоприятное влияние каких-либо веществ на организм человека и которые ограничивают назначение водоема.

Назначение водоема определяется категорией водопользования. Различают следующие категории водопользования (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Категории водопользования

Категории водопользования			
Использование для нужд населения		Использование для нужд рыбного хозяйства	
Водоемы для питьевого и хозяйственно-бытового назначения	Водоемы для рекреационного назначения (отдых, купание спорт)	Водоемы для воспроизводства и сохранения ценных сортов рыб	Водоемы для других рыбохозяйственных целей

Химические загрязнители оказывают различное воздействие на организм – некоторые представляют опасность только при проглатывании, другие же – даже при контактном взаимодействии, поэтому ПДК разных веществ различаются лимитирующим показателем вредности (ЛПВ).

На основании их различного действия выделяют:

- органолептический ЛПВ, изменяющий органолептические свойства воды, т. е. вкус, цвет, запах;
- общесанитарный ЛПВ, влияющий на общесанитарное состояние водоема (например, на скорость протекания процессов самоочищения);
- токсикологический ЛПВ, влияющий на организм человека и обитающих в воде животных.

Для водных объектов питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного назначения в основу приоритетности нормирования положены преимущественно токсикологический, общесанитарный и органолептический лимиты, при этом вода в этих водоемах нормируется по 11 основным показателям, а ПДК установлено более чем для 1200 ядовитых веществ.

В случае водных объектов рыбохозяйственного назначения токсикологический и отчасти органолептический ЛПВ являются основными. Вода, используемая для рыбохозяйственных целей, нормируется по 8 основным показателям [7], а ПДК разработано почти для 1000 веществ.

При наличии нескольких веществ, относящихся к одной группе ЛПВ, содержание загрязняющего вещества должно соответствовать условию:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq 1,$$

где C_i – средняя концентрация i -го химического вещества в воде водоема; ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го химического вещества в воде водоема; n – количество веществ данной группы ЛПВ.

Защита водоемов от поступления в них вредных веществ может осуществляться различными способами и средствами, при этом выбор подходящего способа определяется в основном источником и типом загрязнения. Сточные воды, содержащие растворенные и взвешенные вещества, отходящие в водные объекты, рассматриваются как **сбросы**. Источники загрязнения можно разделить на два типа:

- стационарные или точечные источники (жилые массивы, промышленные предприятия, сточные воды которых попадают в природные водоемы через сливные и канализационные трубы);
- линейные или неточечные источники (воды сельской местности, которые поступают в природные водоемы с обширных поверхностей суши).

Сбросы могут быть:

– неорганизованными, если они стекают в водный объект непосредственно с территории промышленного или сельскохозяйственного предприятия, не оборудованного канализацией;

– организованными, если они отводятся через специальные водовыпуски, которые классифицируются по следующим признакам:

- по типу водоема, в который поступает сточная вода (озерные, речные, морские);
- по месту расположения выпуска: береговые (размещенные в пределах береговой полости), русловые (в виде трубопроводов, выводимых в русло реки до глубины более 30–40 м) и глубоководные (на глубину более 40 м);
- по конструкции распределительной части: сосредоточенные, рассеивающие и рассредоточенные);
- по конструкции сбросного устройства (оголовка).

В мировой практике существуют два подхода к проблеме ограничения содержания вредных веществ в сбросах сточных вод, которые могут оказать негативное влияние на состояние экологической ситуации и здоровье людей.

Первый подход состоит в том, чтобы загрязняющие вещества не оказывали отрицательного влияния на природные экосистемы в целом. Критерием здесь считается ассимиляционный потенциал территории,

показывающий, какое количество вредных веществ может без ущерба для своего состояния ассимилировать та или иная зона. После того как будут определены суммарные объемы вредных веществ, которые могут быть обезврежены в природных экосистемах данной территориальной единицы, промышленным предприятиям устанавливают предельные нормы на сбросы вредных веществ в течение определенного периода (сезона, года).

Второй подход, который практикуется в России, заключается в том, что приоритетным условием является соблюдение санитарно-гигиенических нормативов – соблюдение условия $C \leq \text{ПДК}$. Отсюда следует, что предприятие должно обеспечить такой сброс загрязняющих веществ в природную среду, при котором эти вещества смогут рассеяться до безопасных ПДК в определенных местах.

Состав и свойства влаги в водных объектах должны соответствовать нормативам в створе реки или в радиусе 1 км от пункта водопользования для непроточных водоемов (рис. 1.1, 1.2).

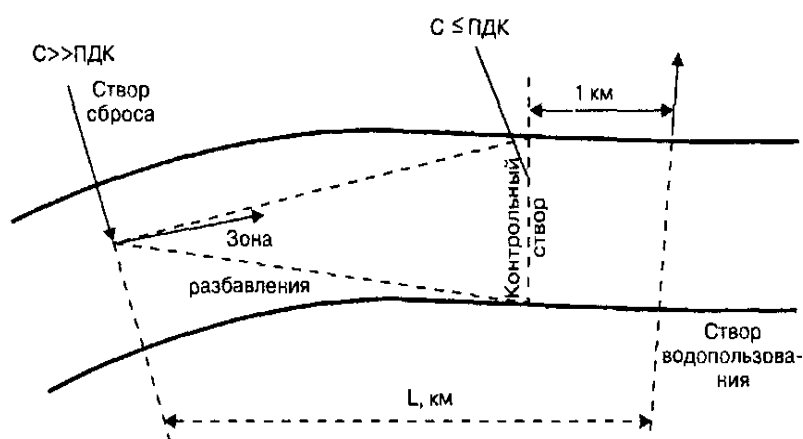


Рис. 1.1. Схема расположения контрольных точек на реке

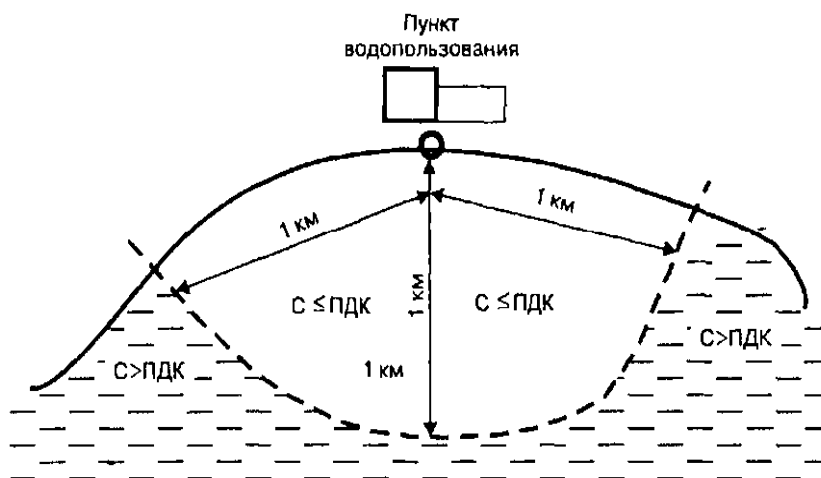


Рис. 1.2. Схема расположения контрольных точек в непроточном водоеме

Таким образом, в створе реки в пределах 1 км перед пунктом водопользования должно выполняться условие $C \leq \text{ПДК}$. Между пунктом водопользования и створом сброса сточных вод расположена зона разбавления вредного вещества, концентрация которого в сточной воде превышает ПДК. Условие $C \leq \text{ПДК}$ в установленном створе может быть обеспечено, если нормативно (предельно) допустимый сброс (НДС) в стоках гарантируется разбавлением их до неопасных концентраций. Обеспечение этих нормативов для каждого источника и для каждого отдельного вещества (с учетом эффекта суммации) является конкретной задачей предприятия.

Таким образом, если **ПДК** являются нормативами на **содержание загрязняющих веществ в природной среде**, то **НДС** – **нормативами на их поступление**.

Под НДС понимается масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению (в установленном режиме) в единицу времени. Расчет значения НДС производится для каждого конкретного промышленного объекта при установлении лимита отведения сточных вод в водный объект и для прогнозирования его степени загрязнения вниз по течению проектируемого выпуска. Расчет осуществляется на основе уравнения баланса, учитывающего фоновую концентрацию, гидрологические, гидравлические и гидродинамические особенности водного объекта.

Значения НДС разрабатываются и утверждаются для предприятий, имеющих или проектирующих самостоятельно выпуски сточных вод в водные объекты в целях соблюдения ПДК в контрольных створах водопользования. Расчет НДС производится по наибольшим среднечасовым расходам сточных вод, фактического периода их спуска, по концентрации загрязнений [6].

В табл. 1.3 показаны примеры средних удельных расходов воды и сточных вод на производство топлива и в теплоэнергетике.

Существуют ограничения на сброс сточных вод в водоем независимо от нормативных требований к качеству воды. Запрещается сбрасывать в водные объекты сточные воды [15], если они:

- содержат ценные отходы, которые могут быть утилизированы и вторично использованы в производственных циклах;
- содержат вредные соединения, для которых не установлены значения ПДК;
- содержат производственное сырье, реагенты, полупродукты и конечные продукты производства в количествах, превышающих установленные нормативы технологических потерь;
- могут быть использованы для орошения в сельском хозяйстве при соблюдении санитарных требований и с учетом состава местных условий;

• могут быть устранены путем рациональной технологии, максимального использования в системах оборотного водоснабжения.

Таблица 1.3

Средний расход воды при добыче топлива и получении энергии

Вид продукции	Объем оборотной ³ воды, м	Объем свежей ³ воды, м	Объем всей ³ воды, м	Потери ³ воды, м	Объем сточных ³ вод, м
Добыча топлива					
1 т нефти	3,6	3,6	7,2	3,2	0,4
1000 м ³ газа (условного)	600	15	615	12	3
1 т угля	2,1	0,3	2,4	0,15	0,15
Получение 1 МВт · ч электроэнергии					
на органическом топливе	137,6	6	143,2	1,4	4,6
на ядерном топливе	205	9,2	214,2	3	6,2

1.3. Экологический контроль на предприятиях энергетического сектора

Экологический контроль – составная часть управления природопользованием и охраной окружающей среды. Основной задачей экологического контроля является обеспечение соблюдения экологического законодательства, его норм (нормативов) и правил, а также выполнения планов и мероприятий по охране окружающей природной среды всеми предприятиями, учреждениями, организациями и иными органами независимо от форм собственности, подчиненности, должностными лицами и гражданами.

В зависимости от субъектного состава, осуществляющего экологический контроль, он подразделяется на:

1. Государственный экологический контроль, осуществляемый органами исполнительной власти всех уровней в пределах предоставленной им компетенции, а также специально уполномоченными органами РФ в области охраны окружающей природной среды. В законодательстве закреплена обязательность решений органов экологического контроля для всех министерств, ведомств, предприятий, учреждений, организаций, должностных лиц и граждан.

2. Ведомственный экологический контроль. Министерства и ведомства имеют структурные экологические подразделения, осуществляющие ведомственный контроль на подведомственных предприятиях, в учреждениях

и организациях. При осуществлении контроля ведомственные экологические подразделения особое внимание обращают на соблюдение экологических стандартов, нормативов и требований, внедрение безотходных, малоотходных и ресурсосберегающих технологий, снижение сбросов и выбросов загрязняющих веществ, осуществление мероприятий по предупреждению производственных аварий и катастроф, оказывающих вредное воздействие на природную среду.

3. Производственный экологический контроль. Обычно на предприятиях, в учреждениях и организациях приказом руководителя выделяется должностное лицо, непосредственно отвечающее за вопросы охраны окружающей природной среды. Кроме того, на предприятиях создаются специальные природоохранные структурные подразделения. В зависимости от профиля предприятия, степени вредности производства, применяемых технологий и используемого сырья разрабатываются отделы, службы, лаборатории, инспекции, цеха, участки.

На такие отделы возлагается организация на предприятии работы по обеспечению охраны окружающей среды от загрязнения выбросами и сбросами вредных веществ и промышленными отходами; сокращению водопотребления; рациональному использованию природных ресурсов; проведению рекультивации земель; а также осуществление систематических анализов результатов природоохранной деятельности предприятия и планирование соответствующих мероприятий в указанной области работы.

Природоохранные подразделения участвуют в составлении статистических отчетов по вопросам природопользования и состояния окружающей среды.

4. Муниципальный экологический контроль. Данный вид экологического контроля, согласно ст. 68 ФЗ «Об охране окружающей среды», осуществляется на территории соответствующего муниципального образования органами местного самоуправления непосредственно либо специально создаваемыми для этого органами. Порядок осуществления муниципального экологического контроля устанавливается нормативно-правовыми актами органов местного самоуправления.

5. Общественный экологический контроль. В ст. 68 ФЗ «Об охране окружающей среды» закреплены правовые основы осуществления общественного экологического контроля, целями которого являются реализация прав каждого на благоприятную окружающую среду и предотвращение нарушений экологического законодательства. При этом закон допускает, что такой контроль осуществляется общественными и иными некоммерческими объединениями в соответствии с уставами, а также гражданами в соответствии с законодательством.

В соответствии с действующим законодательством предприятие в своей деятельности по использованию природных ресурсов и воздействию на окружающую среду, планированию и проведению природоохранных мероприятий подконтрольно местной администрации и органам Минприроды РФ [14].

Контрольные вопросы

1. Что такое экологическая система? Какие уровни экологических систем Вы знаете?
2. Напишите формулу для оценки комбинированного действия химических веществ.
3. Какова минимальная протяженность санитарно-защитной зоны для ТЭС с электрической мощностью 600 мВт, использующей в качестве топлива мазут?
4. Назовите различие между предельно допустимым выбросом (сбросом) и предельно допустимой концентрацией вещества.
5. В чем состоит принцип раздельного нормирования загрязняющих веществ?
6. Какие существуют источники сброса сточных вод?

ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

В любой производственной отрасли вода является основным рабочим сырьем. Она используется для получения промышленных продуктов, в качестве растворителя, также является теплоносителем или охладителем в различных технологических процессах, служит рабочей средой в гидравлических устройствах. Вода необходима при промывке оборудования и сырья, тары, готовых изделий, выступает основным компонентом в моющих средствах.

Кроме того, вода на промышленных предприятиях используется и для непроизводственных нужд: для удовлетворения потребностей персонала, соблюдения противопожарной безопасности, обеспечения санитарно-гигиенических условий и т. д.

Расход воды для промышленного предприятия определяют в зависимости от удельного ее расходования (на единицу промышленной продукции) и мощности. Удельное водопотребление в значительной мере зависит от технологической схемы производства, системы промышленного водоснабжения, климатических условий и ряда других факторов.

Вода в различных агрегатных состояниях выступает основным рабочим телом на объектах теплоэнергетики. Качественная водоподготовка на энергетических предприятиях определяет не только их экономичность, но и экологическую безопасность станции.

2.1. Водопотребление в энергетике

Энергетика является отраслью промышленности, потребляющей значительное количество свежей воды. Ежегодно в энергетической отрасли используется порядка 30 млрд м³ природной воды. В зависимости от мощности турбин и применяемых параметров пара удельный расход воды на ТЭС малой и средней мощности составляет 0,12–0,45 м³/(кВт · ч). На ТЭС большой мощности, свыше 500 тыс. кВт, и при повышении параметров пара этот расход уменьшается до 0,2–0,105 м³/(кВт · ч). Так, например, ТЭС мощностью 2400 МВт только для установок обессоливания расходует около 300 т/ч воды.

Основная часть этой воды (85–90 %) идет на конденсацию пара для выработки электрической и тепловой энергии, а остальная часть – на охлаждение масла и воздуха (3–8 %), пополнение потерь в оборотных циклах (4–6 %), удаление золы и шлама (2–5 %), подпитку котлов (0,2–0,8 %).

На предприятиях энергетического сектора принципиально возможны два пути водопользования.

При прямоточном водоснабжении влага забирается из природного источника и после ее использования в цикле станции и необходимой очистки отработанная теплая вода сбрасывается в тот же водный объект на таком расстоянии от водозаборного сооружения, чтобы исключить возможность попадания в него теплой воды. Применение системы прямоточного водоснабжения не требует значительных капитальных вложений на строительство охлаждающих сооружений. При этом обеспечивается низкая и стабильная температура охлаждающей воды. Однако при использовании данного подхода требуются значительные расходы воды, забираемой из источника водоснабжения, поэтому для подобных решений необходимо применение больших многоводных рек.

При использовании замкнутого водоснабжения вода циркулирует в закрытой оборотной системе станции с ее охлаждением в градирнях, а из природного источника производится забор влаги в небольшом количестве с целью восполнения естественных потерь станции. Поэтому целесообразным является реализация принципа оборотного водоснабжения, который позволяет экономить 65–70 % свежей воды.

Согласно «Правилам технической эксплуатации электрических станций и сетей» (ПТЭ), режим функционирования водоподготовительных установок и водно-химический режим должны обеспечить работу электростанций и предприятий тепловых сетей без повреждений и снижения экономичности, вызванных коррозией внутренних поверхностей водоподготовительного, теплоэнергетического и сетевого оборудования, а также образованием накипи и отложений на теплопередающих поверхностях, в проточной части турбин, шлама в оборудовании и трубопроводах электростанций и тепловых сетей [2].

На АЭС очистка радиоактивной воды различных контуров защищает оборудование от образования отложений, снижает интенсивность коррозии материалов, а переработка жидких радиоактивных отходов позволяет сконцентрировать выделенную активность в минимальном объеме и направить концентрат на длительное хранение.

Это связано с тем, что оборудование современных ТЭС и АЭС эксплуатируется при высоких тепловых нагрузках, что требует жесткого ограничения толщины отложений на поверхностях нагрева по условиям температурного режима их металла в течение рабочей кампании. Такие отложения образуются из примесей, поступающих в циклы электростанций, в том числе и с добавочной водой, поэтому обеспечение высокого качества водных теплоносителей ТЭС и АЭС является важнейшей задачей.

Использование водного теплоносителя высокого качества упрощает также решение задач получения чистого пара, минимизации скоростей коррозии конструктивных материалов котлов, турбин и оборудования конденсатно-питательного тракта.

Для удовлетворения разнообразных требований к качеству влаги, потребляемой при выработке электрической и тепловой энергии, возникает необходимость специальной физико-химической обработки природной воды. Она является, по существу, исходным сырьем, которое после надлежащей обработки (очистки) используется для следующих целей:

- а) в качестве исходного вещества для получения пара в котлах, парогенераторах, ядерных реакторах кипящего типа, испарителях, паропреобразователях;
- б) для конденсации отработавшего в паровых турбинах пара;
- в) для охлаждения различных аппаратов и агрегатов ТЭС и АЭС;
- г) в качестве теплоносителя в первом контуре АЭС с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР), в тепловых сетях и системах горячего водоснабжения.

Одновременно с очисткой природной H_2O для подготовки применяемой на электростанциях чистой воды необходимо решать комплексно вопросы, связанные с утилизацией различными методами образующихся при этом сточных вод. Такое решение является мерой защиты от загрязнения природных источников питьевого и промышленного водоснабжения.

Выбор метода обработки воды, составление общей схемы технологического процесса при применении различных методов, определение требований, предъявляемых к качеству ее, существенно зависят от состава исходных вод, типа электростанции, параметров ее, используемого основного оборудования (паровых котлов, турбин), системы теплофикации и горячего водоснабжения. Экономичность метода зависит еще и от того, как включена обессоливающая установка в схему станции, а также от характеристик и параметров оборудования.

2.2. Основные понятия в области водопотребления и водоотведения в энергетике

В настоящее время в области водопотребления и водоотведения в энергетической отрасли приняты следующие основные понятия [3].

Свежая (добавочная) вода – это вода, поступающая в технологические системы ТЭС из водных объектов совместного пользования (природного источника, каналов, городского водопровода и др.), или очищенная сточная вода, подаваемая для восполнения безвозвратных потерь и на продувку.

Безвозвратные потери воды – это потери воды при производстве тепловой и электрической энергии в результате естественного и дополнительного испарения, уноса капельной влаги, утечек пара в паровом цикле и др.

Оборотная вода – это вода, использованная в технологическом цикле электростанции и после охлаждения или очистки идущая на те же цели.

Повторно используемая вода – это вода, применяемая в нескольких технологических системах электростанции после ее охлаждения или очистки, например очищенные нефтесодержащие стоки, используемые для подпитки оборотных систем.

Последовательно используемая вода – это вода, применяемая поочередно в нескольких производственных процессах или агрегатах без промежуточного охлаждения или очистки, например охлаждающая вода, которая подается после конденсаторов турбин в систему гидрозолоудаления или водоподготовки.

Продувочная вода – это вода, отбираемая из системы оборотного водоснабжения и заменяемая добавочной для поддержания солевого состава оборотной воды и загрязненности органическими веществами на определенном уровне.

Водопотребление – это потребление свежей (добавочной) воды из водного объекта или системы водоснабжения.

Полное водопотребление – это сумма объемов свежей и оборотной воды.

Водоотведение – это отведение вод, использованных электростанцией.

Сточные воды – это воды, отводимые после производственной и хозяйственно-бытовой деятельности электростанции (загрязненные и/или нагретые). Они могут сбрасываться в водоемы, закачиваться в подземные горизонты и бессточные скважины, частично или в полном объеме передаваться другим предприятиям.

Нормативно чистые сточные воды – это сточные воды, допустимые к сбросу без очистки, отведение которых в водные объекты не приводит к нарушению качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования.

Нормативно очищенные сточные воды – это сточные воды, отведение которых после очистки в водные объекты не приводит к нарушению норм качества воды в контролируемом створе или пункте водопользования.

Загрязненные сточные воды – это воды, сброс которых вызывает нарушение норм их качества в контролируемом створе или пункте водопользования.

Тепловое загрязнение – поступление теплоты в водный объект, вызывающее нарушение норм качества воды.

Удельный сброс загрязняющих веществ – количество загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоем при производстве единицы продукции (для ТЭС – это отпуск электрической и тепловой энергии).

Общий баланс воды на ТЭС имеет вид

$$W_{\text{св}} = W_{\text{ст}} + W_{\text{пер}} + W_{\text{пот}},$$

где $W_{\text{св}}$ – объем свежей воды, поступающей на ТЭС из источника водоснабжения; $W_{\text{ст}}$ – объем сточных вод; $W_{\text{пер}}$ – объем воды, переданной другим потребителям; $W_{\text{пот}}$ – безвозвратные потери воды.

В объем сточных вод системы, кроме воды, организованно отводимой после ее использования в водоемы, включается также вода, фильтруемая в водоемы (утечки через плотину водохранилища, дамбы, дно золоотвалов и шламоотвалов).

В количество воды, передаваемой другим предприятиям, включают воду и пар (невозврат конденсата, подпитка теплосети и др.), а также стоки, направленные на очистные сооружения других предприятий.

Полное водопотребление ($W_{\text{пол}}$) на ТЭС определяется по формуле:

$$W_{\text{пол}} = W_{\text{св}} + W_{\text{об}} + W_{\text{пп}}$$

и выражается в виде суммы потребностей в свежей, оборотной ($W_{\text{об}}$) и повторно или последовательно используемой ($W_{\text{пп}}$) воде.

Значительная плата за использование свежей воды и сброс сточных вод стимулирует сокращение их количества путем создания оборотных систем водоснабжения, очистки и повторного применения таких вод.

Для каждой ТЭС должны быть разработаны текущие (на текущий момент времени) и балансовые (технологически обоснованные для конкретных существующих условий производства) нормы водопользования, индивидуальные для каждого турбоагрегата и в целом по ТЭС.

Тщательный анализ водного баланса позволяет определить места и причины нерациональных потерь воды и сократить общее ее потребление и сброс до 30 % для ряда объектов, не прибегая к кардинальным мероприятиям и реконструкции системы водопользования. Одновременно с общим сокращением потребления и количества сбрасываемых сточных вод уменьшается общая масса загрязняющих веществ, поступающих в приемник.

2.3. Строительство ТЭС и защита водной среды

Принимаемые меры по защите водной среды при строительстве тепловой электростанции заключаются в основном в ограничении на водопользование с учетом водоохранных и санитарно-защитных зон и мероприятиях по восстановлению природной среды по завершении строительства: рекультивации почвенно-растительного слоя, засыпке выемок, траншей, карьеров и т.д.

В соответствии с положениями «Водного кодекса РФ», водоохранными зонами являются территории, которые примыкают к береговой линии морей, рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и на которых устанавливается специальный режим осуществления хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира.

Соблюдение специального режима на территории водоохранных зон и зон санитарной охраны является составной частью комплекса природоохранных мер по улучшению гидрологического, гидрохимического, гидробиологического, санитарного и экологического состояний водных объектов и благоустройству их прибрежных территорий.

Строительство, реконструкция, ввод в эксплуатацию, использование хозяйственных и иных объектов в границах водоохранных зон допускаются при условии их оборудования сооружениями, обеспечивающими охрану водоемов от загрязнения, засорения и истощения вод.

В пределах водоохранных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, на территориях которых вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности.

Размеры и границы водоохранных зон и прибрежных защитных полос, а также режим их использования устанавливаются исходя из физико-географических, почвенных, гидрологических и других условий с учетом прогноза изменения береговой линии водных объектов и утверждаются органами исполнительной власти субъектов РФ по представлению территориальных органов Министерства природных ресурсов и экологии РФ, согласованному со специально уполномоченными государственными органами в области охраны окружающей природной среды и органами санитарно-эпидемиологического надзора.

Ширина водоохранной зоны рек или ручьев устанавливается от их истока для рек или ручьев протяженностью:

- до 10 км – в размере 50 м;
- от 10 до 50 км – в размере 100 м;
- от 50 км и более – в размере 200 м;

– для реки, ручья протяженностью менее десяти километров от истока до устья водоохранная зона совпадает с прибрежной защитной полосой. Радиус водоохранной зоны для истоков реки, ручья устанавливается в размере 50 м.

Ширина водоохранной зоны озера, водохранилища (за исключением озера, расположенного внутри болота или с акваторией менее $0,5 \text{ км}^2$) устанавливается в размере 50 м. Ширина водоохранной зоны моря составляет 500 м.

Ширина прибрежной защитной полосы устанавливается в зависимости от уклона берега водного объекта и составляет 30 м для обратного или нулевого уклона, 40 м для уклона до 3° и 50 м для уклона 3° и выше.

Для расположенных в границах болот проточных и сточных озер и соответствующих водотоков ширина прибрежной защитной полосы устанавливается в размере 50 м.

Ширина прибрежной защитной полосы озера, водохранилища, имеющих особо ценное рыбоводное значение (места нереста, нагула, зимовки рыб и других водных биологических ресурсов), устанавливается в размере 200 м независимо от уклона прилегающих земель.

Зоны санитарной охраны (ЗСО) в составе трех поясов организуются на всех водопроводах с целью санитарной охраны от загрязнения источников водоснабжения и водопроводных сооружений, а также территорий, на которых они расположены.

Отличие санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны санитарной охраны состоит в следующем: СЗЗ является той зоной, в которой объект энергетики может нанести вред окружающей природной среде и здоровью населения (выбросы химических веществ в водоемы, атмосферу, шум, вибрация и т.д.); ЗСО устанавливается же для самого источника, для предотвращения возможности его загрязнения химическими и бактериологическими веществами.

На территории первого пояса ЗСО не допускаются все виды строительства, не имеющие непосредственного отношения к эксплуатации, реконструкции и расширению водопроводных сооружений, а также невозможен спуск любых сточных вод. Граница первого пояса (строгого режима) устанавливается в следующих пределах:

а) для водотоков:

- вверх по течению – не менее 200 м от водозабора;
- вниз по течению – не менее 100 м от водозабора;
- по прилегающему к водозабору берегу – не менее 100 м от линии

уреза воды летне-осенней межени;

- в направлении к противоположному от водозабора берегу при ширине реки или канала менее 100 м – вся акватория и противоположный берег шириной 50 м от линии уреза воды при летне-осенней межени, при ширине реки или канала более 100 м – полоса акватории шириной не менее 100 м;

б) для водоемов (водохранилища, озера): в зависимости от местных санитарных и гидрологических условий, но не менее 100 м во всех направлениях по акватории водозабора и по прилегающему к нему берегу.

В пределах второго и третьего поясов ЗСО в зоне водосбора источника водоснабжения не допускается отведение сточных вод, не отвечающих гигиеническим требованиям к охране поверхностных вод. Границы второго пояса ЗСО водотоков (реки, канала) и водоемов (водохранилища, озера) определяются в зависимости от природных, климатических и гидрологических условий.

Граница второго пояса на водотоке должна быть удалена вверх по течению водозабора на столько, чтобы время пробега по основному водотоку и его притокам (при расходе воды в водотоке 95 % обеспеченности) составляло от 3 до 5 суток в зависимости от климатических районов.

Скорость движения воды в м/сут принимается усредненной по ширине и длине водотока или для отдельных его участков при резких колебаниях скорости течения.

Граница второго пояса ЗСО водотока располагается ниже по течению не менее 250 м от водозабора. Боковые границы второго пояса ЗСО должны распространяться на расстоянии от уреза воды от 500 до 1000 м в зависимости от рельефа местности. Граница второго пояса ЗСО на водоемах должна быть удалена по акватории во все стороны от водозабора на расстояние 3 км – при наличии нагонных ветров до 10 % и 5 км – при наличии нагонных ветров более 10 %.

Граница второго пояса ЗСО на водоемах по территории должна быть удалена в обе стороны по берегу на расстояние от 3 до 5 км; от уреза воды при нормальном подпорном уровне – от 500 до 1000 м в зависимости от рельефа местности.

Границы третьего пояса ЗСО на водоеме и водотоке вверх и вниз по течению совпадают с границами второго пояса. Боковые границы должны проходить по линии водоразделов в пределах от 3 до 5 км, включая притоки [4].

На стадии строительства должна осуществляться программа экологического контроля (мониторинга) за характером изменения экосистемы (водной среды) под воздействием плановых работ.

2.4. Воздействие ТЭС на гидросферу и применяемые водоохранные мероприятия

Воздействие на гидросферу при эксплуатации ТЭС характеризуется:

- изменениями в естественном материальном балансе водной среды;
- объемами сбросов загрязняющих веществ и варьированием содержания загрязняющих веществ в воде поверхностных водных объектов;
- нарушением химического состава подземных вод под воздействием фильтрации загрязненных вод;
- нарушением естественного режима водотока вследствие создания искусственных водохранилищ;
- изменением температурного режима поверхностных водных объектов под воздействием тепловых сбросов.

В ходе эксплуатации ТЭС должна осуществляться программа экологического контроля (мониторинга) за характером изменения экосистемы (водной среды) под воздействием вышеуказанных факторов.

Водоохранные мероприятия должны обеспечивать снижение негативного воздействия на окружающую среду, рациональное водопользование и соблюдение установленных (допустимых) норм отведения в водный объект загрязняющих веществ при любых режимах работы ТЭС.

Безусловное преимущество с точки зрения защиты водной среды имеют ТЭС с парогазовыми циклами и газотурбинными установками, отличающиеся минимальным расходом воды на единицу мощности.

Комплекс водоохранных мероприятий подразумевает 3 уровня:

- применение современных высокоэффективных видов оборудования и технологий (наилучших существующих (доступных) технологий);
- внедрение систем, сооружений и установок для очистки, рециркуляции и утилизации сточных вод [5, 6];
- использование мероприятий, применяемых в кратковременные периоды при неблагоприятных метеорологических условиях, нештатных режимах работы, а также при стихийных природных явлениях. Допускается (в виду кратковременности действия этих мероприятий) предусматривать повышенные эксплуатационные затраты на их реализацию, незначительное ухудшение технико-экономических показателей основного оборудования.

Мероприятия всех трех уровней должны обеспечить полное соблюдение природоохранных требований при любых условиях работы ТЭС.

К мероприятиям первого уровня относятся:

- модернизация осветлителей;
- внедрение малосточных технологий химводоочистки в схемах водоподготовительных установок (ВПУ) (ионообменное обессоливание с применением различных видов противоточных фильтров вместо параллельноточных) и мембранных технологий (ультрафильтрация, обратный осмос, электродиализ);
- применение термического обессоливания в качестве альтернативы химическому;
- пароводокислородная очистка и пассивация технологического оборудования, консервация оборудования ТЭС осушенным воздухом для предотвращения стояночной коррозии и увеличения межпромывочного периода.

К мероприятиям второго уровня относится использование установок очистки и утилизации сточных вод, в том числе механические, физико-химические и биологические методы очистки сточных вод. Как элементы схемы обработки сточных вод находят применение испарители и выпарные установки, узлы разбавления; реализуются проектные решения по извлечению никеля и ванадия из обмывочных вод регенеративных воздухоподогревателей.

Контрольные вопросы

1. Назовите эффективный способ водопользования на станции и охарактеризуйте его.
2. Для каких целей используется химически обессоленная добавочная вода на ТЭС?
3. В связи с чем образуются отложения на поверхностях нагрева на ТЭС и АЭС?
4. Дайте определения понятиям «нормативно чистые» и «нормативно очищенные сточные воды». В чем заключается их различие?
5. Напишите формулу расчета общего баланса воды на ТЭС.
6. Что такое зона санитарной охраны? В чем ее отличие от санитарно-защитной зоны?
7. Что входит в комплекс природоохранных мероприятий на ТЭС второго уровня?

ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ

При применении воды в промышленности в обязательном порядке проводятся анализы в целях определения качественных и количественных показателей.

При исследовании воды определяются следующие свойства и характеристики:

- физико-химические свойства (жесткость, щелочность, pH, содержание грубодисперсных веществ, сухой, прокаленный, минеральный остаток, плотный осадок, ионный состав и наличие растворенных газов), солесодержание, а также значение электрической проводимости;
- органолептические свойства (мутность, прозрачность, цвет, запах);
- наличие органических веществ (окисляемость, химическое потребление кислорода (ХПК), биологическое потребление кислорода пятисуточное (БПК₅));
- микробиологический состав.

3.1. Физико-химические показатели качества воды

Жесткость воды является одной из основных ее показателей, характеризующих ее качество.

Общей жесткостью J_o называют суммарную концентрацию ионов кальция и магния, выраженную в единицах миллиграмм-эквивалент (мг-экв/дм^3) на 1 дм^3 воды.

Общую жесткость воды подразделяют на кальциевую и магниевую. Кальциевая жесткость определяется катионами кальция Ca^{2+} (мг-экв/дм^3), магниевая жесткость – катионами магния Mg^{2+} (мг-экв/дм^3).

Общая жесткость подразделяется на карбонатную J_k и некарбонатную $J_{нк}$. Карбонатная жесткость обуславливается наличием в воде бикарбонатов и карбонатов кальция и магния, некарбонатная жесткость – присутствием в воде хлоридов, нитратов, сульфатов кальция и магния (мг-экв/дм^3).

$$J_o = J_k + J_{нк},$$
$$J_o = J_{\text{Ca}^{2+}} + J_{\text{Mg}^{2+}}.$$

Процесс снижения концентрации ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} получил название умягчение воды. Воды с высокой жесткостью дают плотные отложения на теплопередающих поверхностях.

По значению общей жесткости природных вод установлена следующая классификация: $J_0 < 1,5$ мг-экв/дм³ – малая жесткость, $J_0 = 1-3,0$ мг-экв/дм³ – средняя, $J_0 = 3,0-6,0$ мг-экв/дм³ – повышенная, $J_0 = 6,0-12,0$ мг-экв/дм³ – высокая, $J_0 > 12$ мг-экв/дм³ – очень высокая жесткость.

Щелочность воды (общая) Σ_0 – суммарная концентрация в воде анионов слабых кислот $C_{\text{ан сл кислот}}$, гидроксид-ионов C_{OH^-} за вычетом концентрации ионов водорода, мг-экв/дм³.

$$\begin{aligned} \Sigma_0 &= \Sigma C_{\text{ан сл кислот}} + C_{\text{OH}^-} - C_{\text{H}^+}, \\ \Sigma C_{\text{ан.сл.кислот}} &= C_{\text{HCO}_3^-} + C_{\text{CO}_3^{2-}} + C_{\text{HSiO}_3^-} + C_{\text{SiO}_3^{2-}} + C_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} + \\ &+ C_{\text{HPO}_4^{2-}} + C_{\text{PO}_4^{3-}}. \end{aligned}$$

Единица измерения общей щелочности Σ_0 – мг-экв/дм³. Её определяют титрованием пробы воды кислотой в присутствии индикаторов: фенолфталеина и метилоранжа. Для вод, в которых может содержаться гидратная форма щелочности (OH^-), карбонатная (CO_3^{2-}) или бикарбонатная (HCO_3^-), вычисление отдельных форм (слагаемых) общей щелочности определяют по табл. 3.1 в зависимости от результатов титрования пробы с фенолфталеином – $\Sigma_{\text{фф}}$ и метилоранжем – $\Sigma_{\text{мо}}$.

Таблица 3.1

Вычисление форм щелочности природной воды

Соотношение $\Sigma_{\text{фф}}$	Гидраты $\Sigma_{\text{Г}}$	Карбонаты $\Sigma_{\text{К}}$	Бикарбонаты $\Sigma_{\text{Б}}$
$\Sigma_{\text{фф}} = \Sigma_{\text{мо}}$	$\Sigma_{\text{фф}}; \Sigma_{\text{мо}}$	Нет	Нет
$\Sigma_{\text{фф}} > 0,5 \Sigma_{\text{мо}}$	$2\Sigma_{\text{фф}} - \Sigma_{\text{мо}}$	$2(\Sigma_{\text{мо}} - \Sigma_{\text{фф}})$	Нет
$\Sigma_{\text{фф}} = 0,5 \Sigma_{\text{мо}}$	Нет	$\Sigma_{\text{мо}}; 2\Sigma_{\text{фф}}$	Нет
$\Sigma_{\text{фф}} < 0,5 \Sigma_{\text{мо}}$	Нет	$2\Sigma_{\text{фф}}$	$\Sigma_{\text{мо}} - 2\Sigma_{\text{фф}}$
$\Sigma_{\text{фф}} = 0; \Sigma_{\text{мо}} > 0$	Нет	Нет	$\Sigma_{\text{мо}}$

Природные воды в своем большинстве характеризуются бикарбонатной формой щелочности $\Sigma_{\text{Б}}$, которая численно близка к величине общей щелочности ($\Sigma_0 \sim \Sigma_{\text{Б}}$).

В природных исходных водах соотношения между щелочностью и общей жесткостью могут быть различными, соответственно, вычисляются значения карбонатной жесткости (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Вычисление карбонатной жесткости природной воды

Щелочность исходной воды $\text{Щ}_{\text{и в}}$	Карбонатная жесткость исходной воды
$\text{Щ}_{\text{и в}} < \text{Ж}_0$	$\text{Ж}_\text{к} = \text{Щ}_{\text{и в}}$
$\text{Щ}_{\text{и в}} = \text{Ж}_0$	$\text{Ж}_\text{к} = \text{Ж}_0$
$\text{Щ}_{\text{и в}} > \text{Ж}_0$	$\text{Щ}_{\text{и в}} - \text{Ж}_\text{к} = \text{Ж}_0; \text{Щ}_{\text{и в}} - \text{Ж}_0 = [\text{NaHCO}_3]$

Удельная электрическая проводимость растворов χ , характеризующаяся электропроводностью 1 см^3 жидкости с размером граней 1 см и выражаемая в См/см , является важным показателем качества природной и обрабатываемой воды, указывающим на суммарную концентрацию ионногенных примесей. Удельная электропроводность воды, не содержащей примесей, при 25°C составляет $0,063 \text{ мкСм/см}$ и определяется переносом в электрическом поле только ионов H^+ и OH^- . При постоянной температуре и данной степени диссоциации существует прямая зависимость между концентрацией электролита и его удельной электропроводностью. Так, удельную электропроводность водных растворов различных солей концентрацией 500 мкг/дм^3 в условном пересчете на NaCl можно оценить из соотношения

$$1 \text{ мкСм/см} \approx 0,5 \text{ мг NaCl/дм}^3 \text{H}_2\text{O}.$$

Содержание грубодисперсных (взвешенных) веществ выражают в мг/дм^3 и определяют фильтрованием 1 дм^3 пробы воды через бумажный фильтр, который затем высушивают при температуре $105\text{--}110^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

Сухой остаток СО (мг/дм^3) находят путем выпаривания определенного объема предварительно профильтрованной пробы и последующего просушивания остатка при температуре $110\text{--}120^\circ\text{C}$.

Сухой остаток выражает содержание растворенных в воде минеральных и органических примесей, нелетучих при указанной температуре. Содержащиеся в природной воде $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ при выпаривании разлагаются с выделением H_2O и CO_2 , и в сухом остатке появляются CaCO_3 и MgCO_3 ; это надо иметь в виду, сравнивая сухой остаток с минеральным.

Плотный осадок определяют, подсушивая при 105°C упаренный остаток нефилтрованной воды, содержащий также и грубодисперсные примеси, концентрацию которых можно найти по разности плотного и сухого остатков воды.

Минеральный остаток (мг/дм³) (общее солесодержание) подсчитывается путем суммирования концентраций катионов и анионов, определенных при проведении полного химического анализа воды.

Прокаленный остаток (мг/дм³) характеризует содержание в воде минеральных веществ; его определяют путем прокаливания при 800 °С сухого остатка. При прокаливании сгорают органические вещества и частично разлагаются карбонаты.

Ионный состав воды. Вода всегда электронейтральна, поэтому сумма концентраций содержащихся в ней катионов равна сумме концентраций анионов при условии, что они выражены в мг-экв/дм³: $\sum c_k = \sum c_a$.

Этой закономерностью, называемой уравнением электронейтральности раствора, пользуются при проверке правильности выполнения анализа воды. В водах энергетических объектов могут присутствовать ионы, приведенные в табл. 3.3 [2].

В природных водах обычно содержатся катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ и анионы CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , реже NH_4^+ , Fe^{2+} и NO_2^- , NO_3^- , HS^- .

Двухвалентное железо можно обнаружить в подземных водах в виде бикарбонатов $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$.

Соединения трехвалентного железа встречаются в поверхностных водах, они находятся преимущественно в коллоидном состоянии.

Наличие в природных водах соединений азота, а именно: ионов аммония (NH_4^+), нитритов (NO_2^-) и нитратов (NO_3^-) – указывает на загрязнение источника водоснабжения хозяйственно-бытовыми стоками. Химически чистая вода является очень слабым электролитом, только одна из десяти миллионов молекул диссоциирует на ионы H^+ и OH^- :

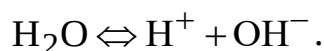


Таблица 3.3

Ионный состав воды

Катионы		Анионы	
Наименование	Обозначения	Наименование	Обозначения
1	2	3	4
Водород	H^+	Гидроксильный	OH^-
Натрий	Na^+	Бикарбонатный	HCO_3^-
Калий	K^+	Карбонатный	CO_3^{2-}
Аммоний	NH_4^+	Нитритный	NO_2^-
Кальций	Ca^{2+}	Нитратный	NO_3^-

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4
Магний	Mg^{2+}	Хлоридный	Cl^{-}
Железо двухвалентное	Fe^{2+}	Фторидный	F^{-}
Железо трехвалентное	Fe^{3+}	Сульфатный	SO_4^{2-}
Алюминий	Al^{3+}	Силикатный	SiO_3^{2-}
Медь	Cu^{2+}	Ортофосфатный	PO_4^{2-}
		Гидросульфатный	HS^{-}

Отрицательный логарифм концентрации водородных ионов, называемый водородным показателем pH, для обессоленной воды равен 7. В зависимости от значения pH водного раствора оценивают реакцию среды (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Реакция среды в зависимости от pH

Реакция среды	Значение pH
Кислая	1–3
Слабокислая	4–6
Нейтральная	7
Слабощелочная	8–10
Щелочная	11–14

Вода для питьевых целей имеет pH = 6,5–9,0 (ГОСТ 2874-82).

Растворённые газы. Для вод, используемых для энергетических целей, важное значение имеют растворенные в воде газы: кислород, углекислый газ, сероводород, аммиак.

Кислород поступает в воду из воздуха, где его содержится около 2,1 %. Концентрация кислорода в поверхностных водах близка к значению растворимости его при данной температуре и давлении.

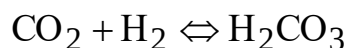
Растворимость кислорода при контакте с воздухом при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. приведена в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Растворимость кислорода в природной воде

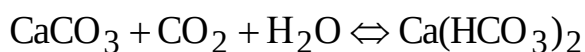
Температура, °C	0	10	20	25	90	100
Содержание O_2 , мг/ дм ³	14,6	11,3	9,1	8,3	1,6	0

Основным источником поступления в воду углекислоты (содержание CO_2 в воздухе невелико – всего 0,04 %) являются биохимические процессы разложения органических веществ в природе. Растворяясь в воде, CO_2 реагирует с водой, образуя гидратированную форму H_2CO_3 .



При анализе воды определяется суммарная концентрация обеих форм углекислоты.

Когда природная вода не является насыщенным раствором по CaCO_3 и при этом содержит CO_2 , реакция протекает слева направо:



Здесь идет процесс растворения карбоната кальция при контакте воды, например, с известковыми породами или с бетонными сооружениями. Когда природная вода является стабильной, т.е. насыщенным раствором, по CaCO_3 реакция не протекает.

Содержание в воде углекислоты следует определять аналитически.

Состав, структура, физические свойства отложений в котлах зависят в основном от химического состава и температуры котловой воды. В свою очередь, химический состав котловой воды определяется питательной водой и применяемыми методами коррекционной обработки. Температура котловой воды определяется рабочими параметрами и конструктивными особенностями котлов, а также видом сжигаемого топлива. Эти факторы влияют на локальные тепловые потоки экранной системы, неравномерность тепловых потоков присуща котлам, работающим на жидком топливе и оборудованным мощными горелочными устройствами.

3.2. Органолептические показатели качества воды

К органолептическим показателям относятся мутность, цветность и запах воды. **Мутность** воды определяется присутствием в ней мелких взвешенных частиц и коллоидных соединений. Она наблюдается при пропускании луча света через жидкость нефелометром путем сравнения прозрачности воды с эталонным раствором. Мутность воды пропорциональна содержанию в ней взвешенных частиц.

Прозрачность воды определяют с помощью методов шрифта и креста. Для первого способа применяют градуированный на сантиметры стеклянный цилиндр высотой 30 см, на дно которого положен определённый шрифт. Столб воды в сантиметрах, через который ещё можно прочесть текст, и показывает ее прозрачность. Прозрачность по кресту вычисляют по той же методике, используя трубку длиной 350 см, диаметром 3,0 см, на дно которой помещают бумажный круг с крестом, имеющим ширину линий в 1 мм.

Цветность воды определяется в основном присутствием смеси коллоидных органических соединений, которые выделяются клетками живых организмов или являются продуктами распада высокомолекулярных веществ. Цвет изменяют сравнением пробы с платиново-кобальтовыми стандартными растворами.

Запах воды обнаруживается вначале качественно (болотный, землистый, гнилостный, рыбный ароматический), а затем количественно путем оценки его интенсивности по пятибалльной шкале.

3.3. Присутствие органических соединений в воде

Наличие в воде органических соединений характеризуется следующими показателями: окисляемость, ХПК, БПК₅.

Окисляемость – общее содержание в воде органических примесей, реагирующих с сильным окислителем; различают бихроматную и перманганатную окисляемость. Перманганатная окисляемость характеризует потребление кислорода при нагревании анализируемой пробы в течение 10 мин в присутствии перманганата калия. Органические соединения растительного происхождения определяются в основном в щелочной среде, а животного происхождения – в кислой. Бихроматная окисляемость находится аналогичным образом в присутствии бихромата калия.

БПК₅ – это показатель, характеризующий, какое количество кислорода, израсходованное за 5 суток в аэробных условиях, необходимо на окисление органических веществ, содержащихся в единице объема воды. Как правило, в течение 5 суток при нормальных условиях происходит окисление до 70 % легкоокисляющихся органических веществ.

Присутствующие в воде органические соединения могут претерпевать не только аэробное биохимическое окисление в результате жизнедеятельности бактерий, используемое при определении БПК₅. При наличии в пробе воды сильных окислителей и соответствующих условий протекают химические реакции окисления органических веществ, причем характеристикой процесса химического окисления, а также мерой содержания в пробе органических

веществ является потребление в реакции кислорода, химически связанного в окислителях [8]. **ХПК** – показатель, характеризующий суммарное содержание в воде органических веществ по количеству израсходованного на окисление химически связанного кислорода. Являясь интегральным показателем, ХПК в настоящее время считается одним из наиболее информативных критериев антропогенного загрязнения вод.

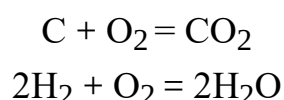
Микробиологический состав воды определяется микроскопированием пробы и содержит данные о присутствии в ней микроорганизмов.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные физико-химические показатели качества воды, применяемой на объектах теплоэнергетики.
2. На какие виды подразделяют общую жесткость воды?
3. Напишите уравнение электронейтральности раствора.
4. Какие растворенные газы определяются в воде, используемой для энергетических целей?
5. Охарактеризуйте показатели БПК₅ и ХПК. В чем их отличие?

ГЛАВА 4. ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В ТОПЛИВНЫХ И ВОДНЫХ ЦИКЛАХ ТЭС, И СПОСОБЫ ИХ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ

Количество энергетических ресурсов в природе ограничено в связи с тем, что лишь немногие вещества способны выделять большое количество энергии при сгорании. Химические реакции, происходящие при горении топлива, можно записать:



Появление свободной энергии в реакциях связано с тем, что происходит уменьшение массы атомов С, Н и О при связывании их в молекулы CO_2 и H_2O по сравнению с их исходным состоянием.

Электрическая и тепловая энергия, вырабатываемая на ТЭС, является основным товарным продуктом. Материальные ресурсы, которые затрачиваются на выработку энергии, превращаются в твердые и газообразные отходы производства, а также сточные воды.

4.1. Сточные воды ТЭС

На ТЭС образуются сточные воды, которые перед сбросом в водоем требуют стадии очистки. В энергетической промышленности разделяют следующие категории сточных вод:

- образующиеся после охлаждения оборудования;
- содержащие значительное количество неорганических солей;
- различного состава, содержащие как органические, так и неорганические примеси;
- нефте- и маслосодержащие стоки.

4.1.1. Методы очистки сточных вод, полученных от охлаждения оборудования

Данная группа сточных вод не имеет механических или химических примесей, однако их температура превышает температуру воды в природном водоеме на 8–10 °С.

Мощность крупнейших электростанций в Российской Федерации составляет от 2400 до 6400 МВт. Средний расход охлаждающей воды и количество отводимой с ней тепловой энергии (на 1000 МВт установленной мощности) составляют для ТЭС $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ и 4500 ГДж/ч (для АЭС – $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ и 7300 ГДж/ч).

При сбросе такого количества воды в природные водоемы температура в них повышается, что приводит к снижению концентрации свободного кислорода, нарушению процессов самоочищения водоема и гибели рыбы. Согласно нормативным документам в РФ, при сбросе горячих вод в водоемы температура в них не должна повышаться более чем на 3 К по сравнению с температурой воды самого жаркого летнего месяца. Также максимальная температура воды в природных водоемах не должна быть выше 28 °С, а в водоемах с холодолюбивыми рыбами (лососевые и сиговые) – не более 20 °С летом и 8 °С зимой.

Для исключения вредного теплового воздействия на природные водоемы применяются следующие методы [9]:

- строительство проточных водохранилищ, обеспечивающих предварительное перемешивание потоков с основной массой холодной воды;
- использование замкнутых оборотных систем с промежуточным охлаждением нагретой воды (например, в градирнях).

4.1.2. Методы очистки сточных вод, содержащих примеси неорганических солей

Подобные сточные воды образуются на ТЭС в результате работы водоподготовительных установок (ВПУ) и систем гидрозолаудаления.

При работе ВПУ появляются сточные воды от промывок механических фильтров, удаления шламовых вод осветлителей и при регенерации ионообменных фильтров. Промывочные воды содержат в себе нетоксичные примеси (карбонат кальция, гидроксиды магния, железа и алюминия, кремнекислоту и пр.) в невысоких концентрациях, поэтому после осветления рекомендуется возвращать потоки и использовать в процессе водоподготовки. Регенерационные стоки содержат значительное количество солей кальция, магния и натрия, поэтому их направляют на электрохимическую (например, электродиализную) очистку. На рис. 4.1 приведена принципиальная схема умягчения воды с утилизацией регенерационного раствора соли.

Раствор после регенерации ионообменного фильтра 1 поступает в емкость 2 и затем направляется в реактор 4 для осаждения катионов жесткости. В этот же реактор подается раствор извести. После завершения процесса осветления воду отбирают из верхней части аппарата и подают на различные технологические процессы.

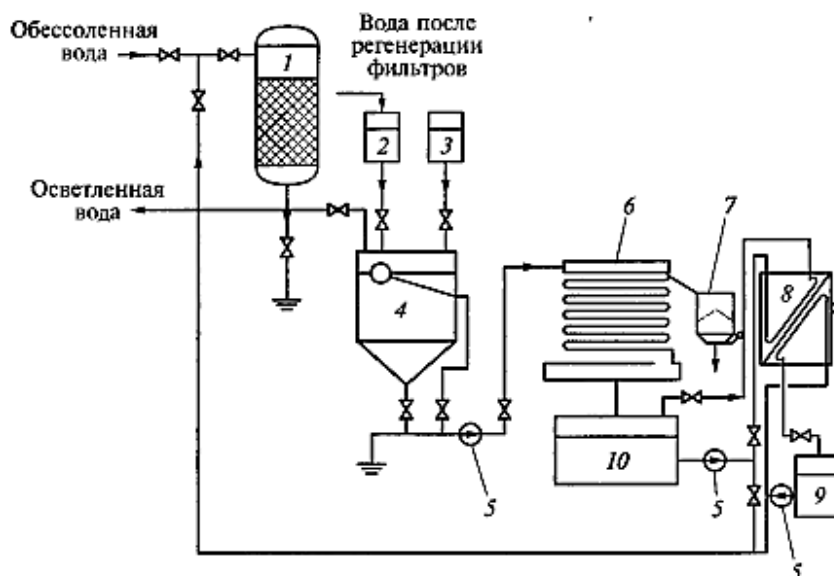


Рис. 4.1. Принципиальная схема умягчения воды с регенерацией соли [3]:

- 1 – Na-катионитовый фильтр; 2 – емкость для сбора регенерационных растворов;
- 3 – емкость для хранения раствора извести; 4 – реактор для химической обработки регенерационных растворов; 5 – насос; 6 – фильтр-пресс; 7 – бункер твердых отходов;
- 8 – электродиализная установка; 9 – емкость для концентрированного раствора соли;
- 10 – емкость для сбора фильтрата

Вода, содержащая взвешенные вещества, проходит дополнительное осветление на фильтр-прессе 6. Шлам отводится в бункер 7. Очищенную воду собирают в емкость 10, разделяют на два потока и направляют в отделения концентрирования и обессоливания электродиализной установки 8. В процессе электрохимической очистки ионы натрия и хлорид-ионы переносятся из камеры обессоливания в камеру концентрирования до необходимых концентраций. По окончании очистки рассол (концентрированные воды) направляется в емкость 9, а обессоленная вода поступает в емкость сбора фильтрата и далее на умягчение в Na-катионитовый фильтр.

Для снижения объема сброса сточных вод, образующихся в результате работы ВПУ, необходимы повышение емкости механических фильтров за счет использования высокоэффективных фильтрующих материалов (керамзит, отходы и др.), позволяющих увеличить продолжительность фильтроцикла и сократить расход воды на регенерацию, а также рост эффективности работы на стадии ионитно-химического обессоливания, например за счет внедрения современных перспективных методов (непрерывного ионирования, ступенчато-противоточного ионирования, термической регенерации ионитов).

Кроме того, перспективным является внедрение безреагентных методов подготовки воды, таких как: электрокоагуляция, обратный осмос, обессоливание воды методом электродиализа, термический способ обессоливания с использованием испарителей и паропреобразовательных установок.

Для удаления золошлаковых отходов на станции применяется гидро-транспорт, при этом степень минерализации бывает высокой. Например, для удаления золы, полученной при горении сланцев, торфа и некоторых сортов углей, вода насыщается $\text{Ca}(\text{OH})_2$ до концентрации $2\text{--}3 \text{ г/дм}^3$ и имеет $\text{pH} \geq 12$.

Наиболее рациональным в случае подобных концентраций является реализация замкнутого водооборота, которая в Российской Федерации внедрена на всех электростанциях, функционирующих на твердом топливе. Сложность работы с данными системами заключается в образовании отложений на трубопроводах, состоящих из карбоната, гидроксида, сульфата кальция. Поэтому основные мероприятия направлены на снижение этих концентраций, для этого воду выдерживают в бассейне золоотвала в течение $200\text{--}300$ ч, при этом часть солей выпадает в осадок. Затем осветленную воду забирают на повторное использование.

Также необходимым для снижения объема сбросов сточных вод станции является исключение фильтрации воды с золоотвала путем качественной подготовки его ложа (прокладка пленкой, глиняным слоем и др.), использование сухих методов складирования золы и шлака, их переработка во вторичные материальные ресурсы и предотвращение образования отложений, например путем рекарбонизации осветленной воды (т.е. повышение содержания в воде свободной углекислоты с целью предотвращения распада бикарбоната кальция и образования отложений карбоната кальция за счет продувки воды продуктами сгорания топлива).

4.1.3. Методы очистки нефте- и маслосодержащих сточных вод

Нефтепродукты на ТЭС в основном попадают в сточные воды с мазутного хозяйства, а маслопродукты – с мест утечек масла из маслосистем генераторов и турбин. Средняя концентрация нефтепродуктов в сточных водах ТЭС составляет $10\text{--}20 \text{ мг/дм}^3$. Очистка данных сточных вод происходит в нефтеловушках, которые представляют собой горизонтальные отстойники, оборудованные скребковым транспортом. Далее, после оседания тяжелых примесей, осветленные воды проходят флотационную установку, в которой за счет воздуха под давлением $0,350\text{--}0,4 \text{ МПа}$ происходит удаление оставшихся нефтепродуктов (эффективность очистки составляет $30\text{--}40 \%$). Завершающей ступенью очистки является совмещенная фильтрационная и сорбционная очистка. Вода подается на напорную фильтровальную установку, первая ступень которой загружена антрацитом (эффективность достигает 40%), а вторая – активированным углем (степень очистки – до 50%). Исследованиями последних лет установлена хорошая адсорбция нефтепродуктов частицами золы, полученной при сжигании углей, шлама водоподготовки и прочих отходов производства.

Альтернативным подходом является снижение концентраций нефтепродуктов, содержащихся в сточных водах станции. Для сокращения сброса нефтепродуктов по всей технологической схеме их использования возможно применение специальных цистерн для эффективной разгрузки мазута, их зачистка синтетическими моющими препаратами, хранение мазута в стальных резервуарах, исключение утечек в подогревателях мазута, совершенствование конструкций маслоохладителей и применение консистентных смазок [7].

4.1.4. Методы очистки сточных вод сложного состава

К сточным водам сложного состава на ТЭС, имеющим как органические, так и неорганические примеси, относятся такие, которые получают после промывки и консервации оборудования. В них входят минеральные (соляная, серная, плавиковая) и органические (лимонная, уксусная, щавелевая, адипиновая, муравьиная) кислоты. Также в их составе присутствуют комплексообразователи – трилон и ингибиторы коррозии.

По своему влиянию на санитарный режим водных объектов примеси данной группы сточных вод разделяют на три вида:

- неорганические соединения, такие как сульфаты, хлориды кальция, натрия и магния, концентрация которых в сточных водах близка к ПДК;
- неорганические вещества, такие как соли железа, меди, цинка, гидразин, мышьяк, фторсодержащие вещества с концентрацией, значительно превышающей ПДК;
- органические соединения, а также аммонийные соли, нитриты, сульфиды.

Органические вещества могут быть окислены с использованием биологической очистки сточных вод, в то время как неорганические соединения не могут быть переработаны данным путем.

Поэтому для очистки сточных вод от неорганических соединений, в первую очередь, применяется усреднение сточных вод и корректировка pH до необходимых значений для создания щелочной среды с целью дальнейшего осаждения гидроксидов металлов.

Так, например, условия осаждения железа определяются его формой в растворе. Если в воде не содержится трилон, то осаждение железа происходит при pH = 10,5–11. При этом же значении pH разрушаются трилонатные комплексы трехвалентного железа. Однако в случае присутствия комплексов двухвалентного железа их разрушение происходит только при pH = 13, поэтому прежде необходимо провести окисление Fe до трехвалентного.

Комплексы и цитраты меди и цинка остаются устойчивыми при любых значениях рН среды, поэтому их подщелачивание неэффективно. Осаждение осуществляется при добавлении сульфида натрия, так как при этом образуются сульфиды меди и цинка, которые осаждаются при рН выше 2,5.

Технология очистки сточных вод от фтора заключается в обработке их известью с серокилотным глиноземом. На 1 мг фтора должно быть добавлено не менее 2 мг Al_2O_3 , в этом случае концентрация фтора в растворе будет не более 1,4–1,6 мг/дм³.

Гидразин является высокотоксичным веществом, однако присутствует в сточных водах в течение нескольких суток, так как со временем происходит его окисление.

Большинство органических соединений, имеющих в сточных водах ТЭС, поддаются биологическому окислению. Однако также присутствуют биологические резистентные примеси, такие как трилон, моющие препараты ОП-10, ряд ингибиторов. В этом случае значения ПДК достигаются разбавлением.

Сокращение количества сточных вод ТЭС является эффективным и экономически рациональным способом снижения вредного воздействия сбросов на окружающую природную среду.

Основными путями сокращения сточных вод, образующихся после промывок и консервации оборудования станции, являются удаление продуктов коррозии и других примесей пароводяного тракта на блочных обессоливающих установках (БОУ), соблюдение водно-химического и топочного режимов, которые обеспечивают работу оборудования без внутренних отложений на поверхностях нагрева, а также использование предпусковой парокислородной (вместо химической) очистки поверхностей нагрева. Также с целью минимального использования водных сред предпочтительна консервация котлов сухим способом. После остановки и охлаждения парового котла его надежно отключают от всех магистралей и трубопроводов заглушками, спускают воду и просушивают поверхности подачи в топку горячего воздуха (200–250 °С) от работающих соседних котлов для испарения остатков влаги.

4.1.5. Нормируемые и контролируемые показатели состава сточных вод ТЭС

Нормированию при наличии отдельных водовыпусков подлежат сбросы загрязняющих веществ следующих технологических схем ТЭС:

а) системы охлаждения:

– со сбросными водами при прямоточной системе;

– со сбросными водами оборотной системы охлаждения с прудом-охладителем;

– с продувочными водами оборотной системы охлаждения с градирнями;

б) ВПУ со сточными водами;

в) системы гидрозолаудаления (ГЗУ) с избыточными водами (только для действующих ТЭС). В обязательный перечень нормируемых и контролируемых микропримесей в сточной воде систем ГЗУ входят: марганец, ванадий, мышьяк, селен, фтор, хром.

Если в одном водовыпуске смешиваются сточные воды различных технологических схем, то вводится НДС общего (объединенного) потока с учетом всех составляющих.

Нормированию не подлежат замасленные и замазученные сточные воды ТЭС, а также стоки от химических очисток оборудования, от обмывокрегенеративных и конвективных поверхностей нагрева котлов, работающих на мазуте и др. Указанные сточные воды должны использоваться внутри ТЭС (повторное применение после очистки, закачка в подземные пласты и т.д.) либо отправляться по договоренности для утилизации на другие предприятия.

4.2. Атмосферные выбросы ТЭС

Очистка дымовых газов объектов теплоэнергетики имеет высокую актуальность, так как объемы дымовых газов достаточно велики. Например, на 1 млн кВт мощности приходится очищать около 20 млрд м³ дымовых газов. Основными загрязнителями дымовых газов являются окислы серы, азота [10].

4.2.1. Способы очистки дымовых газов от диоксида серы

Выбросы диоксида серы происходят при сжигании жидкого или твердого топлива. Современные методы улавливания серы в столь значительных газовых потоках не дают возможность очищать их до санитарных норм. Снижение оксидов серы осуществляется двумя путями: предварительным ее удалением из топлива и очисткой дымовых газов в ходе или после процесса сжигания топлива (абсорбционные, адсорбционные методы).

4.2.1.1. Удаление серы из твердого топлива

Сера в твердом топливе может присутствовать в трех формах:

– в виде включений колчедана FeS₂;

– как входящая в состав органической массы топлива;

– как находящаяся в сульфатной форме (сернокислые соли щелочных металлов и кальция).

Колчеданную серу можно удалить в результате обогащения угля за счет ее большей плотности по сравнению с остальной его массой. Однако этот подход эффективен только в случае, когда колчеданная сера составляет значительную величину от общей серы и вкрапления колчедана достаточно крупны.

Для отделения от угля колчеданной и органической серы применяется гидротермическое обессеривание углей. Процесс заключается в обработке измельченного топлива в автоклавах при давлении 1,5 МПа и температуре 300 °С щелочными растворами, содержащими гидраты окисей калия и натрия. Далее происходят центрифугирование обессеренного угля и его дальнейшая сушка.

Радикальным является метод удаления серы из горючих сланцев путем предварительной их термической обработки с получением смолы (сланцевого масла), газотурбинного топлива и высококалорийного газа, который можно использовать в качестве малосернистого и практически беззольного топлива для получения тепловой и электрической энергии.

4.2.1.2. Удаление серы из жидкого топлива

Снижение содержания серы в жидком топливе можно обеспечить, подвергая его воздействию высоких температур, двумя путями:

- газификация (с использованием окислителей);
- пиролиз (без использования окислителей).

Газификация представляет собой процесс неполного сжигания жидкого топлива в воздухе под давлением при температуре примерно 1300 °С, при этом количество подаваемого в горелки воздуха составляет 40–45 % от теоретически необходимого для полного сгорания. В результате жидкое топливо практически целиком превращается в газ. Соотношение горючих (водород, окись углерода) и негорючих (азот, двуокись углерода) компонентов в полученном газе зависит от условий (температуры, времени пребывания) и используемого окислителя. Также в процессе газификации образуется сажа (до 2 % от массы топлива). Сернистые соединения превращаются в сероводород.

Затем получаемый в газогенераторе газ охлаждается (например, поступает в котел-утилизатор) и происходит его очистка от сажи и золы путем промывки водой. Далее он нагревается вновь и поступает в камеру сгорания для его сжигания. Достоинством метода является снижение содержания не только оксидов серы, но и окислов азота при сжигании полученного охлажденного газа.

При комплексном использовании топлива, когда возникает задача получения из него химического сырья и чистого энергетического топлива, для термического разложения мазута применяют высокотемпературный пиролиз с последующей газификацией твердого продукта (нефтяного кокса).

Пиролиз мазута происходит при его нагревании до температуры 700–1000 °С без доступа окислителя. Нагревание происходит за счет контакта с движущимся или неподвижным теплоносителем, в качестве которого выступают твердые вещества в мелкозернистом или пылевидном состоянии (кварцит, нефтяной кокс) от 100 мкм до 3–5 мм. Также может быть использован водяной пар. Однако наиболее исследованным является процесс с твердым теплоносителем. Процесс протекает следующим образом: мазут нагревается до температур 760–820 °С нефтяным коксом за 0,02–0,4 с и разлагается с образованием жидких продуктов, газа и пылевидного кокса. Газ сжигается в топке парогенератора. Из образовавшихся жидких продуктов может быть выделен бензол (составляет 6–7 % от общего количества исходного мазута) и другие углеводороды. Тяжелые жидкие продукты могут направляться на повторный пиролиз либо использоваться в виде готовой продукции. Образовавшийся кокс газифицируется в присутствии водяного пара для получения генераторного газа, теплота сгорания которого составляет 11,7 МДж/м³. Данный газ применяется в качестве топлива или сырья для получения водорода. Отмывка сероводорода из газа позволяет извлечь из мазута 90 % содержащейся в нем серы. Частицы кокса размером более 100 мкм возвращаются в цикл, где используются в качестве теплоносителя.

Искусственно полученные горючие газы зачастую содержат в себе соединения серы в виде H₂S. Очистка газа от сероводорода зачастую осуществляется абсорбцией с использованием моно- и диэтанолamina, а также растворами солей щелочных металлов. На практике чаще применяется моноэтаноламин, так как он стабилен и обладает более активными свойствами.

4.2.1.3. Абсорбционные методы очистки

Среди абсорбционных методов очистки различают следующие методы с использованием:

- извести;
- известняка;
- аммиака;
- окиси магния;
- соды (солей натрия).

Метод на основе извести

Среди наиболее распространенных методов эффективным является *метод Бишофф*, который заключается в одновременном улавливании сернистого ангидрида и золы из дымовых газов путем их промывки в двухступенчатом скруббере Бишофф. Схема процесса представлена на рис. 4.2.

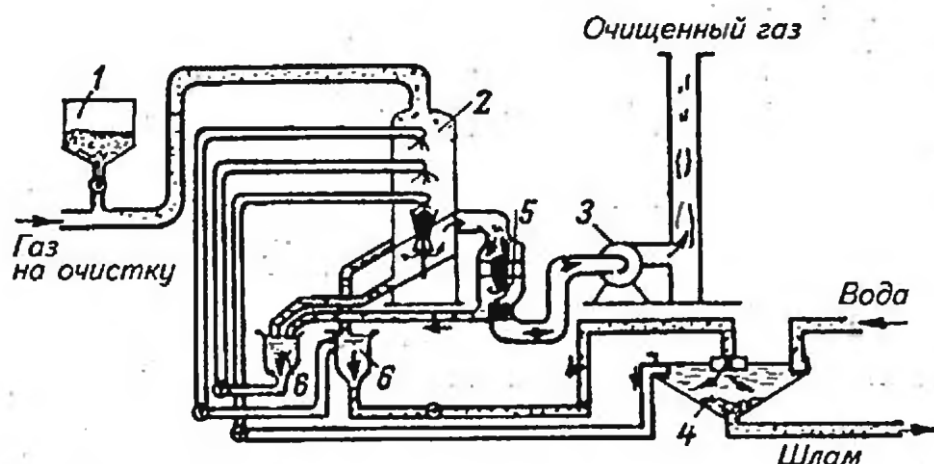


Рис. 4.2. Схема процесса Бишофф [8]:

1 – бункер для извести; 2 – скруббер; 3 – дымососы; 4 – отстойник;
5 – брызгоуловитель; 6 – сборники поглотительного раствора

В газ, поступающий на очистку, вводится порошкообразная известь путем вдувания ее в газоход. Далее смесь подается на очистку в скруббер 2, верхняя секция которого представляет собой безнасадочный форсуночный аппарат, а нижняя – трубу Вентури с регулируемым сечением горловины. Движение газа в вертикальном скруббере осуществляется сверху вниз. Отработанный раствор направляется в сборники поглотительного раствора 6, а затем в отстойник 4, в котором происходит осаждение шлама под действием гравитационных сил. Далее очищенная вода подается вновь на форсунки для распыливания. Для брызгоотделения применяется брызгоуловитель 5 – отдельный сепаратор роторного типа. Очищенные газы выводятся из технологического цикла дымососами. Достоинством метода является то, что он не требует предварительного улавливания золы из газа. Экспериментально установлено, что при применении 120–130 % теоретического количества извести степень улавливания окислов серы достигает 80–90 %, твердых частиц – более 90 %.

Эффективность очистки газов от окислов серы при применении *известково-гипсового метода* очистки составляет 90 %. Технология очистки представлена на рис. 4.3.

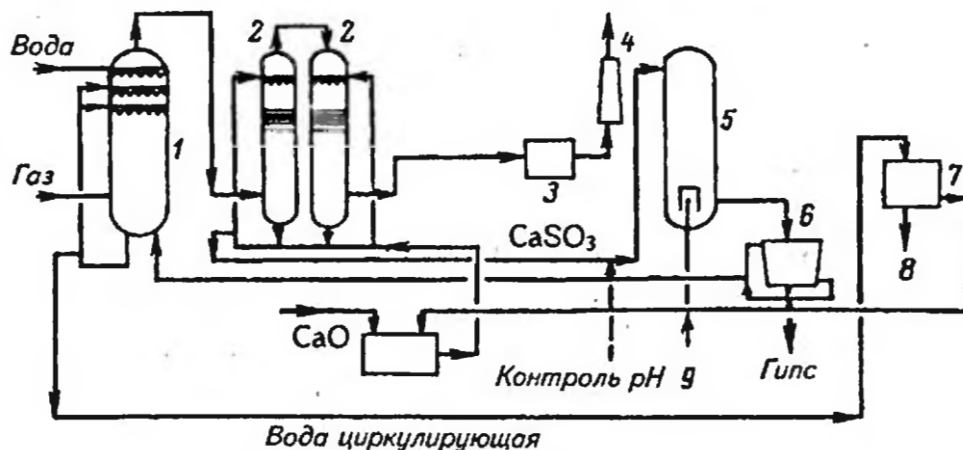


Рис. 4.3. Схема установки улавливания окисла серы по известково-гипсовому методу:

1 – скруббер; 2 – абсорберы; 3 – подогреватель; 4 – дымовая труба; 5 – реактор;
6, 7 – центрифуги; 8 – шлам; 9 – воздух

Дымовой газ поступает в безнасадочный скруббер 1, где адиабатически охлаждается с температуры 135–145 до 55–60 °С. При этом одновременно в скруббере происходит доулавливание дисперсных частиц. Затем дымовые газы проходят последовательно через два абсорбера для абсорбции SO_2 суспензией гидроокиси кальция и сульфита кальция. После нагрева газа в подогревателе 3 очищенный газ отводится через дымовую трубу 4.

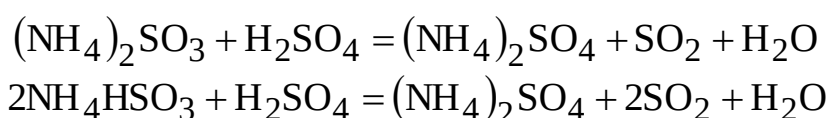
В абсорбере первой ступени pH раствора поддерживается на уровне 4–4,5 при использовании CaO на 9 %. Величина pH раствора в цикле абсорбера второй ступени более высокая; раствор из второго абсорбера передается в цикл первого. Отработанная суспензия сульфита кальция из первого абсорбера поступает в реактор 5 для окисления сульфита кальция в сульфат, окисление осуществляется за счет подачи воздуха 9 под давлением 4–5 атм. Шлам сульфата кальция обезвоживается на центрифуге 6, а затем подвергается сушке для получения товарного гипса. Шлам 8, поступающий из скруббера 1, отфильтровывается на центрифуге 7.

Методы на основе применения известняка

Инжекционный метод с мокрым доулавливанием состоит в том, что в топку котла вводятся тонкоразмолотый известняк или доломит, которые улавливают сернистый ангидрид на 40–60 %. При этом известняк переходит в известь. Затем дымовые газы, содержащие смесь золы и твердых веществ (продукты нейтрализации окислов серы и частиц извести), подвергаются промывке в скруббере с плавающей насадкой. Образующаяся гидроокись кальция улавливает остаточный сернистый ангидрид. Шлам, содержащий

золу, сульфит и сульфат кальция, после отстаивания направляется на шламоотвал, а осветленная жидкость возвращается в скруббер. Общая степень извлечения сернистого ангидрида из дымовых газов составляет 90–95 %.

Аммиачно-кислотный метод заключается в том, что растворы сульфит-бисульфита аммония обрабатываются серной кислотой с образованием сульфата аммония и выделением сернистого ангидрида:



Аммиачно-кислотный метод основан на известных процессах абсорбции сернистого ангидрида сульфит-бисульфитными растворами с получением сульфата аммония и выделением концентрированного сернистого ангидрида при подкислении серной кислотой. Перед абсорбцией сернистый ангидрид подвергается адиабатическому охлаждению циркуляционной водой. Сернистый ангидрид перерабатывается в концентрированную серную кислоту, которая используется в процессе.

Аммиачно-окислительный метод, разработанный японской фирмой «ShowaDenko», представлен на рис. 4.4.

Дымовые газы 2 после золоуловителя поступают в безнасадочный скруббер 3 для адиабатического охлаждения газа циркуляционной водой с температуры 130–180 до 60 °С. При этом одновременно в скруббере происходит доулавливание твердых частиц и SO₃. В циркуляционную воду добавляется поглотительный раствор для нейтрализации серной кислоты.

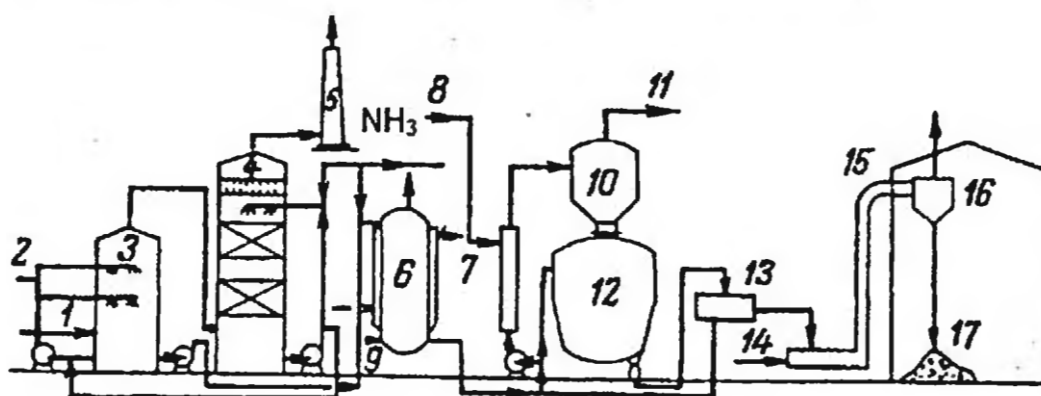
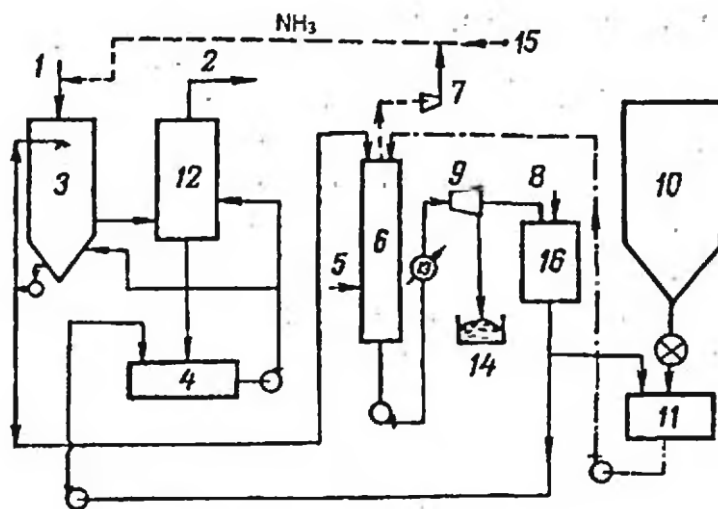


Рис. 4.4 Аммиачно-окислительный метод очистки дымовых газов от SO₂:

- 1 – дымовые газы; 2 – вывод золы; 3 – безнасадочный скруббер; 4 – абсорбер с насадкой;
- 5 – дымовая труба; 6 – водяной реактор; 7 – подогреватель; 8 – пар; 9 – воздух;
- 10 – выпарной аппарат; 11 – вакуум; 12 – кристаллизатор; 13 – центрифуга;
- 14 – горячий воздух; 15 – сушилка; 16 – циклон; 17 – сульфат аммония

Для осуществления процесса в газ 1 вводится аммиак перед адсорбером первой ступени 3. Абсорберы 3 и 12 орошаются растворами сульфита-бисульфита аммония. Раствор из абсорбера второй ступени 12 передается в цикл абсорбера первой ступени 3. Отработанный раствор из абсорбера 3 направляется в реактор 6 для обработки известковым молоком из бункера 11 при нагреве острым паром 5.



1 – вход газов; 2 – отвод газов; 3 – абсорбер первой ступени; 4 – растворы; 5 – пар; 6 – реактор аммиака; 7 – компрессор; 8 – вода; 9 – центрифуга; 10 – бункер с известью; 11 – бункер с известковым молоком; 12 – абсорбер второй ступени; 13 – охладитель; 14 – шламоотвал; 15 – дополнительный газообразный аммиак; 16 – резервуар для фильтрата

$$\begin{aligned}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2 &= \text{CaSO}_4 \downarrow + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \\ \text{NH}_4\text{HSO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 &= \text{CaSO}_3 \downarrow + \text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \\ (\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 &= \text{CaSO}_3 \downarrow + 2\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O}\end{aligned}$$

Выделяющийся аммиак возвращается в цикл. Шлам подвергается охлаждению, обезвоживанию на центрифуге 9 и подается на шламоотвал 14.

Кроме того, существуют различные вариации описанных выше методов. Аммиачные методы обеспечивают степень очистки дымовых газов от SO_2 в пределах 93–97 %.

Методы на основе применения окиси магния

Магnezитовый метод основан на использовании окиси магния для связывания сернистого ангидрида в сульфит магния, который при нагревании разлагается на оксид магния, возвращаемый для повторного поглощения SO_2 , и концентрированный ($> 10\%$) SO_2 , перерабатываемый далее в серную кислоту или серу. Схема процесса представлена на рис. 4.6.

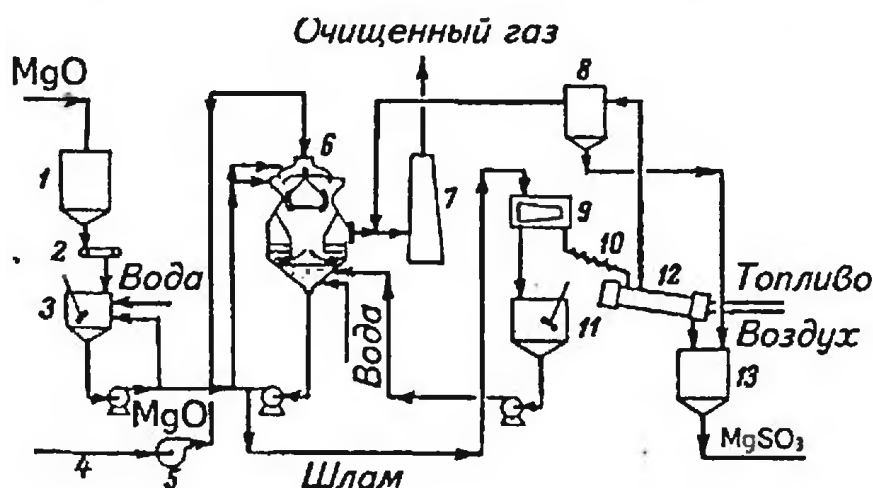
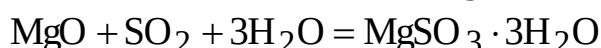
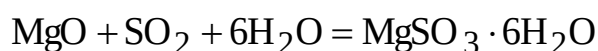


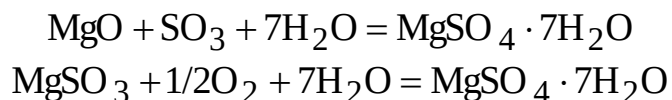
Рис. 4.6. Схема применения магнезитового метода очистки дымовых газов от SO_2 :

- 1 – бункер хранения оксида магния; 2 – система весов; 3 – емкость свежего раствора;
 4 – дымовые газы; 5 – дымосос; 6 – абсорбер SO_2 ; 7 – дымовая труба; 8 – пылеуловитель;
 9 – центрифуга; 10 – контейнер для мокрого кека; 11 – емкость сбора маточного раствора;
 12 – барабанная сушилка; 13 – бункер хранения MgSO_3

Дымовые газы 4 поступают в абсорбер 6 (скруббер Вентури), где орошаются суспензией, содержащей кристаллы сульфита и сульфата магния и окись магния, подаваемой из емкости 3. При этом происходит поглощение SO_2 по реакциям:



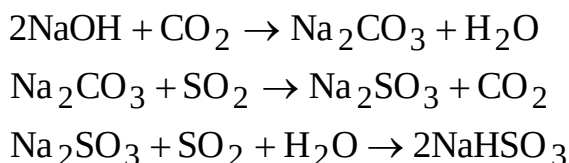
Также протекают побочные реакции:



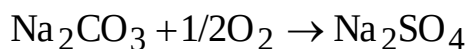
Часть суспензии, вытекающей из абсорбера, поступает на отделение кристаллов на центрифугу 9. Оставшаяся часть возвращается в скруббер, к ней добавляется окись магния. Кристаллы сульфита и сульфата магния отделяются на центрифуге 9 с последующей сушкой в барабанной сушилке 12, после чего производится их обжиг в барабанной печи (на рис. 4.6 не представлена). Концентрация SO_2 в обжиговом газе составляет 15–16 %. После очистки обжигового газа от твердых частиц охлажденный газ направляется на серно-кислотное производство. Степень извлечения SO_2 из дымовых газов составляет 90 %.

Методы на основе соды (солей натрия)

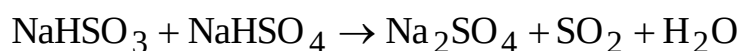
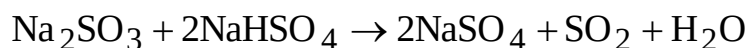
Содово-электролитический метод. По этому методу в качестве реагентов используется едкий натр NaOH и бисульфат натрия NaHSO_4 , которые регенерируются при помощи электролиза. Дымовые газы после золоуловителя поступают в скруббер-абсорбер. В нижней скрубберной части аппарата газы охлаждаются оборотной водой, которая вымывает из газа неуловленную золу, выводимую в виде шлама из отстойника. В верхней абсорбционной секции осуществляется поглощение SO_2 из дымовых газов циркуляционным раствором. Основные реакции, происходящие в абсорбционной секции, следующие:



Так как в дымовых газах присутствуют кислород и окислы азота, в растворе частично образуется сульфат натрия:



Из абсорбера раствор сульфит-бисульфит натрия поступает в реакционную колонну, где вступает в реакцию с раствором бисульфата натрия.



Выделяющийся при этом сернистый ангидрид подвергается осушке и направляется для переработки в серную кислоту, а раствор сульфата натрия – на электролитическую регенерацию с целью получения растворов едкого натра и бисульфата натрия, направляемых снова в процесс очистки газов от SO_2 . Из реакционной колонны раствор сульфата натрия подается в электролизер, где происходит его разложение с образованием едкого натра, серной кислоты, водорода и кислорода:



4.2.1.4. Адсорбционные методы очистки

Среди адсорбционных методов очистки различают следующие методы с применением:

- углеродных сорбентов (активных углей);
- неуглеродных сорбентов (окислов металлов).

Методы с применением углеродных сорбентов заключаются в том, что SO_2 поглощается из газов активными углями или полукоксом при температуре 110–150 °С. При этом происходит сорбция диоксида серы и его окисление до SO_3 , одновременно поглощаются и водяные пары, что приводит к образованию в порах угля серной кислоты. В связи с этим встает вопрос об извлечении серной кислоты из пор адсорбента. Существует два пути удаления серной кислоты с целью регенерации угля: термический и экстракционный.

При термическом методе отработанный уголь нагревается до температуры 450 °С, после чего происходит разложение серной кислоты и получается газ, содержащий 40 % SO_2 , который перерабатывается в серную кислоту и элементарную серу. Регенерация сорбентов в термических методах проводится непрерывно газовым или твердым теплоносителем.

При экстракционном варианте серная кислота из отработанного угля экстрагируется водой, при этом получается 20 %-ная серная кислота. Экстракционная регенерация проводится непрерывно или периодически.

Методы на основе использования неуглеродных сорбентов основаны на способности окислов металлов сорбировать окислы серы при высокой температуре с образованием сульфитов и сульфатов металлов, которые

регенерируются при помощи восстановителя с образованием сероводорода или сернистого ангидрида. Установлено, что наиболее перспективными для использования в качестве поглотителя сернистого ангидрида из дымовых газов являются окислы алюминия, хрома, железа, никеля, титана, кобальта, ванадия и пр. Они обладают относительно высокой скоростью сорбции и регенерации; при этом наиболее перспективными являются бинарные окислы металлов.

Так, например, содово-алюминатный метод заключается в адсорбции во взвешенном и кипящем слоях путем применения алюмината натрия. Дымовой газ при температуре 315 °С поступает в реактор совместно с сорбентами, в результате взаимодействия сернистого ангидрида и алюмината натрия образуются сульфат натрия и окись алюминия. Очищенный дымовой газ выбрасывается в атмосферу, а отработанный сорбент подогревается до температуры 650–780 °С и направляется на регенерацию. Степень очистки газов составляет 95 %.

Существует адсорбционная очистка газов от двуокиси серы методом расплавленных карбонатов лития, натрия и калия, температура затвердевания которой составляет 400 °С. Основным недостатком данного метода является высокая температура и сильное коррозионное действие среды. Степень очистки газов достигает 90 %.

Окисно-марганцевый метод заключается в сорбции сернистого ангидрида без предварительного охлаждения газов порошкообразной окисью марганца, который регенерируется аммиаком с образованием сульфата аммония. Эффективность улавливания сернистого ангидрида составляет 90 %.

4.2.2. Способы очистки дымовых газов от оксидов азота

4.2.2.1. Методы подавления образования дымовых газов в топках котлов

Рециркуляция дымовых газов в зону горения является одним из наиболее распространенных и наиболее изученных методов снижения количества оксидов азота. При этом более эффективна не внутренняя рециркуляция горящих топочных газов в горелку, а внешняя рециркуляция предварительно охлажденных газов их хвостовой части котла в дутьевой воздух. Для организации рециркуляции дымовые газы отбираются специальным рециркуляционным насосом после экономайзера при температуре 300–400 °С и подаются в топочную камеру. Наиболее эффективным является подмешивание газов в дутьевой воздух перед горелками. При этом происходит наибольшее снижение температуры в ядре факела. Подмешивая до 20–25 %

дымовых газов, удастся снизить содержание окислов азота на 40–50 %. Рециркуляция газа также приводит к некоторому снижению концентрации кислорода, уменьшению скорости горения и растягиванию его зоны, вследствие чего – к более эффективному охлаждению этой зоны топочными экранами. Однако рециркуляция дымовых газов повышает сопротивление газового тракта и может вызвать ухудшение условий горения, а также требует дополнительных затрат на установку и эксплуатацию специальных дымососов.

Наиболее радикальным методом очистки дымовых газов от окислов азота является **двухстадийное сжигание топлива**. В соответствии с этим методом в топке (рис. 4.7) в первичную зону горения подается воздуха меньше, чем это теоретически необходимо для сжигания топлива ($\alpha = 0,8–0,95$).

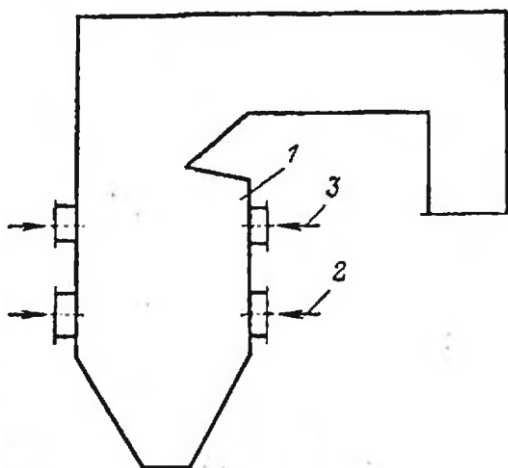


Рис. 4.7. Схема топки для двухстадийного сжигания топлива:

1 – топочная камера; 2 – горелки, на которые подается все топливо и 85 % теоретически необходимого воздуха; 3 – шлицы, в которые подается 21 % теоретически необходимого количества воздуха

В первичной зоне происходит неполное горение топлива с частичной его газификацией при пониженной температуре и, соответственно, сниженном содержании окислов азота.

Во вторичную зону подается чистый воздух или обедненная топливом смесь для досжигания продуктов неполного сгорания. Теплоотвод в первичной зоне горения снижает температуру газов настолько, что заключительная стадия этого процесса происходит при более низкой температуре.

Наиболее полно этот процесс осуществляется, когда основные горелки работают при избытке воздуха менее 1, а недостающий воздух вводится через фурмы воздушного дутья, расположенные над ними. Эффективность процесса по снижению окислов азота варьируется в широких пределах (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Эффективность снижения окислов азота при различных режимах работы

Мощность котла, МВт	Нормальный режим, C_{NOx} , г/м ³	Двухстадийное горение, C_{NOx} двух, г/м ³	Эффективность снижения оксидов азота, %
Природный газ (тангенциальное расположение горелок)			
78	0,28	0,14	50
160	0,55	0,23	42
230	0,40	0,18	45
250	0,64	0,17	27
418	0,49	0,28	57
Мазут			
78	0,64	0,41	64
160	1,20	0,80	67
180	0,66	0,26	45
378	0,40	0,32	80
400	0,34	0,22	65
Уголь (двухстадийная подача воздуха и пыли в верхнюю часть факела)			
100	0,70	0,28	40
170	0,94	0,47	50
215	0,78	0,40	51
250	0,92	0,64	70
265	0,84	0,69	83

4.2.2.2. Применение специальных горелочных устройств

Для систем двухстадийного горения или получения растянутого по длине топочной камеры факела применение специальных горелочных устройств позволяет существенно снизить выбросы окислов азота.

Получившие широкое распространение турбулентные (вихревые) горелки с интенсивной закруткой воздушного потока повышают концентрацию окислов азота в продуктах сгорания в связи с более высокой интенсивностью выгорания и близким расположением от горелки ядра пламени.

Так, на рис. 4.8 показана горелка с осевым и закрученным подводом воздуха. При проведении исследований на этой горелке установлено, что увеличение подачи части воздуха по внутренней трубе без закрутки в количестве 40 % позволяет снизить образование окислов азота на 40 % по сравнению с подачей всего воздуха закрученным в межтрубное пространство.

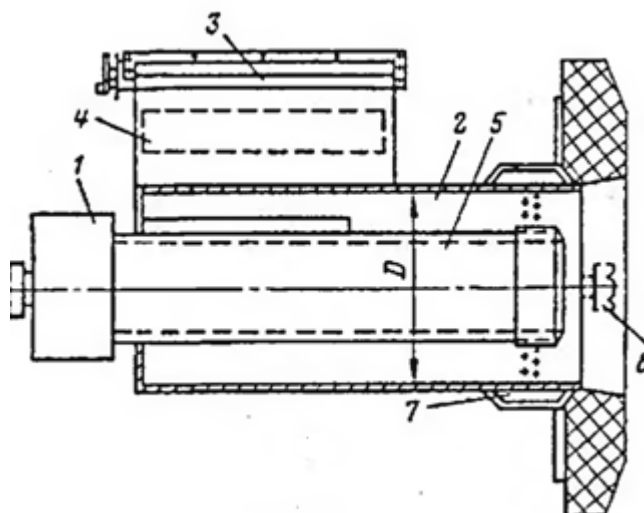


Рис. 4.8. Схема горелочного устройства с закрученными и осевыми подводами воздуха для снижения генерации окислов азота:

- 1 – воздушный короб; 2 – цилиндрический канал; 3 – тангенциальный подвод воздуха;
4 – шибер; 5 – осевой подвод воздуха; 6 – место установки мазутной форсунки;
7 – газовая камера

При выдвижении в сторону топki внутренней трубы первичный воздух не принимает участия в начальной стадии горения, и наблюдается двухстадийное горение топлива.

Одним из типов горелочно-топочных устройств, в которых осуществляется двухстадийное сжигание топлива, является предкамерная горелка, представленная на рис. 4.9.

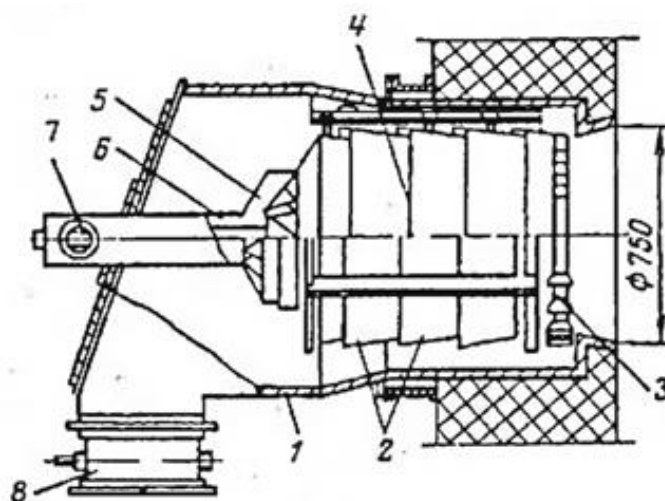


Рис. 4.9. Схема предкамерной газомазутной горелки «Союзтехэнерго»:
1 – корпус; 2 – обечайки; 3 – сопла; 4 – щели; 5 – лопатки; 6 – коллектор;
7 – мазутная форсунка; 8 – шибер

Горелка имеет трубу-камеру, состоящую из отдельных обечаек, между которыми оставлены щели для прохода воздуха. В горелку газ подводится по коллектору и подается в камеру горения через коническую насадку. Мазутная форсунка расположена внутри газового коллектора. Через щели между обечайками и лопаточным ротором в торце камеры подается 60 % необходимого для горения воздуха. Досжигание продуктов газификации CO , H_2 производится в топочной камере.

Дальнейшим шагом в использовании двухстадийного сжигания является создание горелочных устройств к пиковым теплофикационным водогрейным на мазуте (ПТВМ) котлам. Котлы ПТВМ-50, ПТВМ-100 и ПТВМ-180 широко используются как пиковые на ТЭЦ, а также применяются на ряде промышленных предприятий и в крупных котельных для теплоснабжения жилых кварталов. В последнем случае дымовые газы удаляются через невысокие трубы, расположенные вблизи окон многоэтажных зданий. Большинство этих котлов (90–95 %) работает на природном газе. Поэтому снижение выбросов оксидов азота с дымовыми газами этих котлов в решающей мере влияет на общую токсичность продуктов сгорания. В зимний период эти котлы поставляют в воздух до 15–25 % оксидов азота в общем выбросе ТЭЦ, а также 60 % и более в выбросе котельных.

Особенностями котлов ПТВМ является вертикальная компоновка, отсутствие воздухоподогревателя, дымососа, а также наличие большого числа горелок, каждая из которых снабжена собственным вентилятором.

Институтом газа АН УССР были разработаны газомазутные горелки двухстадийного горения ГДС-50 для котлов ПТВМ-50, а затем двухстадийные газомазутные горелки ГДС-100 к котлам ПТВМ-100.

В горелке дутьевой воздух разделяется на первичный и вторичный. Первичный воздух приобретает вращательное движение в результате прохождения через аксиальный лопаточный аппарат; вторичный поступает по оси горелки прямым потоком через центральную осевую трубу в топочную камеру. Газовое топливо подается в закрученный поток первичного воздуха радиальными струями из газовой камеры, смешивается с ним и сгорает на выходе из амбразуры, образуя первичную зону горения с недостатком окислителя.

На некотором расстоянии от среза горелки струя вторичного воздуха инжектирует продукты неполного сгорания, образовавшиеся на первой стадии горения. При контакте с осевым потоком воздуха эти продукты окисляются, образуя вторую реакционную зону. Соотношение расхода вторичного и первичного воздуха определяется соотношением коэффициента аэродинамического сопротивления их трактов и проходными сечениями.

Контрольные вопросы

1. Каковы физико-химические основы получения энергии?
2. К каким последствиям может привести сброс недостаточно охлажденных сточных вод ТЭС?
3. Каковы подходы к очистке нефте- и маслосодержащих сточных вод ТЭС?
4. В чем заключается преимущество сухой консервации котлов в области экологической безопасности?
5. Приведите краткое описание методов, применяемых для очистки дымовых газов ТЭС.
6. Опишите процесс двухстадийного сжигания топлива на станции. В чем его эффективность?

ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС

В настоящее время в Российской Федерации на 10-ти АЭС в промышленной эксплуатации находятся 36 энергетических блоков с суммарной установленной мощностью 28,89 ГВт. Доля атомной энергетики в производстве электроэнергии в России составляет 18,9 %.

В процессе осуществления ядерной реакции происходит деление тяжелого ядра на осколки (средние ядра). В этом случае имеет место заметное уменьшение массы нуклонов в ядрах-осколках по сравнению с их массой в тяжелом исходном ядре. Энергия, которая выделяется при ядерной реакции деления, в миллионы раз больше, чем при химической реакции горения. Теплотворная способность ядерного топлива почти в 2 млн раз выше органического топлива. Например, при делении всех ядер, содержащихся в 1 г урана, выделяется энергия, равная 1 МВт сут, для получения которой необходимо сжечь более 2 т угля.

5.1. Классификация существующих типов АЭС

Ядерные реакторы делятся на два типа – на медленных, или тепловых, и на быстрых нейтронах (реакторы-размножители). На большинстве АЭС применяются реакторы, работающие на тепловых нейтронах, использующие уран со степенью обогащения 2–4 %. Существующие АЭС, функционирующие по этому типу, подразделяются на одно- и двухконтурные.

В одноконтурных АЭС контуры теплоносителя и рабочего тела совмещены. Одноконтурные схемы АЭС возможны при использовании в качестве теплоносителя обычной или тяжелой кипящей воды или газа с высокой температурой на выходе из реактора. Таким образом, все оборудование работает с радиоактивным теплоносителем и рабочим телом, что усложняет условия эксплуатации.

Одноконтурная схема применяется на атомных станциях с реакторами типа РБМК-1000 (реактор большой мощности, каналный водо-графитовый мощностью 1000 МВт), где они работают в блоке с двумя конденсационными турбинами и двумя генераторами. При этом кипящий реактор сам является парогенератором, что и обеспечивает возможность применения одноконтурной схемы. РБМК – это каналный реактор, замедлителем в котором служит графит, а теплоносителем – вода и пароводяная смесь. В настоящее время на территории Российской Федерации действует 4 АЭС с одноконтурными реакторами.

В двухконтурных АЭС принцип работы станции отличается тем, что в первом контуре циркулирует радиоактивный теплоноситель, который отдает тепло рабочему телу, находящемуся во втором контуре. Таким образом, вода второго контура является неопасной и используется для получения электроэнергии в паровой турбине.

Двухконтурную схему применяют на АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами (ВВЭР). В активную зону реактора подается под давлением вода, которая нагревается. Энергия теплоносителя используется в парогенераторе для образования насыщенного пара. Блок состоит из одной конденсационной турбины мощностью 1000 МВт или двух турбин мощностью по 500 МВт с соответствующими генераторами. ВВЭР – реактор корпусного типа, где замедлителем и теплоносителем выступает вода под давлением. Рабочее тело на АЭС с реакторами ВВЭР – водяной пар. В настоящее время на территории РФ эксплуатируется 5 АЭС с двухконтурными реакторами.

Трехконтурную схему применяют на АЭС с реакторами на быстрых нейтронах (БН) с натриевым теплоносителем. Чтобы исключить контакт радиоактивного натрия с водой, сооружают второй контур с нерадиоактивным натрием. Таким образом, схема получается трехконтурной. В настоящее время в РФ действует 1 АЭС с трехконтурными реакторами – Белоярская АЭС.

На рис. 5.1 представлены тепловые схемы одно-, двух- и трехконтурной АЭС.

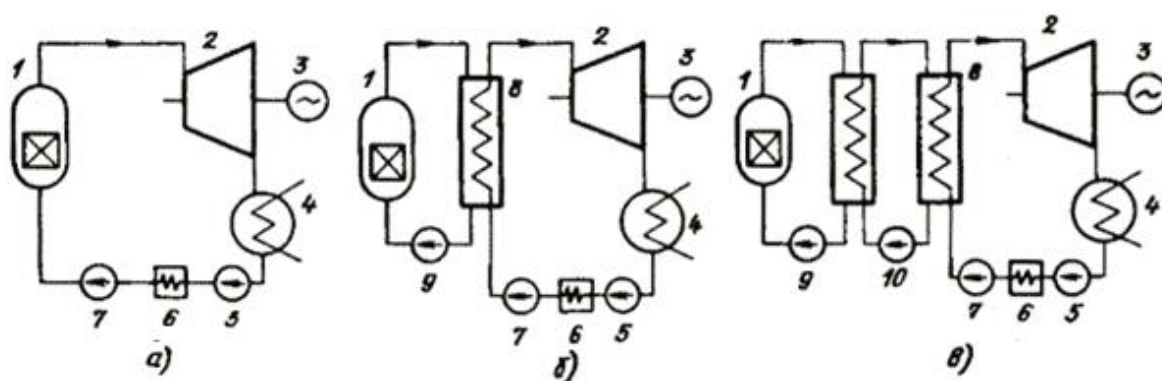


Рис. 5.1. Тепловая схема АЭС:

- а* – одноконтурная; *б* – двухконтурная; *в* – трехконтурная; 1 – реактор; 2 – турбина;
 3 – турбогенератор; 4 – конденсационная установка; 5 – конденсатный насос;
 6 – система регенеративного подогрева питательной воды; 7 – питательный насос;
 8 – парогенератор; 9 – циркуляционный насос контура реактора;
 10 – циркуляционный насос промежуточного контура

5.2. Концепция безопасности и безаварийности АЭС

Атомная энергетика по сравнению с углеводородной обладает рядом преимуществ:

- возможность реализации топливного цикла с воспроизводством ядерного топлива, которое способно обеспечить потребности человечества в необходимом количестве энергии;
- существенное снижение негативного влияния атомной энергетики по сравнению с традиционной энергетикой на окружающую среду за счет осуществления замкнутого топливного цикла;
- эффективное энергообеспечение отдаленных районов со слаборазвитой транспортной сетью в связи с высоким теплосодержанием ядерного топлива.

При этом следует учесть, что предприятия атомной энергетики являются особо сложными техническими объектами. В настоящее время в открытые водные объекты (моря и океаны) в мире сбрасывается около 300 тыс. Ки (кюри) радионуклидов, из которых 99 % имеют период полураспада от нескольких часов до 1 сут. Сбрасываемые изотопы быстро распадаются и не повышают радиоактивный фон водоемов.

В области атомной энергетики существуют высокие требования к чистоте и свойствам материалов, квалификации обслуживающего персонала, надежности работы эксплуатации.

Основная опасность эксплуатации АЭС заключается в потенциальной возможности возникновения аварийной ситуации с большим негативным экологическим эффектом и накоплении долгоживущих радиоактивных отходов. После чернобыльской аварии развертывание атомной энергетики в России приостановлено. Прекращены проектирование 20 новых и строительство 15 АЭС, а также реконструкция и расширение существующих станций.

Концепция безопасности АЭС базируется на следующих факторах: принцип самозащищенности реакторной установки, наличие нескольких барьеров и многократное дублирование каналов безопасности.

В реакторных установках ВВЭР применена композиция активной зоны, которая обеспечивает «самозащищенность» реактора. В случае, если поток нейтронов увеличивается, то, как следствие, происходит рост температуры в реакторе и повышение паросодержания. Однако конструкция реактора предполагает, что повышение паросодержания в активной зоне приведет к ускоренному поглощению нейтронов и дальнейшему прекращению цепной реакции. Подобный эффект называется отрицательным температурным и паровым «коэффициентом» реактивности. Поэтому самозащищенность реактора обеспечивается на основе естественных законов физики.

Также на отечественных объектах атомной энергетики применяются стержни с поглотителем, которые вводятся в активную зону реакторной установки для поглощения нейтронного потока в случае замедления и остановки цепной реакции. Стержни выполнены из карбида бора, удерживаются электромагнитами и подвешены над реактором. Такая схема гарантирует опускание стержней в активную зону даже при обесточивании энергоблока: электромагниты отключатся и стержни войдут в активную зону просто под действием гравитационной силы.

В настоящее время на отечественных АЭС в основном применяются двухконтурные схемы, при использовании которых тепло может отводиться в воздух без участия каких-либо внешних источников водоснабжения. Двухконтурная схема является принципиально более безопасной по сравнению с одноконтурной, так как все радиоактивные среды находятся внутри защитной оболочки (контейнмента) и в первом контуре отсутствует пар, поэтому риск перегрева значительно ниже. Помимо этого, реакторы ВВЭР комплектуются четырьмя парогенераторами с многопетлевыми системами отвода тепла, что предполагает обеспечение значительными резервами воды. Также на АЭС могут быть установлены отдельные насосы системы аварийного расхолаживания, которая предназначена для снижения интенсивности тепловыделения реактора до необходимого уровня.

На российских АЭС с ВВЭР предусмотрены три независимых канала систем безопасности, каждый из которых может выполнить все ее функции. Они рассчитаны на ликвидацию максимальной проектной аварии с разрывом главного циркуляционного трубопровода первого контура максимального диаметра. Запасы воды также обеспечены многократно: сначала она подается из резервных емкостей, установленных в самом энергоблоке, а затем, если воды недостаточно, начинается ее подача из трех дополнительных резервуаров. Питание всех резервных насосов обеспечивается автономно, работа каждого осуществляется от отдельного дизель-генератора. Все генераторы располагаются в отдельных строениях, что не допускает их одномоментного выхода из строя. Любой из этих каналов (в случае отказа остальных) обеспечивает полный отвод тепла.

Совместная работа всех перечисленных защитных систем потребуется только в случае максимальной проектной аварии. Все количество воды, поданное в реактор, аккумулируется специальной системой сбора и охлаждения, которая затем подает ее в активную зону повторно, т.е. будет обеспечена рециркуляция теплоносителя.

В настоящее время на объектах атомной энергетики существует четыре барьера, препятствующих распространению ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду:

- топливная матрица, предотвращающая выход продуктов деления под оболочку тепловыделяющего элемента;
- оболочка тепловыделяющего элемента, не дающая продуктам деления попасть в теплоноситель главного циркуляционного контура;
- главный циркуляционный контур, препятствующий выходу продуктов деления под защитную герметичную оболочку;
- система защитных герметичных оболочек, исключаяющая выход продуктов деления в окружающую среду.

Все российские современные ядерные реакторы типа ВВЭР имеют контайнмент. При этом оболочка рассчитана не только на внешнее воздействие (падение самолета, смерч, ураган, взрыв). Контайнмент выдерживает внутреннее давление в 5 кг/см^2 и внешнее воздействие от ударной волны, создающей давление 30 кПа, и падающего самолета массой 5 т. Оболочка купола энергоблока выполнена из «предварительно напряженного бетона»: металлические тросы, натянутые внутри бетонной оболочки, придают дополнительную монолитность конструкции, повышая ее устойчивость.

При этом объем контайнмента составляет $75\,000 \text{ м}^3$, поэтому риск скопления в нем водорода во взрывоопасной концентрации минимален. В случае аварии для снижения давления пара внутри защитной оболочки установлена спринклерная система, которая разбрызгивает раствор бора из-под купола блока и препятствует распространению радиоактивности. Специальные емкости с борной кислотой находятся над реактором. Каждая емкость представляет собой толстостенный сосуд из двухслойной стали объемом 60 м^3 , работающий под давлением в 60 ата и выше. В случае максимальной проектной аварии – разрыва первого контура охлаждения реактора – содержимое этих емкостей самотеком оказывается внутри активной зоны реактора, и цепная ядерная реакция гасится большим количеством борсодержащего вещества, хорошо поглощающего нейтроны. Такого количества раствора достаточно для охлаждения активной зоны до подключения системы аварийного расхолаживания и охлаждения бассейна выдержки.

Там же ставятся рекомбинаторы водорода, не позволяющие газу скапливаться и исключаяющие возможность взрыва.

Кроме того, предполагается наличие такой концепции безопасности, которая предусматривает не только средства предотвращения аварий, но и средства управления последствиями запроектных аварий, обеспечивающих локализацию радиоактивных веществ в пределах герметичной оболочки. К ним относятся упомянутые выше системы удаления водорода (с пассивными

рекомбинаторами); защиты первого контура от превышения давления; отвода тепла через парогенераторы; отвода тепла от защитной оболочки и устройство локализации расплава (так называемая «ловушка расплава»). Например, система отвода тепла от защитной оболочки обеспечивает долговременный его отвод при любых аварийных ситуациях, в том числе и при полном обесточивании АЭС. Что касается устройства локализации расплава, то оно обеспечивает его локализацию и исключает возможность его выхода за пределы гермооболочки при любых сценариях. Фактически это холодный тигель, расположенный под реактором и заполненный так называемым «жертвенным» материалом из оксидов железа и борной кислоты, который позволяет мгновенно заглушить реакцию. Его наличие позволяет гарантировать, что расплавленное топливо при аварии останется в стабильном состоянии, т.е. будет сохранена подкритичность расплава.

Помимо этого, при строительстве и развертывании АЭС необходимо обеспечить устойчивость к землетрясениям. В настоящее время все российские АЭС находятся в зонах низкой сейсмоопасности.

Предотвращение отказов и нарушений норм безопасной эксплуатации обеспечивается за счет выбора безопасной площадки размещения АЭС, применения консервативных принципов проектирования, наличия системы обеспечения качества при выборе площадки, проектировании, строительстве и эксплуатации, а также культуры безопасности. Выбор безопасной площадки предполагает, в частности, определение прогнозируемого уровня сейсмического воздействия, который вычисляется отдельно для каждой площадки и каждого блока. Например, в ходе дополнительных исследований в районе 8–10-балльной сейсмичности могут быть выделены пригодные площадки в пределах 7-балльной зоны сейсмичности и однородных массивов гранитоидов, вдали от эпицентров мелкофокусных землетрясений. При выполнении таких работ в расчет берется уровень сейсмичности максимального расчетного землетрясения, которое может произойти с вероятностью 1 раз в 10 тысяч лет (и не более 8 баллов). Исходя из этого прогноза осуществляется выполнение соответствующих расчетов для строительных конструкций, проектирование всех трубопроводов и оборудования. При необходимости оборудование оснащается гидроамортизаторами.

Действующими нормами запрещено размещать АЭС: на площадках, расположенных непосредственно на активных разломах; на территориях, сейсмичность которых характеризуется интенсивностью максимальных расчетных землетрясений более 9 баллов по шкале сейсмической активности Медведева – Шпонхойера – Карника; а также в пределах которых нахождение атомных электростанций запрещено природоохранным законодательством.

Кроме того, наличие собственных сил гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на каждой АЭС делает максимально оперативным реагирование на нештатные ситуации. Эти подразделения находятся в постоянной готовности и оснащены необходимыми техническими средствами, в том числе резервными источниками питания и резервными насосами. Обычные пожарные машины могут подключаться к любому энергоблоку через специальные штуцеры на корпусах блоков, которые разнесены на разные стороны с тем, чтобы не быть одновременно поврежденными. Существуют специальные штабы по управлению кризисными ситуациями, где осуществляется планирование мероприятий в случае чрезвычайных ситуаций, регулярно проводятся соответствующие учения. Такие антикризисные центры в случае необходимости оперативно согласуют свои действия с МЧС РФ и Министерством энергетики РФ. Наконец, существуют также убежища и средства защиты персонала на площадке каждой АЭС.

С точки зрения защиты от террористов, все действующие АЭС надежно охраняются Внутренними войсками МВД России, которые имеют необходимое вооружение, технику и оснащение. Система защиты периметра объектов построена таким образом, что любой нарушитель должен быть задержан на линии охраны. Пронос на территорию АЭС запрещенных предметов (оружие, боеприпасы и пр.) невозможен, на всех контрольно-пропускных пунктах установлены приборы обнаружения и видеонаблюдения. Таким образом, совершение противоправных действий, которые повлекут тяжкие последствия для жизни и здоровья граждан, маловероятно.

На всех российских станциях после аварии на Чернобыльской АЭС были проведены дополнительные исследования возможных аварийных ситуаций и путей их преодоления. Были предприняты усилия по минимизации роли человеческого фактора в кризисных ситуациях, была проведена модернизация систем безопасности на старых станциях. В результате на всех действующих станциях нашей страны есть несколько систем, которые включаются одна за другой в случае возникновения ситуации обесточивания, полностью исключая возможность такого развития событий, какое имело место в Японии.

Наконец, на всех российских атомных станциях установлена автоматическая система контроля радиационной обстановки. Она предусматривает наличие датчиков, которые фиксируют уровень радиации вокруг радиационно опасных объектов в режиме реального времени. Показания этих приборов передаются на специальный сайт в Интернете.

Если рассматривать безопасность АЭС, получивших разрешение на продление сроков эксплуатации, то любое подобное продление – это итог масштабной работы по проверке состояния всех систем и конструкционных материалов. При продлении принимается во внимание ресурс оборудования, подаются подтверждения конструкторов, которые обязаны гарантировать безопасность своего объекта сверх проектных сроков. Только при наличии таких гарантий может быть вынесено решение о продлении. На всех энергоблоках АЭС, получивших лицензию Ростехнадзора на продление срока службы сверх проектного, был выполнен комплекс работ по крупномасштабной модернизации и замене оборудования и систем АЭС, обеспечивших достижение уровня современных требований к состоянию ее безопасности.

Однако бесконечно продление сроков эксплуатации невозможно, потому что есть фактор старения материалов и технологий. Поэтому идет работа по строительству в Российской Федерации новых энергоблоков взамен выбывающих старых. На каждом из них стоимость систем безопасности, предотвращающих радиоактивное воздействие на население и окружающую среду при самых неблагоприятных условиях (падение тяжелого самолета, землетрясение, цунами, взрывная волна), составляет около 40 % от общей стоимости сооружения. Конечная цель – гарантировать, что ни при каком сценарии не будет угрозы выхода радиоактивности за пределы площадки.

В связи с событиями в Японии, приведшими к аварии на АЭС «Фукусима», Концерном «Росэнергоатом» разработан и выполнен анализ сценариев возможного развития аварий на российских АЭС с определением мероприятий для смягчения последствий и снижения воздействия на население и окружающую среду в случае тяжелой запроектной аварии. Мероприятия по повышению устойчивости к экстремальным внешним воздействиям для строящихся, находящихся на этапе ввода в эксплуатацию и проектируемых АЭС по объему и содержанию аналогичны мероприятиям для эксплуатируемых АЭС. К ним относятся: анализ защищенности объекта при экстремальных внешних воздействиях по методике, предложенной Ростехнадзором; программа реализации дополнительных проектных решений для снижения последствий запроектных аварий на АЭС; установка дополнительного оборудования (автономных мобильных дизель-генераторов и мобильных насосных установок). В 2011–2012 годах на все АЭС осуществлена поставка дополнительной передвижной противоаварийной техники. В 2012–2014 годах проведены подготовка проектно-сметной документации, расчеты, анализы и обоснования, поставлено дополнительное оборудование и материалы. В 2012 году было завершено оснащение всех действующих АЭС мобильной противоаварийной техникой на общую сумму 2,6 млрд руб [11]. Продолжается выполнение долгосрочных мероприятий

(до 2021 года), направленных на реализацию и внедрение на АЭС дополнительных проектных решений.

5.3. Экологическая безопасность АЭС

В результате работы АЭС образуются радиоактивные отходы (РАО). Они могут находиться в твердой, жидкой и газообразной формах и требуют особо аккуратного обращения. Конечной стадией обращения с РАО должна стать их надежная изоляция от окружающей среды в специальном могильнике, который позволит предотвратить выход радиоактивных веществ в окружающую среду в течение всего периода их потенциальной опасности, т. е. до того момента, пока радионуклиды не распадутся естественным образом.

На АЭС различают два основных потока загрязненных газовых выбросов:

- технологические газы, образующиеся при стационарном режиме работы оборудования и на стадиях перегрузки топлива в реактор;
- вентиляционные газы, поступающие в атмосферу из помещений станции.

Технологические газы очищаются следующими способами:

- выдерживание газов в газгольдере, при этом через некоторое время происходит естественный распад радиоактивных изотопов. Недостатком метода является необходимость использования больших площадей для строительства газгольдеров;
- сорбция радиоактивных элементов на сорбционных материалах (например, на активированном угле).

Вентиляционные газы проходят очистку на тканевых фильтрах типа Петреянова полиэтиленовом (ФПП) и ацетилцеллюлозном (ФПА), которые представляют собой слой ультратонких (1,5–2,5 мкм) волокон перхлорвинила, нанесенных на марлевую подкладку.

Жидкие отходы АЭС представлены кубовым остатком, образующимся при выпарке высокоминерализованных трапных вод (воды неорганизованных протечек или случайных проливов) и дезактивационных растворов. Для очистки различных видов отработанных вод применяются традиционные способы: ионный обмен, фильтрация, выпаривание. Кубовый остаток битумируют, а затем отправляют на хранение. Также на АЭС утилизируются ионообменные смолы, которые подлежат захоронению, как и радиоактивные отходы.

Исходя из сказанного выше, источники жидких радиоактивных отходов на АЭС следующие [16]:

1. Продувочная вода реакторного контура и организованные протечки этого контура, вода бассейнов выдержки и перегрузки, вода опорожнения

реакторных петель; они характеризуются наибольшей химической чистотой (солесодержание менее 1 г/дм^3), но и наибольшей радиоактивностью.

2. Дезактивационные растворы, использованные при дезактивации контуров, оборудования или отдельных деталей; они содержат радиоактивные окислы конструкционных материалов. Химический состав растворов целиком зависит от реагентов, используемых для дезактивации (применяемых щелочей и кислот). Солесодержание дезактивационных вод доходит до 25 г/дм^3 . Активность их зависит от материалов основных контуров и может доходить до 109–1010 Бк/л (Беккерель/литр).

3. Продувочная вода парогенераторов двухконтурных установок (ВВЭР); эта вода имеет по сравнению с реакторной большее солесодержание, но меньшую радиоактивность, так как последняя определяется только протечками из первого контура. Поскольку величина протечек влияет на безопасность АЭС, она нормируется. Активность продувочных вод обычно не превышает 10 Бк/л.

4. Трапные и обмывочные воды. Трапные воды – это воды неорганизованных протечек или случайных проливов. Трапами – воронкообразными углублениями в полу, к которым подведены трубы спецканализации, – оборудуются все помещения технологических систем, мастерских или лабораторий. В трапы же сливаются и обмывочные воды, появляющиеся при дезактивации стен и полов помещений, в которых располагаются технологические системы с активным теплоносителем или оборудование для переработки радиоактивных отходов. При обмывке помещений обычно используются поверхностно активные вещества, которые и являются основным загрязнителем. Кроме них в обмывочных водах присутствуют масло, ветошь, цементная пыль и другие производственные загрязнения. Если для обмывки используется обессоленная вода, то солесодержание обмывочных вод невелико ($1\text{--}2 \text{ г/дм}^3$).

5. Регенерационные и промывочные воды. Регенерационные воды появляются при обработке кислотой и щелочью фильтрующего ионообменного материала установок очистки радиоактивных вод для восстановления его обменной способности. Основные «загрязнители» – водорастворимые соли, кислоты и щелочи. Общее солесодержание составляет до 50 г/дм^3 .

6. Воды спецпрачечных и душевых. Это воды наименьшей радиоактивности. Источник примесей в них – используемая техническая или водопроводная вода. Кроме того, в воде прачечных присутствуют моющие средства, тринатрийфосфат, кальционированная сода и другие вещества. Активность вод прачечных достигает 103 Бк в период ремонта, а обычно – ниже допустимых значений. Воды душевых имеют активность еще более низкую благодаря большому разбавлению чистой водой.

Количество радиоактивных вод, их химический состав и активность зависят от типа реакторной установки, организации водно-химического режима, надежности работы основного оборудования первого контура, культуры эксплуатации и ряда других причин.

Например, на АЭС с двумя энергоблоками ВВЭР-440 образуется, как уже упоминалось, около $20\,000\text{ м}^3/\text{год}$ трапных и обмывочных вод, а на АЭС с двумя реакторами РБМК-1000, использующими одноконтурную схему, количество трапных и обмывочных вод может достигать $80\,000\text{--}100\,000\text{ м}^3/\text{год}$ [11]. На одноконтурных АЭС существенную добавку в объем трапных вод дают дренажные воды турбинного отделения, регенерационные растворы и промывочные воды с фильтров конденсатоочистки.

После концентрирования радиоактивности с использованием систем водяного охлаждения этот объем сокращается в 50–100 раз и составляет всего $300\text{--}400\text{ м}^3/\text{год}$ для АЭС с ВВЭР-440 и $1000\text{--}1200\text{ м}^3/\text{год}$ для РБМК-1000.

Технологии безопасного обращения с радиоактивными отходами разработаны и активно совершенствуются. Например, для снижения объема твердых РАО в зависимости от их состава применяется прессование или сжигание. Жидкие радиоактивные отходы подвергают коагуляции, упариванию, пропускают через механические или ионообменные фильтры, специальные мембраны – таким образом снижая их объем. Газообразные РАО очищают на специальных тканевых или волоконных фильтрах, скрубберах и т. п. После снижения объема радиоактивных отходов следует этап их иммобилизации – помещения в прочную матрицу из цемента, битума, стекла, керамики, иных подходящих материалов, которые позволяют снизить вероятность выхода радиоактивных веществ в окружающую среду. С этой целью, например, жидкие РАО смешивают с цементом и присадками и заливают образовавшуюся цементную массу в специальный контейнер, где уже могут находиться твердые РАО. Затем эти контейнеры размещают в специальном хранилище. В ходе эксплуатации хранилище переводится в могильник (осуществляются дополнительные работы по изоляции здания), либо контейнеры перевозятся в специально построенный могильник [12].

Также применяется стратегия радиационно-эквивалентного захоронения отходов, которая состоит в обеспечении баланса между радиационной опасностью урана, добываемого из недр, и радиационных отходов, подлежащих захоронению. Для этого предлагается проводить извлечение при добыче урана долгоживущих продуктов распада (например, радия), а перед захоронением осуществлять предварительную очистку отходов от долгоживущих изотопов и переводить их минералоподобную форму для исключения миграции отдельных компонентов в грунте. Захоронения следует проводить в естественные геологические формации, остающиеся после добычи урана.

5.4. Демонтаж АЭС

Демонтаж атомных электростанций – это технологически сложный процесс, который происходит после окончания проектного срока эксплуатации реакторов либо по причине аварии и по решению референдумов населения и правительства государства. Сущность вывода из эксплуатации АЭС состоит в последовательной реализации комплекса административных и технических мер, имеющих целью прекращение всякой деятельности, связанной с функциональным предназначением объекта, и его преобразование в экологически безопасное состояние, не требующее контроля со стороны надзорных органов.

Демонтаж АЭС после исчерпания ресурса использования – весьма сложный, экологически опасный и достаточно дорогостоящий процесс. Поэтому в общемировой практике рассматривают два варианта вывода АЭС из эксплуатации – консервация с последующим демонтажем и полный немедленный демонтаж. Также может осуществляться частичный демонтаж. К достоинствам частичного демонтажа относится возможность использования оборудования на прочих действующих АЭС. Достоинством консервации является появление новых, более дешевых и надежных технологий.

При немедленном демонтаже основной проблемой выступает утилизация отработанного ядерного топлива, которое перевозится на специальные площадки для его хранения или переработки и последующего хранения. Специфика российской атомной энергетики связана с распространением реакторов РБМК и сложностью утилизации загрязненного графита на этих АЭС. По этой причине в РФ принята политика консервации закрытой атомной электростанции.

Контрольные вопросы

1. На какие типы подразделяются существующие ядерные реакторы?
2. В чем преимущество двухконтурной АЭС над одноконтурной?
3. Назовите четыре барьера в атомной энергетике, препятствующих распространению ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду.
4. Какие источники жидких радиоактивных отходов на АЭС Вы знаете?
5. Какие существуют возможные варианты вывода АЭС из эксплуатации? Какого подхода придерживаются на территории Российской Федерации?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов в энергетической отрасли в настоящее время приобретают все большую актуальность в связи с острой необходимостью промышленного сектора экономики Российской Федерации в выработке электрической и тепловой энергии.

В учебном пособии изложены основные темы, касающиеся вопросов экологической безопасности на объектах энергетики. Авторами рассмотрены такие экологические аспекты, как очистка газовых выбросов и сточных вод на ТЭС и АЭС, экологически чистые технологии, а также вопросы рационального природопользования на предприятиях энергетической отрасли. Приведены основные экологические критерии производства и порядок их нормирования.

Кроме того, значительное внимание уделяется принципам работы таких объектов энергетической отрасли, как тепловые и атомные электрические станции, которые представляют наибольшую опасность загрязнения окружающей природной среды.

Подробно описано значение воды как основного рабочего тела при производстве тепловой и электрической энергии. Приведены два принципиально возможных пути водопользования на предприятиях энергетического сектора, а также основные понятия в области водопотребления и водоотведения в энергетике и меры по защите водной среды, принимаемые при строительстве ТЭС. Рассмотрено понятие зоны санитарной охраны, его принципиальное отличие от понятия санитарно-защитной зоны.

Представлен комплекс водоохраных мероприятий, подразумевающий применение современных высокоэффективных видов оборудования и технологий, систем, сооружений и установок для очистки, рециркуляции и утилизации сточных вод, а также мероприятий, необходимых в кратковременные периоды при неблагоприятных метеорологических условиях, штатных режимах работы, при стихийных природных явлениях.

Рассмотрены достоинства и недостатки одно-, двух- и трехконтурных АЭС с точки зрения их негативного антропогенного воздействия. Эксплуатация АЭС любого типа возможна лишь при соблюдении концепций ее безаварийной работы с использованием всех возможных технологических средств, минимизирующих риск техногенных аварий и барьеров, препятствующих распространению ионизирующих излучений и радиоактивных веществ в окружающую среду. Внимание обращено и на вопросы демонтажа АЭС и их решение на территории Российской Федерации.

Представлены различные способы очистки газовых техногенных примесей с применением методов адсорбции, абсорбции, реагентных методов. Среди абсорбционных методов описаны методы с использованием известняка, извести, окиси магния и солей натрия. В области применения адсорбции для очистки газов приведены методы с использованием углеродных сорбентов, таких как активные угли, и неуглеродных сорбентов (окислов металлов). Подробно рассмотрены подходы к очистке дымовых газов от оксидов азота путем подавления их образования (рециркуляция в зону горения, двухстадийное сжигание топлива) и применения специальных горелочных устройств. Описаны методы очистки дымовых газов от соединений серы путем ее удаления из твердого и жидкого топлива, а также процессы газификации и пиролиза топлива, их различия и технологические особенности.

Более того, приведены методы очистки сточных вод ТЭС, образующихся после охлаждения оборудования, содержащих значительное количество неорганических солей, нефте- и маслосодержащих сточных вод и сточных вод, а также различного состава, где содержатся как органические, так и неорганические примеси.

Особое внимание уделяется методам возможного сокращения объема сточных вод как эффективным и экономически рациональным способам снижения вредного воздействия сбросов на окружающую природную среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерная экология : учебник / Под ред. проф. В. Т. Медведева. – Москва : Гардарики, 2002. – 687 с.
2. Копылов, А. С. Водоподготовка в энергетике / А. С. Копылов, В. М. Лавыгин, В. Ф. Очков. – Москва : Изд-во МЭИ, 2003. – 309 с.
3. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций / А. И. Абрамов, Д. П. Елизаров, А. Н. Ремезов и др.; под ред. А. С. Седлова. – Москва : Изд-во МЭИ, 2001. – 378 с.
4. СТО 70238424.13.060.30.001-2008. Тепловые электрические станции. Экологическая безопасность. Защита водной среды. Нормы и требования. – Москва : Изд-во «ИНВЭЛ», 2008. – 52 с.
5. Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: информационный сборник / Под ред. В. Я. Путилова. – Москва : Изд. дом МЭИ, 2007. – 388 с.
6. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. – Москва : ГУП ЦПП, 1996. – 265 с.
7. Пугач, Л. И. Энергетика и экология: учебник / Л. И. Пугач. – Новосибирск : НГТУ, 2003. – 502 с.
8. Кострикин, Ю. М. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: справочник / Ю. М. Кострикин, Н. А. Мещерский, О. В. Коровина. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 252 с.
9. Семенова, И. В. Промышленная экология : учебное пособие. – Москва : Издательский центр «Академия», 2009. – 528 с.
10. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник. Т. 1 / А. С. Тимонин – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – 917 с.
11. Баклушин, Р. П. Эксплуатация АЭС. Ч. I. Работа АЭС в энергосистемах. Ч. II. Обращение с радиоактивными отходами: учеб. пособие / Р. П. Баклушин. – Москва : НИЯУ МИФИ, 2011. – 304 с.
12. Безопасность российских АЭС. – URL : <https://www.rosatom.ru/about-nuclear-industry/safety-russian-npp/> (дата обращения 25.03.2019). – Текст : электронный.
13. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 367 с.
14. Патракова, Г. Р. Промышленная экология объектов энергетики и промышленная безопасность : учебное пособие / Г. Р. Патракова. – Нижнекамск : НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ», 2017. – 98 с.
15. Экология энергетики : учебное пособие / Под общ. ред. В. Я. Путилова. – Москва : Изд-во МЭИ, 2003. – 716 с.
16. Акимова, Т. А. Основы экоразвития : учебное пособие / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин; под ред. В. И. Видяпина. – Москва : Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. СУЩНОСТЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО АСПЕКТА В ЭНЕРГЕТИКЕ	5
1.1. Общие понятия и определения	5
1.2. Нормативы качества природной среды	7
1.2.1. Нормативы качества атмосферного воздуха	8
1.2.2. Нормативы качества воды водных объектов	13
1.3. Экологический контроль на предприятиях энергетического сектора	17
ГЛАВА 2. ПРИМЕНЕНИЕ ВОДЫ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ	20
2.1. Водопотребление в энергетике	20
2.2. Основные понятия в области водопотребления и водоотведения в энергетике	22
2.3. Строительство ТЭС и защита водной среды	25
2.4. Воздействие ТЭС на гидросферу и применяемые водоохранные мероприятия	28
ГЛАВА 3. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ	30
3.1. Физико-химические показатели качества воды	30
3.2. Органолептические показатели качества воды	35
3.3. Присутствие органических соединений в воде	36
ГЛАВА 4. ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ ВЕЩЕСТВА, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В ТОПЛИВНЫХ И ВОДНЫХ ЦИКЛАХ ТЭС, И СПОСОБЫ ИХ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ	38
4.1. Сточные воды ТЭС	38
4.1.1. Методы очистки сточных вод, полученных от охлаждения оборудования	38
4.1.2. Методы очистки сточных вод, содержащих примеси неорганических солей	39
4.1.3. Методы очистки нефте- и маслосодержащих сточных вод	41
4.1.4. Методы очистки сточных вод сложного состава	42
4.1.5. Нормируемые и контролируемые показатели состава сточных вод ТЭС	43
4.2. Атмосферные выбросы ТЭС.....	44

4.2.1. Способы очистки дымовых газов от диоксида серы	44
4.2.2. Способы очистки дымовых газов от оксидов азота	54
ГЛАВА 5. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС ...	60
5.1. Классификация существующих типов АЭС	60
5.2. Концепция безопасности и безаварийности АЭС	62
5.3. Экологическая безопасность АЭС	68
5.4. Демонтаж АЭС	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	74

Учебное издание

**Николаева Лариса Андреевна,
Исхакова Регина Яновна**

**ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ВОЗДУШНОГО БАССЕЙНА
НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ**

Учебное пособие

Кафедра технологии воды и топлива КГЭУ

Редактор *М.С. Беркутова*
Компьютерная верстка *Т.И. Лунченковой*

Подписано в печать 20.02.2020.

Усл. печ. л. 4,47. Уч.-изд. л. 3,63. Заказ № 276/эл.

Редакционно-издательский отдел КГЭУ, 420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51