

с уважением  
Зинину Александру  
Викторовичу  
автору  
Гостьков В. В.  
22.11.2000г

Министерство общего и профессионального образования  
Российской Федерации

Ивановский государственный энергетический университет

**В. В. ГОСТЬКОВ**

**Режимы и нормы эксплуатации оборудования  
по химико-радиационному цеху АЭС**

*УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ*

Рекомендовано Учебно-методическим объединением  
в качестве учебного пособия  
для студентов теплоэнергетических специальностей

Иваново 1999

Режимы и нормы эксплуатации оборудования по химико-радиационному цеху АЭС: Учеб. пособие/ В.В. Гостьков; Иван. гос. энерг. ун-т. –Иваново, 1999. – 258 с. –ISBN 5-89482-033-2

Рассматриваются режимные и нормативные основы эксплуатации оборудования по обработке технологических вод АЭС с РБМК. Дается краткая техническая характеристика элементов оборудования и технологических связей между ними. Включены вопросы организации химического контроля за водно-химическим режимом оборудования.

Автор – В.В. Гостьков, начальник химико-радиационного цеха Смоленской АЭС – имеет многолетний опыт эксплуатации оборудования водоподготовки, организации водно-химического режима.

В составлении учебного пособия принимали активное участие инженеры Смоленской АЭС: Л.В. Ромашова, Н.Н. Грехт, М.Г. Окулова, Н.П. Благовисная, Л.В. Хазанова и др.

Учебное пособие предназначено для работников химико-радиационных цехов АЭС и студентов вузов, обучающихся по теплоэнергетическим специальностям (100600, 100500, 101000)

Табл. 17. Ил. 111. Библиогр.: 10 назв.

*Научный редактор*

канд. техн. наук А.Н. Коротков

*Рецензенты:*

В.С. Щебнев (Ивановский государственный энергетический университет)

М.М. Орлова (Ивановский зарубежэнергoproект)

## Сокращения и термины

АГС – азотно-гелиевая смесь в системе контроля целостности технологических каналов (КЦ ТК);  
 АЗ – аварийная защита;  
 БППГ – парогенератор промежуточного контура реакторного отделения;  
 БАЗ – быстродействующая аварийная система защиты реактора;  
 ББ – бассейн-барботер для аварийного приема и конденсации пара КМПЦ;  
 БВ – бассейн выдержки отработанных ТВК;  
 БВТК – то же для технологических каналов;  
 БС – барабан-сепаратор;  
 БТВ, БПТВ – бак сбора трапных вод, промежуточные баки трапных вод;  
 БЧК, КБЧК, БСКВ – бак чистого конденсата; контрольный бак чистого конденсата, баки сбора контурных вод;  
 ВА – выпарной аппарат;  
 ВРХЛ – водно-радиационная химическая лаборатория.  
 ВХР – водно-химический режим;  
 ГПК – главный предохранительный клапан для снижения давления пара;  
 ГЦН – главный циркуляционный насос контура реактора;  
 КДГ – конденсатор-дегазатор;  
 КН-1, КН-2 – конденсатные насосы первого и второго подъема;  
 КМПЦ – контур многократной принудительной циркуляции;  
 КПТ – конденсатно-питательный тракт энергоблока;  
 КО – установка очистки конденсата;  
 МФ, ФСД – механический фильтр, фильтр смешанного действия;  
 НТВ – насос трапных вод;  
 НТУ – насосно-теплообменная установка;  
 ПНД – подогреватель низкого давления в системе регенеративного подогрева турбинного конденсата;  
 ПГ, ПГУ – парогенератор, парогенерирующая установка;  
 ПКТС – промежуточный контур тепловых сетей;  
 ППБ – прочноплотный бокс;  
 РБМК – реактор большой мощности канальный;  
 САЭС – Смоленская атомная электрическая станция;  
 СВО-1, СВО-2 и т.д. – установки специальной водоочистки АЭС;  
 СОСТГ – система водяного охлаждения турбогенератора;  
 СПиР – система продувки и расхолаживания КМПЦ;  
 СПП – сепаратор-пароперегреватель для подсушки влажного пара после ЦНД;  
 СЭУ – электролизная установка для выработки водорода;  
 СС, КС – сепаратор - сборник, конденсатосборник;  
 СУЗ – стержни управления защитой;

ТБК, ТВС — тепловыделяющая кассета, тепловыделяющая сборка;  
 ТВЭЛ — тепловыделяющий элемент энергетического реактора;  
 ТГ — турбогенератор;  
 ТК — технологический канал реактора;  
 УОГ, УСГС — установка очистки гелия, установка сжигания гремучей смеси;  
 УПАК — установка подавления активности для снижения количества радиоактивных отходов;  
 УЭП — удельная электрическая проводимость;  
 ФРК, ФРА — фильтры регенерации катионита, то же анионита;  
 ФЭЛ — фильтрующий элемент намывного механического фильтра;  
 ХВО — установка химической очистки воды;  
 ХЖО, ХЖТО — хранилище жидких отходов, то же жидких и твердых отходов;  
 ХЦ — химический цех;  
 ЦВД, ЦНД — цилиндр высокого давления, цилиндр низкого давления турбоустановки.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

*Теплоносителем и рабочим телом на тепловых и атомных электрических станциях является вода и водяной пар. От степени их чистоты и уровня поддержания коррекционных добавок во многом зависит надежная работа энергетического оборудования. На АЭС к традиционным задачам водно-химического режима добавляется необходимость глубокой очистки технологических и сточных вод на спецводоочистках, анализа газовых смесей и водных растворов, часто в условиях повышенной радиации и ограничения времени.*

*Уровень требований к эксплуатационному персоналу химических цехов, традиционно высокий на ТЭС, на АЭС существенно повышается. В программу проверки знаний специалистов включаются нормативные, технологические вопросы, внедряются автоматизированные системы обучения (АОС) и компьютерные тренажеры. При этом практически отсутствуют или значительно устарели учебные пособия, призванные поддерживать теоретические знания и практические навыки по вопросам эксплуатации водоподготовительного оборудования и организации водно-химических режимов на ТЭС и АЭС.*

*Представленная вниманию читателя книга включает десять разделов, начиная от описания тепловой схемы энергоблока АЭС и заканчивая методами химического анализа и организационной структурой водной радиохимической лаборатории. По характеру изложения книгу можно определить как учебное пособие, составленное по типовым режимам и типовому оборудованию Смоленской АЭС. Конкретный характер схем и оборудования помогает сохранить «нормативную» строгость в описании процессов и режимов эксплуатации оборудования, подведомственного химическому цеху АЭС. При этом в описание включены практически все вопросы, с разных сторон освещающие работу конкретной схемы или технологического узла. Так, в разделе 9 изложен перечень, характеристики и системы применяемых на Смоленской АЭС энергетических масел — как завершающая часть рассмотренных выше процессов и аппаратов энергетического производства.*

*Примечательно, что все разделы книги предваряются теоретическим описанием процессов или измерительных систем химконтроля, изложенных ниже. Ряд глав содержат примеры использования расчетных или аналитических методик (разделы 7, 8). Вся книга изобилует иллюстрациями, что улучшает восприятие читателем предлагаемого материала.*

*Доктор технических наук, профессор Б. ЛАРИН*

### 1.20.2. Хранилище жидких отходов II очереди

ХЖО II очереди САЭС выполнено примыкающим к зданию ХЖО II очереди. С учетом годовых поступлений ЖРО II очереди в здании ХЖО II очереди установлены:

четыре бака БВП - для приема вод эксплуатационных промывок КМПЦ объемом по 1000 м<sup>3</sup> каждый;

два бака БКО - для приема кубового остатка объемом по 1000 м<sup>3</sup> каждый;

один бак резервный БР объемом 1000 м<sup>3</sup>, предназначенный для приема одного из видов ЖРО в зависимости от вида дебалансных жидких сред;

два бака смол и два бака перлита объемом по 100 м<sup>3</sup>.

Бак перелива вод КМПЦ БПВ (объемом 50 м<sup>3</sup>) предназначен для перевода вод эксплуатационных промывок КМПЦ из баков БВП, а также перевода резервного бака БР, трапных вод канализации. Бак трапных вод БТВ предназначен для промежуточного сбора декантатов трапных вод из баков БС, перлита БП, трапных вод из системы спецканализации.

В баках смол (БВС и БНС I очереди и БС II очереди) и баках перлита предусмотрена декантация жидкой фазы. Декантат гидротранспортом собирается из данных баков в бак БТВ. Твердая фаза - смола и перлит - с помощью монжюса смол и перлита (МСП) транспортируется в комплекс биоминерализации.

К системе основных потоков относятся и монжюсы радиоактивных отходов, предназначенные для перекачки отходов из бака в бак и из баков переработку. В монжюсе создается вакуум с помощью вакуум-насоса и после заполнения монжюса водой происходит ее перекачка с помощью сжатого воздуха.

Для предотвращения заиливания (слеживания) радиоактивных отходов баки проведены сжатым воздухом для барботажа.

Во избежание контакта с атмосферой и распространения радиоактивных аэрозолей на каждом баке предусмотрен гидрозатвор, который заполняется чистым конденсатом.

Для предотвращения утечки радиоактивных газоаэрозольных сред из баков ХЖО при выполнении гидротрегрузок, продувки ЖРО сжатым воздухом вышеуказанные операции сопровождаются непрерывной откачкой жидких сред из баков с помощью газодувок. Сдувки из емкостей ХЖО направляются в нагнетательный коллектор вытяжной спецвентиляции, предварительно проходя очистку на аэрозольных фильтрах «Фартос».

## 2. ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АЭС

### 2.1. Нормируемые и контролируемые показатели качества теплоносителя

Водно-химический режим (ВХР) станции есть система организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение и поддержание норм качества водного теплоносителя и допустимого состояния внутренних поверхностей оборудования основного контура в целях достижения безаварийной и экономичной работы оборудования и проектного ресурса эксплуатации АЭС.

В понятие «водный теплоноситель» для АЭС с кипящими реакторами РБМК включаются:

- вода контура многократной принудительной циркуляции (КМПЦ);
- конденсат турбины до очистки и после очистки;
- насыщенный пар;
- питательная вода и ее составляющие;
- вода контура системы управления и защиты реактора (СУЗ).

Основным потоком, определяющим ВХР КМПЦ, является питательная вода. К составляющим питательной воды относятся, в %:

- конденсат турбины - 88;
- конденсат технологических конденсаторов - 0,3;
- конденсат сепаратора-перегревателя (СПП) - 10,5;
- подпиточная вода (СВО-5, СВО-6) - 1,0;
- добавочная вода (ХВО, СВО-4) - 0,2.

Составляющие питательной воды являются теплоносителем.

На Смоленской АЭС принят нейтральный бескоррекционный режим, основными особенностями которого являются:

- ведение водного режима без корректирующих добавок;
- отсутствие систем подавления радиолиза воды специальными методами;
- необходимость обеспечения высокой чистоты питательной воды ( $\chi \leq 0,1$  мкСм/см).

Водно-химический режим АЭС характеризуется нормируемыми и контролируемыми показателями качества теплоносителя.

Нормируемый показатель качества теплоносителя - показатель, ограничиваемый пределами и поддерживаемый в процессе эксплуатации ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Поддержание пределов нормируемых показателей обеспечивает проектный ресурс надежной работы реактора и поверхностей нагрева и охлаждения без снижения его экономичности.

Таблица 2. Нормируемые и контролируемые показатели качества теплоносителя

Показатели	КМПЦ		Конденсат после КО		Питательная вода		Контур СУЗ	Вода подпиточная, добавочная
	контр	норм.	контр.	норм.	контр.	норм.		
РН при 25 °С, ед.	-	6,5-8,0	6,8-7,1	-	6,8-7,1	-	4,5-6,2	5,5-7,2
Электропроводимость при 25 °С, мксм/см	-	1,0		0,1	0,1	-	-	1,5
Массовая концентрация хлорид-иона, фторид-иона, мкг/дм <sup>3</sup>	-	100		2,0	-	2,0	50	10,0
Жесткость, мкг-экв/дм <sup>3</sup>	-	5	0,2	-	0,2	-	-	3,0
Массовая концентрация SiO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	1000	-		-	-	-	-	50
Массовая доля O <sub>2</sub> , мкг/дм <sup>3</sup>	-	-		200	-	20	-	-
Массовая доля натрия, мкг/дм <sup>3</sup>	-	-		-	-	-	-	-
Массовая доля железа, мкг/дм <sup>3</sup>	50	-		-	-	-	100	50
Массовая доля меди, мкг/дм <sup>3</sup>	-	20		2,0	2,0	-	-	2,0
Нефтепродукты, мкг/дм <sup>3</sup>	-	200		-	100	-	-	200
Массовая доля алюминия, мкг/дм <sup>3</sup>	-	-		-	-	-	100	-

Отклонение в процессе эксплуатации нормируемых показателей от установленных ГОСТом значений требует оперативного вмешательства персонала станции в работу систем обеспечения ВХР, а при невозможности достижения в короткий срок требуемых значений - снижения мощности или даже останова реактора.

Качество теплоносителя не оказывает решающего влияния на надежность работы станции, но их проверка необходима как для контроля работы отдельных систем очистки, так и для оценки оптимальности всего комплекса ВХР. Повышение предельных значений контролируемых показателей может быть сигналом нарушения нормальной эксплуатации ряда систем даже при поддержании в заданных пределах нормируемых показателей.

Качество теплоносителя при нормальной эксплуатации АЭС должно соответствовать нормам, указанным в табл. 2.

В насыщенном паре контролируется массовая концентрация кремниевой кислоты не более 10 мкг/дм<sup>3</sup>. Отложения SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup> на оборудовании снижает экономичность его работы.

Жесткость в питательной воде контролируется с целью сократить образование накипи на теплообменных поверхностях оборудования. В КМПЦ нормируется концентрация хлоридов и фторидов. Их накопление способствует интенсивной коррозии аустенитных сталей и циркониевых сплавов.

Концентрация нефтепродуктов нормируется в КМПЦ и в чистом конденсате. Наличие масла в очищаемой воде ухудшает ионный обмен, обволакивая смолы и снижая их обменную емкость. Для контура охлаждения СУЗ наряду с другими показателями (табл. 2) контролируется алюминий, т.к. каналы СУЗ имеют алюминиевую оболочку.

Нормы качества водного теплоносителя при эксплуатации, приведенные в табл. 2, учитывают:

чувствительность средств измерения показателей ВХР;

соблюдение корреляции между содержанием растворенных загрязнений в питательной воде и в воде КМПЦ (имеется в виду концентрирование примесей питательной воды за счет упаривания при прохождении теплоносителя через активную зону реактора).

## 2.2. Задачи водно-химического режима

Водно-химический режим станции обеспечивает:

1. безопасную величину отложений на поверхностях тепловыделяющих элементов и технологических каналов - не более 100 мкм за 20000 часов;
2. допустимые скорости коррозии конструкционных материалов основного пароводяного тракта (расчетную долговечность материалов оборудования);
3. высокое качество насыщенного пара, не вызывающее недопустимых отложений в проточной части турбины.

### 2.3. Допустимые отклонения ВХР

Реактор должен быть заглушен при невозможности устранения за указанное время следующих отклонений показателей ВХР.

1. Через 4 часа (время отводится для проведения повторных анализов проб) после ухудшения качества воды в КМПЦ по любому из указанных ниже показателей:

- повышение массовой концентрации хлорид-иона+фторид-иона до значения более 150 мкг/дм<sup>3</sup>;
- повышение значений pH ≥ 9,0;
- понижение значений pH ≤ 5,5;
- повышение массовой концентрации меди до значения более 50 мкг/дм<sup>3</sup>.

2. Через 4 часа (время отводится для проведения повторных анализов проб) после ухудшения качества воды в контуре СУЗ по любому из указанных показателей:

- повышение массовой концентрации хлорид-иона до значения 10 мкг/дм<sup>3</sup> и более;
- повышение значения pH ≥ 6,8;
- понижение значения pH ≤ 4,2.

3. Через 24 часа после ухудшения качества воды в контуре СУЗ по любому из указанных показателей и невозможности их приведения за указанное время в соответствии с нормами:

- повышение массовой концентрации хлорид-иона до значения более 50, но не менее 100 мкг/дм<sup>3</sup>;
- повышение значения pH в пределах: 6,2 ≤ pH ≤ 6,8;
- понижение значения pH в пределах: 4,2 ≤ pH ≤ 4,5.

Реактор должен быть переведен на пониженный уровень мощности при следующих отклонениях показателей:

1. Ухудшение качества воды КМПЦ на время более 4 часов (время отводится для проведения повторных анализов проб) по любому из указанных показателей:

- повышение массовой концентрации хлорид-иона+фторид-иона до значения более 100, но не более 150 мкг/дм<sup>3</sup>;
- повышение значения pH в пределах: 8,5 < pH < 9,0;
- понижение значения pH в пределах: 5,5 < pH < 6,0;
- повышение массовой концентрации меди до значения более 20, но не более 50 мкг/дм<sup>3</sup>.

Снизить мощность реактора со скорости 10 % в час до 50 %. Допустимое время работы реактора на данном уровне мощности с ухудшением качества воды в КМПЦ составляет 3 суток за каждые 3 месяца работы. При невозможности приведения за указанное время качества воды КМПЦ в соответствии с нормами - реактор заглушить.

2. Ухудшение качества воды КМПЦ на время не более 3 суток на каждые 3 месяца работы по значению pH:

- повышение значения pH в пределах: 8,0 < pH < 8,5;
- понижение значения pH в пределах: 6,0 < pH < 6,5.

Снизить мощности реактора до 50 %. Допустимое время работы реактора на данном уровне мощности с ухудшенным качеством воды КМПЦ составляет 3 суток за каждые 3 месяца работы. При невозможности приведения за указанное время качества воды КМПЦ в соответствии с нормами (табл. 2) - реактор заглушить.

### 2.4. Водно-химические процессы, происходящие в конденсатно-питательном тракте (КПТ)

КПТ включает в себя оборудование и трубопроводы конденсатора низкого давления (КНД), конденсатоочистки (КО), подогревателя низкого давления (КНД), деаэратора (Д) (рис. 24).

В КПТ давление создается конденсатными насосами I, II (КН), в питательном - питательным электронасосом (ПЭН).

Оборудование КПТ выполнено из аустенитных и перлитных (углеродистых) сталей, трубы КНД из сплава МНЖ (медь, никель, железо). Аустенитная сталь - это нержавеющая сталь с электро- и химически полированными внутренними поверхностями.

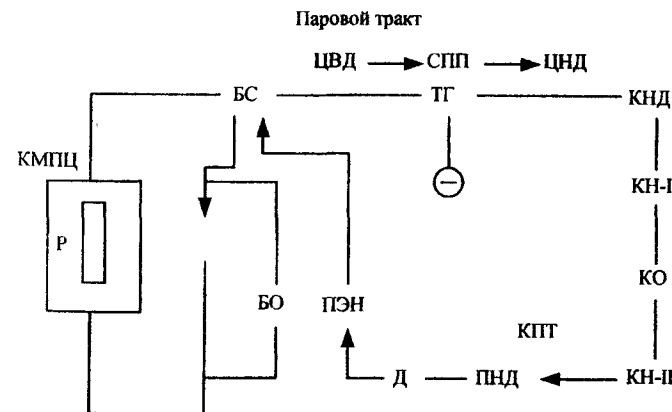
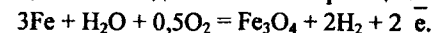


Рис. 24. Упрощенная схема АЭС

Для обеспечения высокой коррозионной стойкости металл должен находиться в пассивном состоянии. Это обеспечивается образованием на поверхности стали защитной оксидной пленки по реакции:



Образование пассивной пленки магнетита в воде высокой чистоты и содержании кислорода не более  $20 \text{ мкг/дм}^3$  возрастает с увеличением температуры, хорошо предохраняет металл от коррозии. При наличии в воде примесей  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$  идет разрушение защитной пленки и скорость коррозии под действием кислорода увеличивается, снижение pH увеличивает скорость выноса продуктов коррозии. Самые низкие скорости кислородной коррозии — при  $\text{pH}=7$ .

Для медных сплавов характерна струйная коррозия в турбулентном потоке воды и обесцинкование. Скорость коррозии МНЖ увеличивается в переходных режимах.

Основными загрязнениями при коррозии являются окислы железа и меди, в меньшем количестве присутствуют соединения цинка, кобальта, хрома. Происходит вынос продуктов коррозии в воду. Вынос зависит от материала корродирующей поверхности, содержания кислорода, температуры pH среды, скорости движения теплоносителя и других факторов.

Скорость перехода продуктов коррозии углеродистой стали в питательную воду наиболее высока в первые 2-3 недели работы блока. В процессе эксплуатации эта скорость снижается. При работе блока мощностью 10 МВт и содержании продуктов коррозии в пределах нормы в реактор в сутки поступает до 2,5 кг железа и до 0,5 кг меди. Переход продуктов коррозии в питательную воду заметно снижается при непрерывном обессоливании воды на конденсатоочистке, рассчитанной на очистку всего (100 %) потока конденсата.

При разрушении пассивной пленки на оборудовании КПП проводится пассивация с применением ингибиторов (нитрит натрия, нитрит калия и т.п.).

Конденсат турбины загрязняется, кроме продуктов коррозии, естественными примесями, поступающими в основной конденсат с присосами охлаждающей воды. Охлаждающей водой КНД является вода из прудов охладителя с  $\chi \approx 200 \text{ мкСм/см}$ , поэтому даже незначительные неплотности в трубках конденсатора влекут за собой резкий рост электропроводимости конденсата, поступающем на очистку.

На качество конденсата турбины также влияет качество потоков воды конденсатов, поступающих в КНД: добавочной и подпиточной воды, конденсата технологических конденсаторов, конденсата греющего пара ПНБ, бойлеров теплосети и выпарных аппаратов СВО, продувочной воды испарителей, сепарата СПП, конденсата ДБК. Качество питательной воды зависит не только от качества составляющих ее потоков, но и от эффективного удаления агрессивных газов ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) в КНД и в деаэраторе.

Источником поступления этих газов являются присосы азрирования воздухом охлаждающей воды в вакуумированной части конденсаторов турбин, а также радиолитические процессы в теплоносителе при прохождении его активной зоны реактора. Особенно агрессивна двуокись углерода, по-

ступающая с присосами воздуха, а также образующаяся при высокотемпературном разложении бикарбонатов.

## 2.5. Водно-химические процессы, протекающие в КМПЦ

КМПЦ - контур многократной принудительной циркуляции включает в себя оборудование и трубопроводы барабана-сепаратора (БС), главных циркуляционных насосов (ГЦН), реактора (Р) см. рис. 24. Для очистки теплоносителя КМПЦ в контур включена ионообменная байпасная установка (БО).

Трубопроводы и оборудование КМПЦ выполнены из нержавеющей стали Х18Н10Т с электро- и химически полированными внутренними поверхностями (аустенитная сталь). Центральная часть технологических каналов в пределах активной зоны изготовлена из циркониевого сплава 125.

Основным потоком, определяющим водный режим КМПЦ, является питательная вода. Аустенитные стали корродируют в 10 раз медленнее. Скорость коррозии аустенитных сталей заметно увеличивается при наличии хлоридов и фторидов. Они вызывают растрескивание стали (охрупчивание) и за короткое время могут разрушить металлоконструкцию (особенно в присутствии кислотопродов).

Разрушение оболочек ТВЭЛов ведет к поступлению продуктов распада в контур, активируя его. Расчетным путем установлено, что при содержании хлоридов  $500 \text{ мкг/дм}^3$  разрушение аустенитной стали в условиях работы КМПЦ может наступить через 100 часов работы. Кислород способствует растрескиванию стали под действием хлоридов.

Продукты коррозии конструкционных материалов, поступающие в КМПЦ с питательной водой, проходя через активную зону, концентрируются, отлагаясь затем в контуре в виде шлама и накипи. Нерастворимые продукты коррозии обычно осаждаются в застойных зонах и зонах с пониженной скоростью циркуляции.

Высокодисперсные продукты коррозии и вещества, находящиеся в коллоидном и растворенном состоянии, разносятся водой и отлагаются на поверхности основного контура циркуляции. Примерно 2 % общего количества продуктов коррозии взвешены в циркуляционной воде. Примерно 40 % поступивших в КМПЦ продуктов коррозии скапливаются в застойных зонах. Около 40-50 % в виде прочной пленки прилипает к поверхности металла и около 10-15 % удаляется системой очистки продувочной воды на КМПЦ.

Накопление активированных отложений приводит к ухудшению радиационной обстановки в помещениях КМПЦ, инициируя также подшламовую коррозию.

Достижение нормируемых показателей по хлорид-фторид-ионам, продуктам коррозии обеспечивается очисткой всего потока конденсата на КО, а также байпасной очисткой воды КМПЦ на установке СВО-1.

## 2.6. Водно-химические процессы, протекающие в паровом тракте

Паровой тракт - это трубопроводы и оборудование от барабана сепаратора до конденсатора турбины. Конструкционный материал - аустенитная сталь. Одним из основных требований, предъявляемых к водному режиму, является получение пара такого качества, которое обеспечит минимальное радиоактивное загрязнение внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов КПП и не вызывает необходимых отложений в проточной части турбины.

Загрязнение пара происходит двумя принципиально различными способами:

капельным, связанным с уносом потоком пара капель циркулирующей воды;

избирательным, связанным с растворением в паре некоторых веществ.

Степень загрязнения пара связано с влажностью пара и с количеством примесей в воде.

Так, с паром выносятся в виде гидратов радионуклиды CO, Fe, Cu, и др.; в виде растворенных веществ Na, Sr, Cs, SiO<sub>2</sub>; в виде газов криптоксенон, йод.

Радиолиз воды усиливает коррозию аустенитной нержавеющей стали вследствие образования кислорода. Коррозия усугубляется воздействием хлорид-иона. Наличие в теплоносителе водорода может вызвать водородное охрупчивание металла.

В номинальном режиме работы реактора происходит постоянный отвод газовых примесей (O<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, РБГ) из КНД основными эжекторами.

## 2.7. Нормируемые показатели качества сред вспомогательных контуров

Надежность работы любой АЭС зависит от ВХР не только основного контура, но и контуров охлаждения и очистки вспомогательных систем.

Нормирование показателей качества рабочих сред вспомогательных систем необходимо для обеспечения коррозионной стойкости конструктивных материалов контуров к сплошной местной контактной коррозии с учетом прочностных характеристик, а также экономической целесообразности.

Для оценки и прогнозирования коррозионного состояния предусматривается контроль за содержанием в рабочей среде железа.

Для рабочей среды бассейнов выдержки дополнительно устанавливается контроль за содержанием масла, которое может попадать в бассейны выдержки с обмывочными растворами с пола центрального зала при загрузке и разгрузке кассет.

Таблица 3. Нормируемые показатели качества воды вспомогательных контуров

Система	РН при 25 °С	Cl <sup>-</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	Fe <sup>2+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	Ж <sub>с</sub> , мкг-экв/дм <sup>3</sup>	χ <sub>25</sub> , мкСм/см	Al <sup>3+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	Нефтепродукты, мкг/дм <sup>3</sup>
Охлаждающая вода контура СУЗ	4,5÷6,2	50	100	-	-	100	-
Система биологической защиты (схемы «Л» и «Д»)	Н	н	к	-	к	-	-
Вода бассейна выдержки кассет и технологических каналов (БВК, БВТК)	6,5±10	200	2000	-	10	-	-
Охлаждающая вода промконтура реакторного отделения (ПКРО), теплотести, парогенератора	Н	н	к	-	н	-	г
Вода бассейна-барботера (ББ)	5,5±8,0	150	100	к	н	-	г
Система охлаждения статора генератора (СОСГ)	8,5±0,5	-	200	O <sub>2</sub> ≤400	2,0	-	200
Вода промконтура теплотести ПКТС	6,0±10,0	100	2000	-	5	-	-
Вторичный пар испарителей машзала	-	-	10	-	3	-	-
Примечание:						Na <sup>+</sup> 30	SiO <sub>2</sub> 10

к - контролируемый показатель;  
н - нормируемый показатель.



В целях поддержания нормального режима работы контуров для схем «Л» и «Д», контура СУЗ, промконтура реакторного отделения, ба на выдержки, бассейна-барботера предусмотрены специальные схемы очистки на ионообменных фильтрах - СВО-15, СВО-3, СВО-13, СВО-2. Н качества воды вспомогательных контуров приведены в табл. 3.

Допустимые отклонения от норм ВХР вспомогательных контуров пускается снижение производительности или временное отключение новки очистки воды контура СУЗ при соблюдении нормируемых показателей качества воды в контуре и при наличии автохимконтроля уд электрической проводимости воды.

Первоначальное заполнение систем: бассейнов выдержки, контур лаждения схем «Л» и «Д», промежуточных контуров производится ч конденсатом, качество которого должно соответствовать нормам, п денным в табл. 3.

Допускается превышение не более чем на 50 % от норм содержания единений меди и кислорода в системе охлаждения статора генер (СОСТГ) в течение первых четырех суток при пуске турбогенератора р ремонта, а также при нахождении в резерве.

## 2.8. Средства поддержания водно-химического режима (СВО-1, ХВО, КО)

Средства обеспечения ВХР есть совокупность установок и операций обеспечивающих поддержание нормируемых показателей качества вод теплоносителя и допустимое состояние внутренних поверхностей оборудования и трубопроводов основного контура.

К регламентным средствам обеспечения ВХР относятся:

послемонтажная подготовка оборудования основных и вспомогательных контуров;

непрерывная продувка КМПЦ при номинальных режимах СВО-1;

очистка всего потока турбинного конденсата на фильтрах конденсатной очистки;

подготовка добавочной воды на химводоочистке и на СВО-4;

очистка подпиточной воды на установках спецводоочистки (СВО-5);

дегазация турбинного конденсата и питательной воды в конденсатном деаэраторе турбины;

химический контроль, заключающийся в определении нормируемых контролируемых показателей водного теплоносителя в целях установления уровня его качества и оценки средств обеспечения водно-химического режима.

## 2.8.1. Послемонтажная и предпусковая подготовка

Послемонтажная подготовка оборудования - комплекс мероприятий, проводимых в целях удаления загрязнений, образующихся при монтаже оборудования ядерной энергетической установки (ЯЭУ). Предпусковая подготовка оборудования - комплекс операций, проводимых с целью подготовить оборудование ЯЭУ к эксплуатации и довести качество водного теплоносителя до нормируемых показателей. Послемонтажная и предпусковая подготовка оборудования производится по отдельным программам.

Согласно ПТЭ (правилам технической эксплуатации), по программе пуска комплектуется ряд операций, содержащих поэтапно:

- проверку качества монтажа систем и оборудования;
- водную промывку для удаления внутренних загрязнений как исходных, так и появившихся во время монтажа;
- гидравлические испытания систем на прочность и плотность;
- химическую очистку, предназначенную для растворения, диспергирования и удаления загрязнений с поверхности металла, не удаленных при водной промывке;
- пассивацию, т.е. воздействие на металл реагентами, после которых образуется фазовая окисная пленка, обладающая свойствами, необходимыми для защиты металла от коррозии;
- опробование оборудования в нагретом состоянии (обкатку).

В горячей обкатке участвуют системы в сборе и объединяются по функциональной необходимости. Горячая обкатка проводится по параметрам работы оборудования, близким к рабочим, и длится 100-125 часов после проведения всех операций системы АЭС к физическому пуску.

## 2.8.2. Конденсатоочистка

Источники загрязнения конденсата уже описывались выше. Основным источником загрязнения - присосы сырой воды в КНД. Присосы обусловлены более высоким давлением со стороны охлаждающей воды по сравнению с паровой частью конденсатора, работающего под вакуумом.

В нормальных условиях величина присосов составляет 0,001-0,003 % расхода конденсирующегося пара, повышаясь до 0,01-0,02 % при наличии микротрещин в конденсаторных трубках и примерно 0,2 % при разрыве трубки. Величина присосов фиксируется приборами на щите КО.

Для уменьшения поступления загрязняющих веществ в питательную воду с конденсатом турбин он подвергается 100 %-ной очистке на ионообменных фильтрах. Конденсатоочистка предназначена для непрерывной очистки всего потока турбинного конденсата, включая конденсат регенеративных подогревателей низкого давления.

Оборудование конденсатоочистки показано на рис. 25.

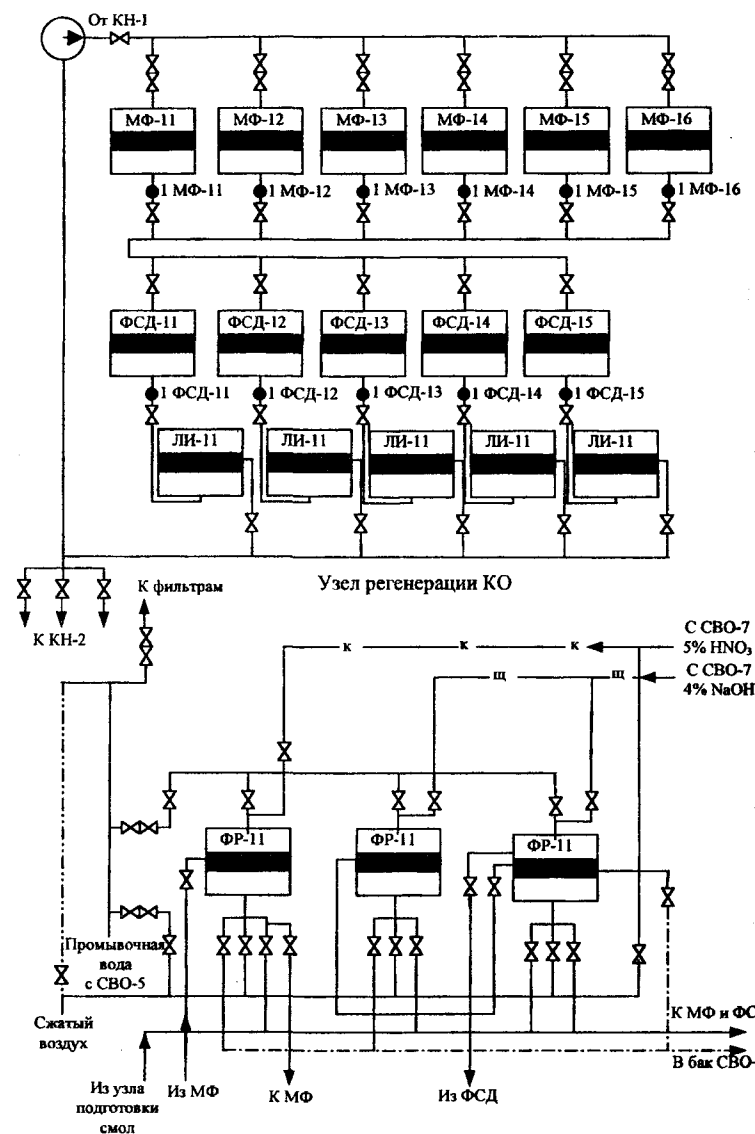


Рис. 25. Принципиальная схема конденсатоочистки (на примере КО-I)

На одноконтурной АЭС с РБМК-100 применяется блочная очистная тановка турбинного конденсата для каждой турбины.

Конденсатоочистка состоит из механических (катионитовых) фильтров и фильтров смешанного действия. На одной турбине установка конденсатоочистки включает в себя 6 механических, работающих параллельно, и 5 фильтров смешанного действия (ФСД), также включенных параллельно.

Катионитовый фильтр выполняет роль механического, загружен катионитом типа КУ-2-8 чс. В нем происходит очистка конденсата от продуктов коррозии  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , от солей жесткости  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и частично  $\text{Na}^+$ . После механических фильтров вода поступает на ФСД. В ФСД реализуется ионный обмен с такой глубиной, которая не может быть достигнута в схемах раздельного действия. Здесь происходит очистка конденсата от катионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и анионов  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ . ФСД конструктивно сравнительно просты и надежны в эксплуатации, обладают большой единичной производительностью. Конструкция ФСД упрощена за счет проведения выносной регенерации.

После каждого из ФСД имеются фильтры-ловушки ионитов, предназначенные для улавливания смолы при нарушении дренажной системы ФСД. Ловушки предотвращают попадание смолы в контур.

В состав конденсатоочистки входят три фильтра-регенератора для регенерации смол ФСД, а также для перегрузки и подготовки ионообменных смол.

Фильтры обычно работают в четырех режимах:

- 1) фильтрация (очистка воды);
- 2) взрыхление - подача взрыхляющей воды в фильтр вверх с целью ликвидации уплотнений шихты и загрязнения ее продуктами коррозии;
- 3) регенерация - восстановление обменной емкости истощенного ионита (пропуск кислоты или щелочи через катионит или анионит);
- 4) отмывка - отмывка проводится промывочной водой с СВО-6 с целью отмыть катионит и анионит от продуктов регенерации и продуктов кислоты.

### 2.8.3. Технология регенерации

Механический фильтр отключается на регенерацию при электропроводимости ( $\chi$ )  $\geq 0,3$  мкСм/см,  $\text{Na}^+ \geq 3$  мкг/дм<sup>3</sup>. Для этого смолу взрыхляют воздухом (рис. 25), перегружают из механического фильтра гидротранспортом в фильтр-регенератор и пропускают раствор 5%-ной азотной кислоты, подавая ее в фильтр сверху. Регенерационный раствор при этом через нижний дренаж направляют в бак трапных вод на ВСРО. После регенерации проводится немедленная отмывка катионита отмывочной водой до  $\chi = 0,5$  мкСм/см. Затем катионит гидротранспортом (вода со сжатым воздухом) переправляется в мехфильтр. Доотмывка проводится перед включением фильтра в работу до  $\chi \leq 0,1$  мкСм/см,  $\text{Na}^+ = 3$  мкг/дм<sup>3</sup>.

ФСД отключается на регенерацию при электропроводимости более  $\text{мкСм/см}$  и увеличении концентрации  $\text{СГ} > 2 \text{ мг/дм}^3$ . Перед регенерацией ФСД также взрыхляется промывочной водой с СВО-6 со сбросом «грязные» баки СВО-6. Регенерация проводится в фильтре-регенераторе, где смола делится на катионит и анионит. Промывочная вода для этого дается ровным потоком без колебаний снизу вверх со скоростью  $5 \text{ м/ч}$ , чтобы смола находилась в равновесном состоянии. При этом катионит (темные зерна) опускается вниз, а анионит поднимается вверх из-за разницы удельных весов. Граница раздела должна быть четкой.

Затем промывочная вода отключается и подаются регенерационные растворы - для катионита 5 %-ная азотная кислота, для анионита 4 %-ная щелочь  $\text{NaOH}$ .

Регенерацию можно проводить как отдельную в разных ФР, так и совместную в одном ФР. Остатки регенерационных растворов удаляются дренажом БТВ.

После регенерации проводят отмывку ионов аналогично МФ. После этого перемешивание отрегенированных смол производится воздухом, после чего фильтр готов к работе. Первые порции воды при подключении фильтра в работу сбрасываются.

При совместной регенерации кислота и щелочь подаются одновременно и отводятся через средний дренаж. Отмывка проводится снизу вверх: анионита - снизу, катионита - сверху, и на границе раздела смол отмывочная вода выводится в дренаж.

При отдельной регенерации катионит и анионит после разделения загружаются в разные фильтры для регенерации и частичной отмывки. Затем их снова объединяют, перемешивают и отмывают. Такая регенерация имеет свои преимущества - сокращение отмывочных вод, исключение перекрестного загрязнения смол.

От правильно организованной регенерации зависит работа фильтров. Наиболее ответственная операция - разделение ионов в ФСД. При удовлетворительном разделении смол наблюдаются следующие отрицательные явления: уменьшение емкости слоя; потеря регенерационных реагентов, так как захваченный анионитом Н-катионит нейтрализует часть щелочи; преждевременный пропуск иона  $\text{Na}^+$  при работе ФСД.

#### 2.8.4. Непрерывная продувка КМПЦ (СВО-1)

Для поддержания качества воды КМПЦ в пределах значений, нормированных ГОСТ 26841-86, проектом предусмотрен вывод части воды на очистку. Очистка продувочной воды производится на установке байпасной очистки КМПЦ (СВО-1) без снижения давления при температуре не выше  $60^\circ\text{C}$ .

Установка СВО-1 рассчитана на производительность  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Та же производительность обусловлена техническими характеристиками оборудо-

вания и необходимостью поддержания нормируемых показателей качества воды в КМПЦ в пуско-наладочных и пусковых режимах. В стационарных режимах производительность установки может быть меньше.

Продувочная вода контура КМПЦ с напорного коллектора ГЦН поступает сначала в систему продувки и расхолаживания (СПиР) для охлаждения с  $285^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$ , т.к. ионообменные смолы, используемые для очистки, не допускают увеличения температуры выше  $60^\circ\text{C}$ . СПиР состоит из регенератора и доохладителя (рис. 26).

Регенератор - это шесть последовательно соединенных теплообменников, прямым потоком для которых является охлаждаемая с целью очистки вода, обратным - очищенная после СВО-1.

Направление движения потоков - встречное. Продувочная вода сначала поступает в трубный пучок одной из секций, глухо отделенной от другой. Далее охлаждаемая вода поступает в трубный пучок доохладителя (ПР-Д1, 2), охлаждающей водой для которого является вода промконтура. Из доохладителя продувочная вода поступает на фильтры установки СВО-1. Установка СВО-1 состоит из одного механического фильтра С3101 для очистки от грубомелкодисперсных примесей и органических загрязнений, двух ФСД (С3102, С3103) для удаления растворенных примесей и фильтра-ловушки ионов для предотвращения попадания ионов в контур в случае выхода из строя нижних распределительных устройств фильтров.

Механические фильтры загружаются катионитом, ФСД - смесью катионита и анионита. Загрузка катионита и анионита (КУ-2-8чс и АВ-17-8чс или их аналоги) производится в соотношении от 1:1 до 1:2. Продолжительность работы ФСД рассчитывается по удельной нагрузке ионов ( $80\,000$  объемов обрабатываемой воды на объем ионов).

Ионообменные материалы, используемые в фильтрах установки СВО-1, должны соответствовать ГОСТ 26083-84.

Ионитные установки СВО-1 регенерации не подлежат. При коэффициенте очистки по удельной активности менее 10 иониты выгружают гидротранспортом на ХЖТО.

В режиме нормальной эксплуатации очистка продувочной воды на СВО-1 производится по полной схеме МФ-ФСД-ФЛ. Обязка фильтров позволяет включение установки по различным схемам (рис. 26). Очищенная вода после СВО-1 с температурой  $30-40^\circ\text{C}$  поступает снова в регенератор СПиР, но уже в межтрубное пространство секции регенератора, где нагревается циркулирующей в трубном пучке прямой продувочной водой ( $t=284^\circ\text{C}$ ) до температуры  $269^\circ\text{C}$  и подается в барабан-сепаратор.

При этом вода после СПиР возвращается не непосредственно в барабаны-сепараторы, а в трубопроводы питательной воды через смесители или так называемые «тройники СПиР».

Производительность установки в переходных режимах должна быть максимальной. Кроме того, для вывода продуктов коррозии, накопленных в

стояночных режимах, прочих примесей во взвешенном и растворенном состоянии, используется установка очистки дезактивирующих раст (СВО-12). В этом случае общая величина продувки КМПЦ может достигать 700 м<sup>3</sup>/ч.

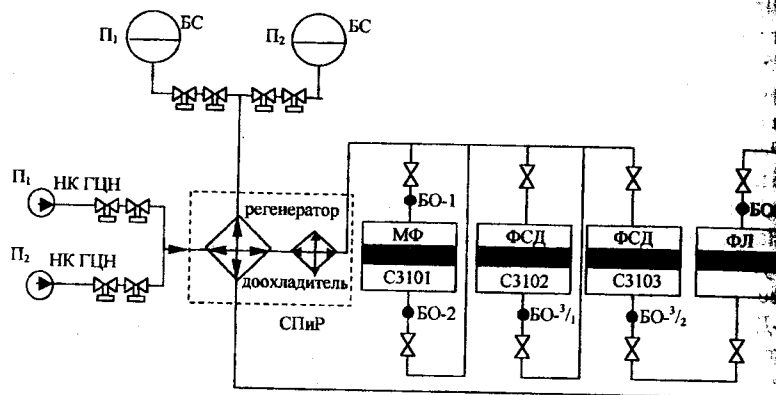


Рис. 26. Принципиальная схема СВО-1:

СПиР – система продувки и расхолаживания; НК ГЦН – напорный коллектор ГЦН; БС – барабан-сепаратор двух половин (П<sub>1</sub>, П<sub>2</sub>); • – точки контроля работы установ

### 2.8.5. Получение добавочной воды. Химводоочистка

Как уже отмечалось выше химводоочистка на АЭС является одним из средств поддержания водно-химического режима станции и служит для первоначального заполнения КМПЦ, КПТ, а также для восполнения неизбежных потерь пара и конденсата АЭС.

Химводоочистка состоит из установки предварительной очистки воды, установки трехступенчатого обессоливания, расположенных вне зоны стояночного режима, на ОВК.

Химические реагенты, используемые в технологическом процессе на станциях ХВО (СВО), подаются со склада химреагентов по эстакаде трубопроводов.

Установка предварительной очистки включает:

- осветлитель (I ступень);
- механические фильтры (II ступень).

Первая ступень предочистки предназначена для снижения временной жесткости, общего солесодержания воды коагуляцией с применением сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$  (глинозем), снижения окисляемости сырой воды на 50 %.

Вторая ступень предочистки предназначена для очистки коагулированной воды от тонкодисперсной взвеси. Для получения обессоленной воды используется сырая вода из пруда-охладителя. Грубодисперсные приме

(взвешенные вещества), находящиеся в природной воде, удаляются путем естественного осаждения в осветлителях и фильтрованием в механических фильтрах.

Коллоидные же примеси не удаляются из воды путем естественного осаждения и фильтрования из-за очень малых размеров этих частиц (1÷100 мкм). Для удаления этих примесей необходима предварительная коагуляция.

Коагуляция – объединение мелких частиц в дисперсных системах в более крупные под влиянием сил сцепления. Этот процесс ведет к выпадению из коллоидного раствора хлопьевидного осадка, в данном случае гидрооксида алюминия  $Al(OH)_3$ . На процесс роста хлопьев (флокуляции) влияют такие факторы, как температура, величина pH, солевой состав, наличие некоторых органических примесей.

Коагулированная вода из осветлителя свободно сливается в баки коагулированной воды, откуда насосами подается на механические фильтры.

### 2.8.6. Установка трехступенчатого обессоливания (краткое описание)

Осветленная вода после механических фильтров предварительной очистки поступает на катионитовые фильтры I ступени (см. схему рис. 27) ФК1-081÷084, где происходит удаление из воды всех катионов жесткости ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ) и  $Na^+$  с заменой их на ионы водорода  $H^+$ , содержащиеся в катионите. В результате обмена в фильтрате появляются свободные минеральные (сильные) кислоты (серная, соляная, азотная), а также в недиссоциированном виде кремниевая и угольная кислоты.

В анионитных фильтрах I ступени (ФА1-101÷104), куда далее поступает вода, происходит замена анионов сильных кислот ( $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ) на анионы гидроксила ( $OH^-$ ), содержащиеся в анионите. Перешедшие в раствор в результате обмена, ионы  $H^+$  и  $OH^-$  связываются в молекулы воды.

Вода направляется в декарбонизатор, где происходит удаление из обрабатываемой воды растворенной угольной кислоты. В результате декарбонизации создаются благоприятные условия для работы анионитных фильтров II ступени.

На катионитных фильтрах II ступени (ФКП-161÷162), на которые обрабатываемая вода подается из баков декарбонизационной воды БДВ-131÷132 насосами НДВ-151÷153, происходит замена катионов жесткости, проскочивших в фильтрат после I ступени на ионы  $H^+$ , содержащиеся в катионите.

Далее вода поступает на анионитные фильтры II ступени ФАП-171÷172, где происходит сорбция анионов кремниевой кислоты и остатков угольной кислоты. В результате обмена происходит полное обессоливание воды.

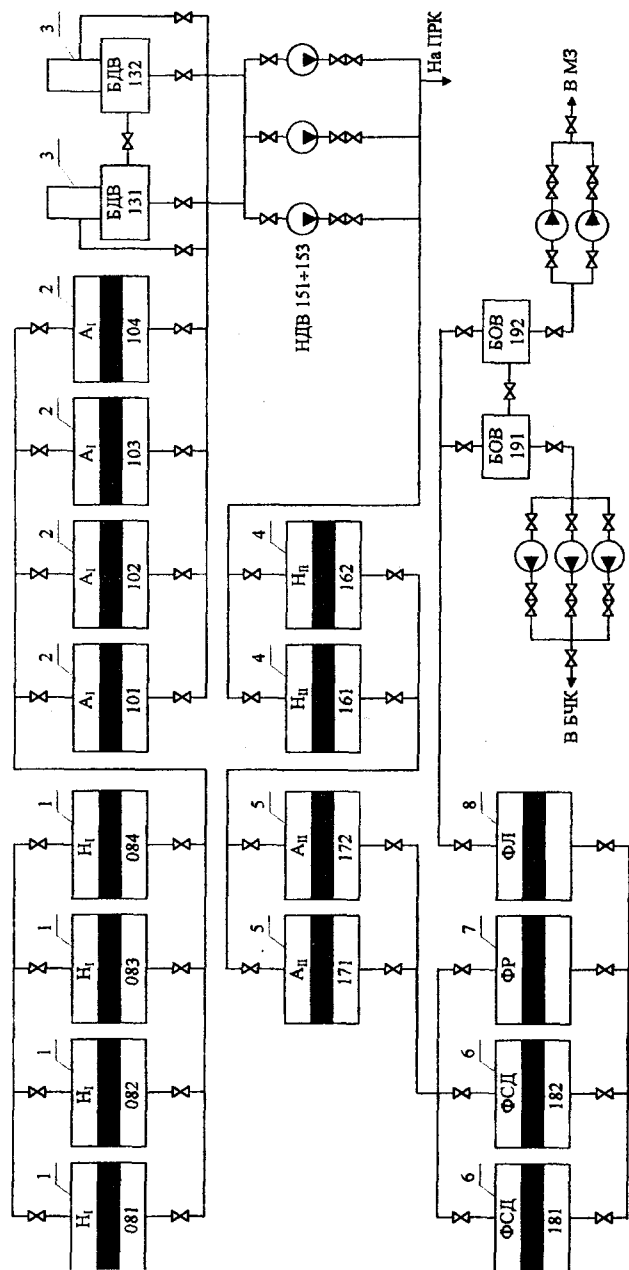


Рис. 27. Установка трехступенчатого обессоливания (ХВО):  
1 – Н-катионитный фильтр I ступени; 2 – анионитный фильтр I ступени; 3 – декарбонизатор; 4 – Н-катионитный фильтр II ступени; 5 – анионитный фильтр II ступени; 6 – фильтр смешанного действия; 7 – фильтр-регенератор; 8 – ловушка ионов

III ступень обессоливания – фильтры смешанного действия ФСД-181÷182, где происходит полное и более глубокое обессоливание и обескремнивание воды.

Химобессоленная вода после ФСД через фильтр-ловушку ионов, где происходит улавливание ионов при повреждении НДРУ, подается в баки обессоленной воды БОВ-191÷192, откуда насосами обессоленной воды НОВ-201÷203 подается в БЧК для заполнения и подпитки контура, а насосами НОВ-204÷205 подается в машзал для подпитки системы охлаждения статора турбогенераторов и на первоначальное заполнение контуров. Показатели качества обессоленной воды ХВО представлены в табл. 4.

Таблица 4. Нормы качества воды ХВО

Показатели	Коагулированная вода	Декарбонизованная вода	Химобессоленная вода
pH, ед.	6,5÷7,0	-	5,5÷7,5
Удельная электропроводимость, мкСм/см	Н/н	-	0,8
Прозрачность, %	95÷98	-	-
Окисляемость, %	Снижение на 50÷80 %	-	-
Щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup>	0,5÷0,7	0,05	-
Углекислота, мг/дм <sup>3</sup>	-	5÷10	-
Na <sup>+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	-	-	10
Fe <sup>3+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	100÷150	-	40
SiO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	-	-	30
Cl <sup>-</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	-	-	20
Нефтепродукты, мкг/дм <sup>3</sup>	-	-	100

## 2.9. Краткие сведения о переходных режимах блока

Переходным периодом работы энергоблока после монтажа является период работы энергоблока от начала повышения температуры воды КМПС свыше 100 °С до освоения мощности 350 МВт на каждой турбине.

Переходным периодом работы энергоблока после ремонта является период работы энергоблока от начала повышения температуры воды КМПС свыше 100 °С до достижения номинальных параметров работы (температура, давление).

ВРХЛ АЭС контролирует качество теплоносителя на 4 этапах переходного периода:

стояночный режим (реактор раскочленен);

разогрев до 100 °С;

перед выходом на МКУ (минимальный контролируемый уровень);

подъем мощности реактора.

Химконтроль за качеством теплоносителя, точки контроля и периодичность производится лабораторией согласно «Регламенту химического кон-

троля водно-химического режима блока Смоленской АЭС в переходных режимах».

Расположенным считается реактор, находящийся в подкритическом состоянии при температуре воды контура МПЦ не выше 80 °С и температуре графитовой кладки реактора не выше 100 °С.

За минимально контролируемый уровень (МКУ) принимается такой минимальный уровень нейтральной мощности реактора, при котором возможна стабильная работа автоматического регулятора от боковых ионизационных камер (АРБ), но не выше 160 МВт (тепл.) (~55 % ном.) по приборам, отградуированным по тепловому балансу. Температура воды в КМПЦ перед началом пусковых операций должна составлять 70-80 °С. Первый этап пуска - профилирование расходов технологических каналов (ТК) для поддержания коэффициента запаса до кризиса теплообмена в необходимых пределах.

При этом включаются по 2 или 3 ГЦН в каждой насосной СПиР для поддержания температуры воды КМПЦ на время профилирования не более 90-95 °С. Проводится проверка защит и блокировок по реактору и турбогенераторам.

После окончания этих работ при нормальном качестве воды в КМПЦ (табл. 5), включении всех необходимых вспомогательных систем в работу при уровнях воды в БС и деаэраторах не ниже минимально допустимых реактор выводится на минимально контролируемый уровень мощности МКУ 10-20 МВт (тепл.). Начинается разогрев теплом, выделяемым в реакторе (свыше 100 °С). Допустимая скорость разогрева составляет 10 °С в час, обусловлена температурной разностью между трактами ТК и ближайшими ребрами жесткости металлоконструкции реактора.

По мере роста давления в КМПЦ и появлении пара производится подогрев воды в деаэраторах подачей пара в них. После прогрева деаэраторы выводятся на режим, вода из них подается на испарители. Вторичный пар подается на эжекторы турбин для подъема вакуума в конденсаторах.

При достижении вакуума в конденсаторах ТГ не более 600 мм ртутного столба после прогрева паропроводов производится толчок турбогенератора (на номинальных параметрах), прогрев его и набор оборотов до холостого хода. Через 15 мин работы на холостом ходу ТГ включают в сеть при нагрузке не менее 150 МВт. Нагрузку ТГ ведут с скоростью 2 МВт/мин при параллельном подъеме мощности реактора и с постоянным давлением в КМПЦ 69-70 кгс/см<sup>2</sup>.

Подъем мощности ведут в три ступени:

**I ступень** - 700 МВт. Время подъема - не менее 30 мин. Продолжительность работы 30 мин.

**II ступень** - 50 % от уровня мощности перед остановом. Продолжительность работы 5 час.

**III ступень** - 70 % от мощности перед остановом (5 часов).

Дальнейший подъем мощности - 150 МВт (тепл.) в течение 3 часов работы.

Таблица 5. Показатели качества теплоносителя реактора РБМК-1000 в переходный период работы энергоблока

Показатель	Вода КМПЦ	Конденсат после коденсатоочистки	Питательная вода	Вода заполнения
Удельная электрическая проводимость при 25 °С, мкСм/см, не более	2,0	0,5	1,0	1,5
Жесткость, мкг-экв/дм <sup>3</sup>	50	1,0	10	3,0
Массовая концентрация кремниевой кислоты, мкг/дм <sup>3</sup>	2000	50	100	50
Массовая концентрация железа, мкг/дм <sup>3</sup>	500	20	50	50
Массовая концентрация меди, мкг/дм <sup>3</sup>	50	5	5	20
Массовая концентрация хлорид-иона+фторид-иона, мкг/дм <sup>3</sup>	200	10	10	2,0
Массовая концентрация нефтепродуктов, мкг/дм <sup>3</sup>	200	-	200	200
рН при 25 °С	5,5÷8,5	6,5÷7,5	5,5÷7,8	5,5÷7,2

В стояночном режиме работы после разгерметизации КМПЦ нормируемыми показателями качества воды КМПЦ являются рН и удельная электропроводность, значения которых должны быть от 5,5 до 7,2 и не более 1,5 мкСм/см.

Нормируемыми показателями качества воды КМПЦ и питательной воды в переходные режимы являются: рН при 25 °С, удельная электропроводность при 25 °С, жесткость, массовая концентрация меди, массовая концентрация хлорид-иона+фторид-иона для КМПЦ, массовая концентрация нефтепродуктов; контролируемыми показателями являются массовая концентрация кремниевой кислоты и массовая концентрация железа.

### 2.9.1. Аварийные режимы энергоблока

В процессе эксплуатации энергоблока могут возникать отказы оборудования и различные отклонения от нормального режима. По важности отказы основного оборудования можно разделить на отказы, требующие немедленного останова энергоблока, и отказы, требующие перехода на пониженный уровень мощности.

В соответствии с этим реактор имеет аварийные защиты (обесточивание стержней БАЗ и частичное или полное глушение реактора). При срабатывании аварийной защиты можно выделить 4 основных режима:

АЗ-III - отключение 2-ТГ;

АЗ-I - отключение ГЦН;

АЗ-II - отключение одного из двух ТГ;

АЗ-V - появление условий для срабатывания АЗ-I, II, III и невозможности их осуществления из-за неисправной БАЗ (быстродействующей аварийной защиты).

## 2.9.2. Система планово-предупредительного ремонта (ППР)

Для обеспечения нормальной работоспособности блока необходимо проводить ППР. Нормы продолжительности капитального и текущего ремонта оборудования определены на основе опыта ремонта действующих АЭС. Средний ремонт РБМК-1000 проводят 1 раз в год. Капитальный ремонт турбины и реактора проводят 1 раз в 4 года.

Система ППР позволяет более рационально использовать станочное вспомогательное оборудование ремонтных организаций. Внедрение системы ППР осуществляется в несколько этапов.

Первый этап - составление графика проведения регламентных работ, текущих и капитальных ремонтов, подготовка необходимой документации, ЗИП, инструмента, укомплектование ремонтного персонала.

Второй этап предусматривает внедрение агрегатного метода ремонта построенного на принципе полной замены оборудования, подлежащего ремонту.

Ремонт всего оборудования осуществляется по сетевым графикам, составленным на основе учета дефектов в работе оборудования, выявленных в процессе эксплуатации. В связи с отсутствием резервов мощности в энергосистеме допускается изменение сроков проведения ППР как в ту, так и в другую сторону.

Основной особенностью ремонта является необходимость предварительной дезактивации оборудования, которая проводится по специальным программам, составленным ЦНИО совместно с эксплуатационными цехами.

## 2.10. Влияние отдельных примесей на водно-химический режим работы оборудования

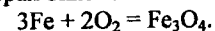
### 2.10.1. Кислород

Основная роль кислорода при коррозии теплосилового оборудования сводится к деполяризации катодных участков.

Скорость кислородной деполяризации зависит от содержания кислорода и интенсивности перемешивания воды. С увеличением этих факторов скорость деполяризации возрастает, что связано с увеличением скорости доставки кислорода к корродирующей поверхности.

В процессе коррозии углеродистой стали в условиях работы теплоэнергетического оборудования кислород играет двойную роль. При низком содержании кислорода (примерно 20 мкг/дм<sup>3</sup>) коррозия не наблюдается независимо от солевого состава и температуры воды. При температуре воды около 20 °С и повышенном содержании кислорода скорость коррозии возрастает и становится максимальной при содержании кислорода, равном 8-10 мг/дм<sup>3</sup>. При дальнейшем росте концентрации кислорода скорость коррозии снижается.

Пленка продуктов коррозии, образующихся под воздействием кислорода, состоит из нескольких слоев: на поверхности металла - плотная пленка магнетита (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), несколько предохраняющая металл от коррозии, далее рыхлая пленка, имеющая низкие защитные свойства. При интенсивном подводе кислорода к поверхности металла, например, при высокой скорости циркуляции кислородсодержащего теплоносителя, окисление железа происходит непосредственно в порах окисной пленки.



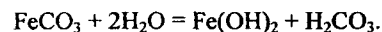
Образующийся при этом магнетит закупоривает поры и скорость коррозии снижается.

Самые низкие скорости коррозии зафиксированы при содержании кислорода в воде 40 мг/дм<sup>3</sup>. Такая концентрация кислорода в воде получается за счет разложения перекиси водорода H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> на поверхности металла. (Перекись водорода образуется при радиолизе воды). Ионы железа являются катализаторами разложения H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, следовательно, высокая концентрация кислорода будет возникать в дефектах окисной пленки. При концентрации перекиси водорода 40 мкг/л и полном ее разложении локальная концентрация кислорода может достичь 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, кислород в процессе коррозии углеродистой стали играет роль как агрессивного агента, так и пассиватора в зависимости от его концентрации и солевого состава воды.

### 2.10.2. Углекислый газ

Влияние углекислого газа на коррозию углеродистой стали сводится только к понижению pH и повышению содержания ионов водорода. Углекислый газ является слабым электролитом. Тем не менее низкие значения pH, создаваемые углекислотой, в коррозионном отношении более опасны, чем те же значения pH, создаваемые минеральными кислотами (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Минеральные кислоты в процессе коррозии образуют с железом устойчивые соединения и при этом «срабатываются».



Углекислый газ в процессе коррозии практически не расходуется. Большая агрессивность углекислого газа проявляется при повышенной температуре на участке от деаэраторов до барабанов-сепараторов в основных местах с повышенной скоростью воды (регулирующих и обратных клапанах, трубных пучках подогревателей и т.д.). На АЭС с турбинами, работающими на насыщенном паре, коррозионно-эрозионные разрушения происходят на роторе и статоре турбин, корпусах обратных и регулирующих клапанов отборов, дренажных паропроводов. Объясняют это явление срыв защитной окисной пленки с металла под действием уголекислоты в местах большой скорости среды.

### 2.10.3. Хлориды

Влияние хлоридов на коррозию хромоникелевых нержавеющих сталей основано на разрушении защитной пассивной пленки, которая образуется на поверхности металла, по-видимому, вследствие образования растворимого хлорида хрома. Разрушение защитной окисной пленки происходит по границам кристаллов. Это приводит к коррозионному растрескиванию. Процессу способствует кислород, который играет роль деполаризатора.

Хлориды являются стимуляторами кислородной коррозии углеродистых сталей, способствуют разрушению защитных окисных пленок. Ионы хлора способны адсорбироваться окисными пленками и вытеснять из них кислород. В результате в точках адсорбции получается растворимое хлоридное железо, металл при этом оголяется и подвергается дальнейшей коррозии.

### 2.10.4. Солевой состав воды

Наличие в воде хлоридов и сульфатов препятствует образованию пассивной окисной пленки, что приводит к увеличению скорости коррозии. Появление в обессоленной воде хлоридов или сульфатов до концентрации 0,6 мг/л повышает скорость коррозии в 40 раз даже в деаэрированной воде.

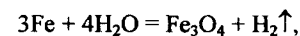
Присутствие фосфатов, хроматов, нитритов способствует пассивации (созданию защитной пленки) и снижению скорости коррозии.

Нитрит натрия в смеси с аммиаком (возможен и другой состав ингибиторов) используется для пассивации и консервации теплоэнергетического оборудования из углеродистой стали после проведения химических промывок и в период длительной остановки оборудования.

### 2.10.5. Значение pH

Влияние пониженных значений pH на скорость коррозии обусловлено водородной деполаризацией. Со снижением значения pH скорость коррозии

резко возрастает, коррозия носит равномерный характер. Водород, выделившийся по реакции:



может растворяться в металле.

Молекулярный водород накапливается в микропорах, в результате чего в них развивается высокое давление (до нескольких тысяч мегапаскалей). Возникают высокие растягивающие напряжения, приводящие к разрушению металла в результате водородной хрупкости.

При химических промывках поддерживается низкое значение pH (менее 3). Защитная пленка при этом полностью удаляется. Окисную пленку восстанавливают аммиачным раствором нитрита натрия при pH раствора, равном 10-11 ед.

Высокое значение pH может быть достигнуто добавлением в воду щелочи или аммиака. Следует иметь в виду при корректировке pH, что высокое значение pH несовместимо с использованием в качестве конструкционных материалов в ядерном реакторе циркониевых сплавов из-за их интенсивной коррозии.

### 2.10.6. Температура

Температура оказывает большое влияние на скорости коррозионных процессов. Повышение температуры ускоряет процессы коррозии и пассивации, кроме того с ростом температуры увеличивается термическая деформация.

В насыщенном паре при температуре 280 °C увеличение содержания кислорода до 40 мг/дм<sup>3</sup> не оказывает практически влияния на коррозию углеродистой стали. Повышение температуры среды увеличивает скорость коррозии под действием уголекислоты. Коррозия нержавеющей стали под действием хлорид-иона при температуре ниже 100 °C не наблюдается. При увеличении температуры аустенитные нержавеющие стали подвергаются хлоридному растрескиванию уже при содержании хлоридов около 500 мкг/дм<sup>3</sup>.

### 2.10.7. Скорость среды

Скорость деаэрированной воды не влияет на коррозию углеродистой стали. С увеличением скорости движения воды, насыщенной воздухом, интенсивность коррозии проходит через максимум при скорости воды 1-3 м/с. При дальнейшем увеличении скорости интенсивность коррозии снижается. Оптимальной является скорость 3-5 м/с. Объясняется данное явление окислением Fe<sup>2+</sup> до Fe<sup>3+</sup> в порах окисной пленки за счет более интенсивного подвода кислорода при циркуляции. Образующийся при этом магнетит закупоривает поры, и скорость коррозии снижается.

Коррозионно-эрозионный износ трубок МНЖ конденсаторов турбин является результатом повреждения защитной пленки вследствие высокой тур-



булентности потока воды. Износ трубок усиливает наличие в охлаждающей воде воздушных пузырьков и абразивных частиц.

### 2.10.8. Механические и термические деформации

Наличие в металле напряжений, возникающих вследствие механических или термических деформаций, является неременным условием коррозии под напряжением. Напряжение может быть приложенным или остаточным, но обязательно растягивающим.

Даже незначительное растягивающее напряжение вызывает коррозионное растрескивание аустенитных сталей. По-видимому, практически отсутствует предельное напряжение, ниже которого разрушение не происходит. В то же время полное отсутствие напряжения не приводит к коррозионному растрескиванию.

Остаточное напряжение в металле появляется при сварке, поэтому материал сварного шва корродирует в 1,5-2 раза быстрее, чем основной металл. Для снятия остаточного напряжения стали подвергают термической обработке, в частности отжигу.

### 2.10.9. Ионизирующее излучение

Как уже отмечалось ранее при облучении воды происходит ее радиолиз. Присутствие в воде кислорода интенсифицирует процесс радиолиза, продукты которого увеличивают скорость коррозии материалов. Увеличение скорости коррозии наблюдается в начальный период, первые 100 часов работы, в дальнейшем это влияние становится малозаметным.

При наличии в воде азота и свободного кислорода под влиянием нейтронного потока образуется азотная кислота, вследствие чего скорость коррозии увеличивается. В то же время присутствие в воде азота и свободного водорода приводит под облучением к образованию аммиака и снижению скорости коррозии.

Таким образом, необходимое увеличение скорости коррозии металла под действием ионизирующего излучения вызывается продуктами радиолиза. В то же время излучение влияет на структуру защитной окисной пленки, вызывая в ней образование различных дефектов, что способствует развитию коррозии.

### 2.11. Образование накипи и отложений на теплопередающих поверхностях

Отложения на теплопередающих поверхностях реакторов, в частности на оболочках ТВЭЛов, приводят к уменьшению коэффициента теплоотдачи и вследствие этого к повышению температуры оболочек, что может

вызвать выход ТВЭЛа из строя. Образование отложений находится в прямой зависимости от выноса продуктов коррозии, т.е. от поступления в реактор с питательной водой загрязняющих веществ.

Причиной образования отложений являются физико-химические процессы, протекающие вблизи теплопередающей поверхности, в результате которых образуются твердые частицы, способные отлагаться и удерживаться теплопередающей поверхностью.

#### 2.11.1. Химический состав отложений

Определяется материалом как основного контура циркуляции (КМПЦ), так и (даже в большей степени) конденсатно-питательного тракта. Основную массу отложений (более 70 %) составляют окислы железа в виде  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , далее следуют окислы никеля, хрома, меди. Наиболее интенсивный рост отложений происходит в первые 2000 часов работы реактора после пуска. Это объясняется значительным обогащением воды продуктами коррозии, отсутствием на поверхностях оборудования высокотемпературных окисных пленок. В это время происходит усиленная коррозия металла оборудования. Проведенные исследования показали сходство по составу циркулирующих в теплоносителе и находящихся в отложениях на ТВЭЛах продуктов коррозии. Отсюда следует, что происходит непрерывный массообмен и массоперенос активных продуктов коррозии с ТВЭЛов и осаждение их на поверхностях оборудования. Примеси, находящиеся в воде при различных физико-химических процессах, ведут себя по-разному. Одни вещества, выделяясь из раствора в виде твердой фазы, кристаллизуются на горячих поверхностях нагрева, другие - на холодных (охлаждаемых снаружи) поверхностях охлаждения, образуя в том и в другом случае прочную и плотную накипь, треть оставшихся выпадает в толще воды в виде взвешенных шламовых частиц. Если кристаллизация солей происходит непосредственно на поверхностях нагрева (или охлаждения) и при этом образуются твердые отложения, то такое явление называют первичным процессом накипобразования. Вторичный процесс накипобразования характеризуется тем, что выпавшие вначале взвешенные частицы охлаждаются и затем образуют прочно сцепленные с поверхностью нагрева вторичные отложения.

Продукты коррозии, отложившиеся в активной зоне реактора, активируются в нейтронном поле. При последующем выносе радиоактивных продуктов коррозии и распространении их по контуру циркуляции появляются источники радиоактивного излучения за пределами активной зоны, действие которых на прекращается и после остановки реактора. Радиационная обстановка на оборудовании основного контура циркуляции после остановки реактора в основном (на 90 %) обусловлена наличием  $\text{Co}^{60}$ .

Переход продуктов коррозии в циркуляционную воду происходит в результате отслаивания коррозионной пленки или смыва продуктов коррозии

при изменении теплового и гидравлического режимов, в частности при пуске и останове реактора.

Во время работы реактора основным источником активности вне активной зоны являются короткоживущие нуклиды, образующиеся за счет активации как самой воды, так и всех примесей, циркулирующих вместе с водой через активную зону.

Кроме того, источником активности могут быть продукты деления урана (йод, радиоактивные благородные газы).

### 2.11.2. Шлам

Отложение продуктов коррозии на поверхности контура вне активной зоны может происходить в результате механического оседания крупных частиц в застойных зонах с пониженной скоростью циркуляции, агрегации (прилипания) частиц к поверхности контура, адсорбции (поглощения) продуктов коррозии поверхностью контура, образования кристаллов при повышении концентрации растворимых продуктов коррозии, коагуляции продуктов коррозии в потоке теплоносителя и их последующего осаждения.

Механическое отстаивание крупнодисперсных частиц в застойных зонах приводит к образованию локальных скоплений шлама (ловушки шлама) высокой активности. Такими точками являются торцовые участки сепараторов и коллекторов ГЦН, концевые участки раздающих групповых коллекторов ГЦН и особенно петли нижних водяных коммуникаций РБМК, в которых после остановки реактора «сползает» шлам из технологических каналов.

Адгезия - типичный процесс взаимодействия взвешенных частиц и продуктов коррозии с поверхностью контура, обусловленный действием молекулярных сил притяжения.

Мелкие частицы, прилипшие к поверхности контура, способны соскочить с поверхности, превращаясь в частицы большего размера, которые при некоторой скорости воды отрываются и уносятся. Таким образом, процесс адгезии носит динамичный характер.

Хотя продукты коррозии конструкционных материалов обладают очень малой растворимостью в воде, их перенос в растворенной форме играет важную роль в распространении и накоплении радиоактивности в контуре. Растворимые примеси могут адсорбироваться поверхностью контура, в этом они стремятся занять всю площадь контура. Одновременно с адсорбцией протекает обратный процесс - десорбция, интенсивность которой увеличивается с ростом отложений. Таким образом, спустя некоторое время наступает динамическое равновесие.

Адсорбция ионов значительно зависит от pH среды. Практически для каждого иона существует область значения pH, выше и ниже которой адсорбция снижается.

Адсорбция кобальта на окисных пленках увеличивается с увеличением температуры. Продукты коррозии в теплоносителе образуют высокодисперсные частицы, по своим размерам относящиеся к коллоидным. Поверхности частиц приобретают заряд благодаря адсорбции ионов из теплоносителя. Частицы могут менять свой заряд в зависимости от pH воды. Существует, очевидно, значение pH, при котором заряд частиц равен нулю. Для окислов железа такое условие выполняется в диапазоне  $pH=6-8$ , для меди - при  $pH \approx 9,5$ , для никеля и кобальта - при  $pH=10-12$ . Снижение заряда способствует коагуляции частиц, т.е. объединению их в более крупные агрегаты, способные оседать на поверхности контура.

### 2.11.3. Дегазация

Дегазацией называют процессы связывания или удаления из обрабатываемой воды растворенных в ней углекислого газа, кислорода, радиоактивных благородных газов (РБГ), к которым относятся, в частности, криптон и ксенон, йода и некоторых других, например водорода, образующегося при радиолизе воды. Углекислый газ и кислород вызывают коррозию оборудования.

На АЭС применяется термический метод дегазации. Термический метод заключается в удалении из воды растворенных газов посредством нагревания ее до кипения. Термическая дегазация воды основана на законе Генри, согласно которому растворимость газа пропорциональна его парциальному давлению над поверхностью воды.

Из закона следует, что для удаления из воды растворенных газов необходимо, чтобы давление над уровнем воды было равно парциальному давлению водных паров, что выполнимо только при кипении воды.

При кипении происходит выделение образующихся пузырьков газа, а также разложение связанного углекислого газа. Нагрев воды осуществляется паром.

Для обеспечения надежной термической дегазации необходимо увеличение поверхности соприкосновения воды и греющего пара, что достигается дроблением воды на струи и пленки.

Перед дегазацией вода должна быть предварительно подогрета. Процесс дегазации в большой степени зависит и от недогрева воды в самом дегазаторе. Снижение температуры воды на выходе из дегазатора относительно температуры насыщения на  $3^\circ C$  приводит к увеличению содержания кислорода примерно в 2 раза. Температура воды в свою очередь находится в зависимости от постоянства уровня воды и давления пара в дегазаторе. Выделившиеся из воды газы удаляются вместе с частью пара.

Для эффективного удаления кислорода и углекислого газа на АЭС используют двухступенчатую дегазацию.

Первая ступень - дегазация в конденсаторе турбины. Термическая дегазация происходит не только при нагревании воды до кипения, но и при конденсации пара в конденсаторах турбины. Выделившийся из воды газ отсасывается основными эжекторами на УСГС.

Вторая ступень - дегазация в деаэраторах греющим паром.

Термическая дегазация является эффективным способом удаления растворенных в воде газов. При налаженной работе деаэраторов остаточное содержание кислорода в воде составляет 10-20 мкг/л, углекислого газа - следы.

### 3. УСТАНОВКИ СПЕЦВОДООЧИСТКИ

Выше были рассмотрены установки байпасной очистки КМПЦ, конденсатоочистки и получения добавочной воды, кратко изложено назначение и состав остальных установок спецводоочистки как средств обеспечения ВХР вспомогательных контуров и получения подпиточной воды.

Следует обратить внимание, что в схемах спецводоочистки обозначены точки химконтроля за работой установок, при чтении которых необходимо корректировать маркировку точек отбора проб применительно к нужному блоку.

Принцип работы фильтров (ФСД, катионитовых, анионитовых) всех установок одинаков и аналогичен работе фильтров СВО-1, КО и ХВО.

#### 3.1. Установка очистки вод бассейна выдержки СВО-2

Качество воды бассейнов выдержки кассет и технологических каналов должно соответствовать нормам ПТЭ. Прозрачность воды в бассейнах выдержки должна обеспечивать видимость предметов на глубине 7 м или должна быть равной 95 % и более прозрачности глубоководной воды. СВО-2 (рис. 28) используется для очистки воды бассейнов выдержки от механических примесей, частично масла, а также растворенных примесей.

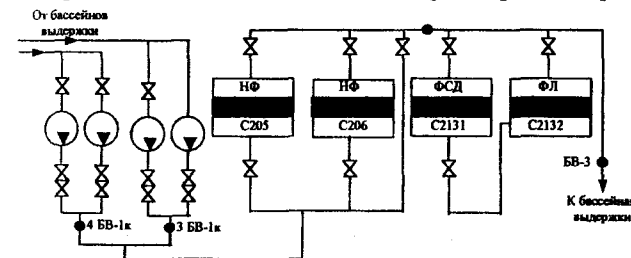


Рис. 28. Установка очистки вод бассейна выдержки СВО-2

Производительность установки составляет 50 м³/ч, в форсированном режиме до 100 м³/ч проектом предусмотрена 1 установка на 2 блока.

Состав установки:

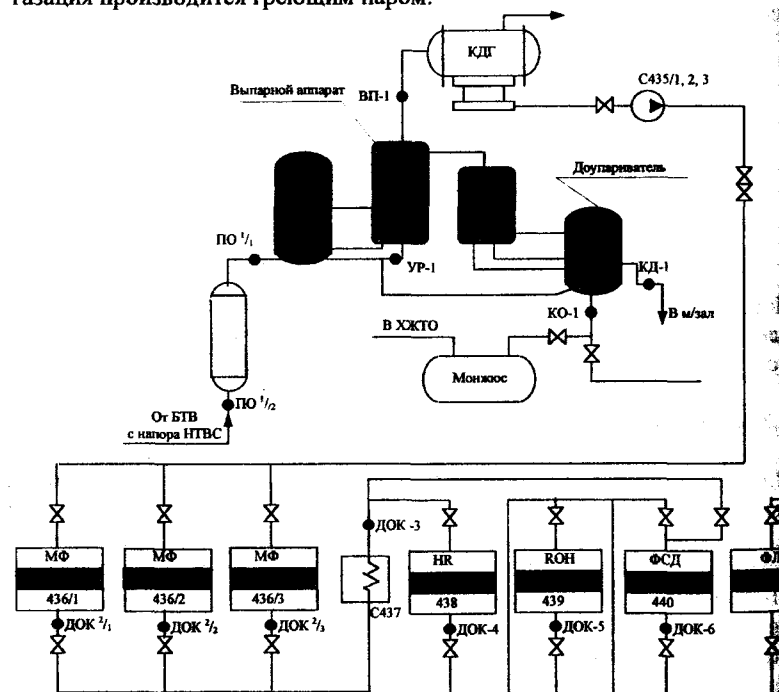
на I очереди - два намывных механических фильтра (рабочий и резервный);

на II очереди - дополнительно к двум намывным механическим фильтрам установлены последовательно включенный ФСД, загруженный катионитом и анионитом по ГОСТ 26083-84.

После истощения обменной емкости иониты регенерации не подлежат, они гидротранспортом отправляются на захоронение в ХЖТО. Забор воды на очистку производится из нижней части бассейнов выдержки, возврат очищенной воды производится в верхнюю часть бассейна выдержки.



Образующийся при выпарке вторичный пар из выпарного аппарата упаривателя, пройдя сепарационные устройства и насадку из колец Раули в сепараторе выпарного аппарата, поступает в конденсатор-дегазатор. В нем происходит конденсация пара и выделение из него углекислого газа, азота, кислорода, радиоактивных благородных газов, легко летучих органических продуктов. Для конденсации пара используется техническая вода. Газация производится греющим паром.



Конденсат из конденсатосборника конденсатора-дегазатора перекачивается насосами С435/1, 2 в узел доочистки конденсата СВО-4 (а также примерно 10-20 % в выпарной аппарат по трубопроводу флегмы). Конденсат подается на механические фильтры, загруженные активированным углем, где очищается от механических примесей и масла. Очищенный от механических примесей и масла конденсат подается через теплообменник, где охлаждается до температуры 50 °С и подается последовательно к тионитовый фильтр С438, анионитовый С439 и фильтр смешанного действия С440, где очищается от растворенных солей. При истощении об-

После фильтра-ловушки конденсат поступает в контрольные баки («чистого») конденсата (КБЧК), откуда подается в БЧК в качестве подпиточной воды.

### 3.4. Установка очистки организованных протечек СВО-5

Из баков «Криуково» оптического диапазона

548/1, 2

ВО-1

НФ 549

НФ 550

ФСД 551

ВО-3

ФСД 552

ВО-4

ФЛ 553

ВО-2

В БСКВ

На СВО-4

Рис. 32. Установка очистки организованных протечек СВО-5

возможность передачи оргпротечек после ионитных фильтров СВО-5 на более тонкую очистку на ФСД СВО-6.

### 3.5. Установка очистки вод взрыхления и промывочных вод СВЕ

Установка (рис. 33) предназначена для очистки отмывочных вод от взрывления, возвращаемых с установок СВО и КО, от продуктов коррозии, растворенных примесей, а также для подачи промывочной воды на установки СВО и КО.

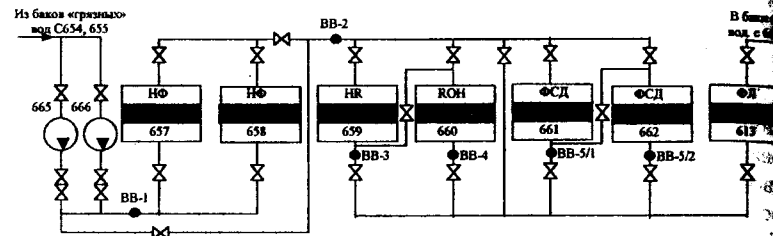


Рис. 33. Установка очистки вод взрыва и промывочных вод СВО-6

При необходимости на фильтрах установки могут быть очищены «грязные» воды оргпротечек с установки СВО-5, для чего предусмотрены соответствующие перемычки.

Производительность установки 100 т/ч. Воды взрыхления ионных фильтров, а также последние порции промывочных вод с установок СВО-3, 4, 5, 6, конденсатоочистки поступают в приемные баки установок СВО-6 соответственно в бак «грязных» вод взрыхления (С654) и бак «чистых» промывочных вод (С655).

Из баков «грязных» вод насосами С666 (С665) подается на намыльный фильтр С657 (С658), подготовленный к работе, где проходит очистка от механических примесей и масла.

Очистка воды от взвешенных частиц и масла основана на задержании их слоем фильтроперлита, намытого на ФЭЛЫ намывного фильтра. По намывным фильтрам вода поступает на ионитные С659, С660, С661, где очищается от растворенных примесей. В качестве ионитов в установке применяются катионит КУ-2-8чс (или его аналог) для фильтров С659, С662 и анионит АВ-17-8чс (или его аналог) для фильтров С660, С661, которые загружаются с узла подготовки смол неядерного класса.

Фильтры С661 и С662 - фильтры смешанного действия, предназначенные для более глубокой очистки конденсата.

Регенерация фильтров производится на узле регенерации установок СВО-13. Смолы, не восстанавливающие обменную емкость после регенерации, перегружаются в ХЖТО. После фильтра-ловушки ионитов вода новой СВО-6 поступает в баки очищенных вод С669-1/2.

### 3.6. Узел приготовления регенерационных растворов СВО-7

Для регенерации ионитов на установках СВО применяется 4,0±0,5 %-ный раствор щелочи NaOH и 5,0±0,5 %-ный раствор кислоты HNO<sub>3</sub>.

Для этого со склада химреагентов концентрированная щелочь и концентрированная кислота (рис. 34) подаются в соответствующий монтажный узел СВО-7.

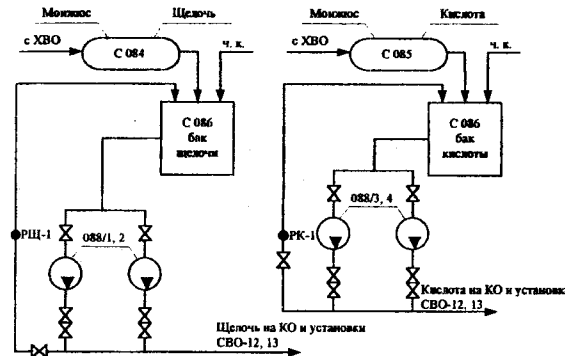


Рис. 34. Узел приготовления регенерационных растворов СВО-7

Для приготовления регенерационного раствора бак С086 (С087) заполняется чистым конденсатом. Затем из монжюса С084 (С085) концентрированный раствор сжатым воздухом перекачивается в бак С086 (С087). Перемешивание раствора осуществляется насосами С088/1, С088/3 (С088/2, С088/4) по линии рециркуляции. Приготовленный раствор этими же насосами подается на регенерацию фильтров.

### 3.7. Узел приготовления дезактивирующих растворов СВО-8

Установка СВО-8 (рис. 35) работает периодически при необходимости приготовления растворов для дезактивации оборудования.

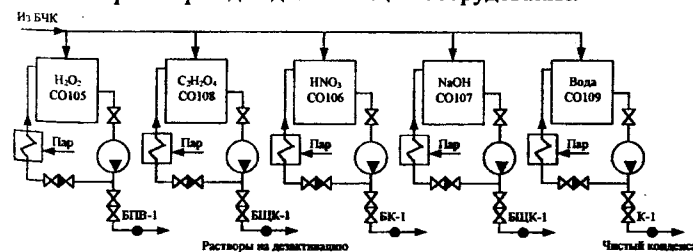


Рис. 35. Узел приготовления дезактивационных растворов СВО-8 (СВО-9 для I очереди)

Для приготовления растворов в баки подается чистый конденсат. Концентрированные растворы азотной кислоты и щелочи подаются со склада химреагентов. Сухие реагенты загружаются вручную через люк, перемешивание и подогрев растворов осуществляется циркуляцией по баку — насос — теплообменник — бак. Приготовленные таким образом растворы насосами подаются потребителю.

Подача кислотного и щелочного растворов осуществляется поочередно по одному трубопроводу. Для обмывки и нейтрализации оборудования трубопроводов в этот же трубопровод подается горячий чистый конденсат.

Бак для конденсата (C0109) может быть использован для приготовления реагентов.

Для дезактивации контура МПЦ, кроме растворов кислоты и щелочи используется раствор перекиси водорода. Перекись водорода заливается в бак через люк, разбавляется чистым конденсатом, перемешивается с воздухом и насосом-дозатором подается в трубопровод дезактивируемых растворов.

Подача дезрастворов для дезактивации контура КМПЦ осуществляется по самостоятельному трубопроводу, подающему растворы на всас насосов установки СВО-12.

Для дезактивации помещений предусмотрен самостоятельный трубопровод горячего чистого конденсата. В случае необходимости для дезактивации помещений можно подать дезрастворы. Для этого по всей станции разведены трубопроводы дезактивирующих растворов и чистого конденсата, которые введены к дверям помещений.

### 3.8. Узел повторного использования дезактивирующих растворов СВО-9

Узел повторного использования дезактивирующих растворов и дезактивации в ультразвуковой ванне (рис. 36) предназначен для дезактивации съемного оборудования в ваннах дезактивации и в ультразвуковой ванне. Если активность использованных дезактивирующих растворов не превышает  $10^{-6}$  Ки/дм<sup>3</sup>, то они сливаются в баки повторного использования дезактивирующего раствора кислоты C0100 или щелочи C099.

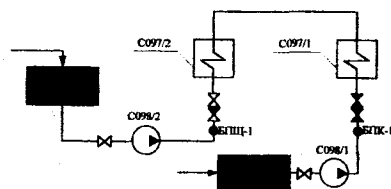


Рис. 36. Узел повторного использования дезактивирующих растворов СВО-8 (СВО-8 для I очереди)

Из этих баков насосами C098/1(2) растворы через теплообменники C097/1(2), где они подогреваются до температуры 90 °С, подаются в ванну дезактивации для повторного использования. Заполнение ванны C0101/1(2) заканчивается по сигналу от верхнего уровня. Дезактивирующие растворы, которые имеют активность выше  $10^{-6}$  Ки/дм<sup>3</sup>, сбрасываются из ванны дезактивации C0101/1, 2 и баков C099, C0100 в трап спецканализации.

### 3.9. Узел приготовления и намыва перлита СВО-11

Узел приготовления и намыва перлита (рис. 37) предназначен для приготовления и подачи суспензии перлита на намывные фильтры установок: СВО-5, СВО-6, СВО-3, СВО-2.

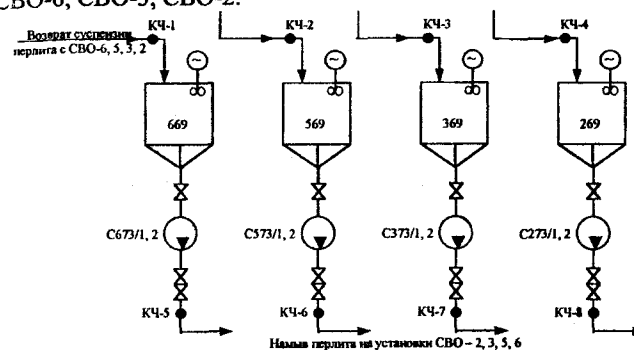


Рис. 37. Узел приготовления и намыва перлита СВО-11

Для намыва фильтрующего слоя на намывные фильтры установок в контактных чанах предварительно готовится суспензия перлита из расчета 600 г/м<sup>2</sup> фильтрующей поверхности. Из контактных чанов суспензия перлита насосами намыва подается на подготавливаемый к работе фильтр, проходит через него и снова возвращается в чан.

Частицы перлита намываются на ФЭЛы и образуют за счет многократной циркуляции по контуру намыва равномерный слой толщиной 4-5 мм на проволоке патрона. Вода при этом свободно проходит в зазоры между частицами перлита и соседними ветками, а намываемые частицы перлита удерживаются на патроне за счет циркуляции суспензии по контуру намыва.

Вода, транспортирующая фильтроперлит, по мере намыва слоя постепенно осветляется, и процесс намыва считается законченным, когда прозрачность пробы этой воды составит не менее 30 см по шрифту.

Для включения намывного фильтра в работу на него подают очищаемую воду и только после этого прекращают циркуляцию суспензии перлита через фильтр.

### 3.10. Установка очистки дезактивирующих растворов СВО-12

Для обеспечения соответствующих норм радиационной безопасности при обслуживании, а также при ремонте и осмотре оборудования требуется удаление с поверхностей радиоактивных отложений. Это достигается периодической дезактивацией оборудования и трубопроводов КМПС совместно с активной зоной реактора и без нее. Во избежание увеличения из-за загрязненного дезраствора (взвешенные радиоактивные загрязнения переходят в дезраствор) необходимо проводить постоянную очистку дезактивирующего раствора для постоянного вывода из системы высокоактивного шлама.

Для этой цели служит СВО-12 (рис. 38). Во время циркуляции дезактивирующего раствора по контуру МПЦ часть раствора (500 т/ч) непрерывно очищается на ионитных фильтрах и вновь возвращается в контур.

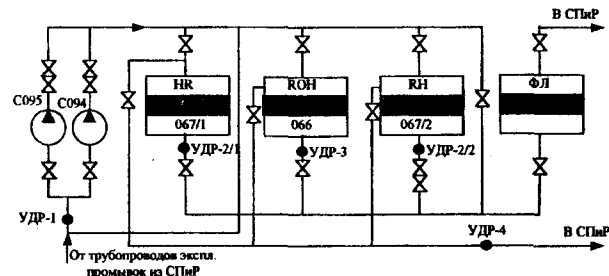


Рис. 38. Установка очистки дезактивирующих растворов СВО-12

При увеличении в растворе концентрации продуктов коррозии производится его очистка на катионитных фильтрах. Наличие в схеме двух ионитных фильтров позволяет использовать их поочередно и дает возможность проводить им регенерацию.

Сброс дезактивирующих растворов производится помимо ионитных фильтров в баки эксплуатационных промывок. На последнем этапе промывки контура МПЦ, чтобы выйти по качеству воды на нормируемые показатели, очистку необходимо производить последовательно на катионитном и анионитном фильтрах, а при необходимости подключить установку СВО-12.

При истощении ионитов фильтрам СВО-12 проводится регенерация.

### 3.11. Установка очистки вод бассейна-барботера СВО-13

Установка СВО-13 (рис. 39) предназначена для очистки воды бассейна-барботера САЭС и поддержание ее качества в соответствии с нормами, приведенными в табл. 3.

Установка СВО-13 состоит из двух однотипных ниток ионообменных фильтров: фильтр катионитовый (ВО-61), фильтр анионитовый (ВО-62), фильтр-ловушка ионитов.

Каждая из двух ниток ионитов предназначена для очистки воды бассейна-барботера одного блока.

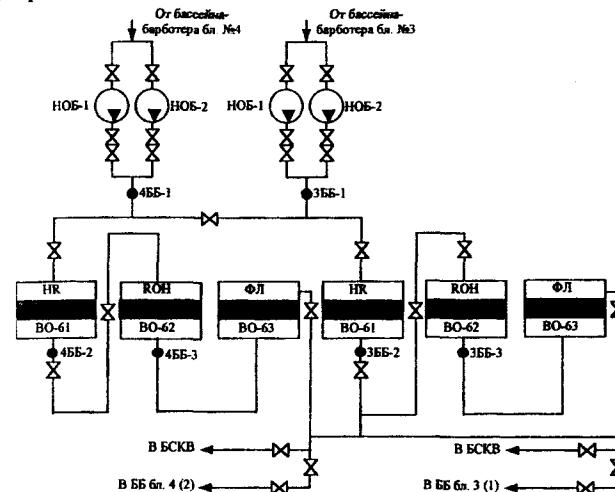


Рис. 39. Установка очистки вод бассейна-барботера СВО-13

Установка СВО-13 периодического действия, включается в работу при ухудшении качества воды бассейна-барботера. Вода ББ после очистки на установке может подаваться в БСКВ (БППР) при соответствии ее качества требованиям на подпиточную воду.

Восстановление обменной емкости фильтрующих материалов фильтров ВО-61, ВО-62 выполняется при снижении коэффициента очистки до 1. Данная операция производится в фильтрах-регенераторах с целью исключить возможность попадания регенерационных растворов в основной поток.

### 3.12. Узел подготовки смол неядерного класса СВО-14

Узел подготовки смол неядерного класса состоит из анионитового и катионитового фильтров (ФРА-380, ФРК-370) и предназначена для проведения регенерации и отмывки смол по оригинальной методике, разработанной ВТИ, а также для перетранспортировки поступивших на ХВО ионитов на блок.



### 3.13. Установка очистки воды промконтура реакторного отделения СВО-15 (3 блок)

Вода промконтура реакторного отделения загрязняется при работе продуктами коррозии конструкционных материалов, а также растворимыми примесями, поступающими с присосами охлаждающей воды теплообменниках промконтура. Для очистки воды промконтура реакторного отделения (ПКРО) предусмотрена продувка контура в количестве 10% от расхода. Очистка продувочной воды осуществляется на установке СВО-15 (рис. 40). Установка состоит из двух ионитных фильтров: катионитового (С312) и фильтра смешанного действия (С313) и фильтра-ловушки ионов (С314).

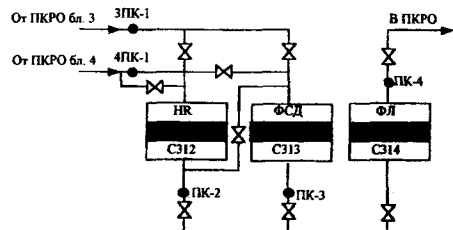


Рис. 40. Установка очистки воды промконтура реакторного отделения СВО-15

Нормы качества воды промконтура реакторного отделения приведены в табл. 3. Очищенная вода со СВО-15 подается во всасывающий коллектор насосов промконтура реакторного отделения ЗМП 1+5.

### 3.14. Узел перекачки отработанных смол и перлита в ХЖТО СВО-15

Узел работает периодически. Отработанные ионообменные смолы и перлит из фильтров установок СВО и КО пневмотранспортом подаются в сборник, откуда сжатым воздухом выгружаются в баки смол и перлита, являющиеся хранилищем жидких и твердых отходов.

## 4. ИОННЫЙ ОБМЕН

### 4.1. Иониты, используемые на АЭС

Ионный обмен широко применяется при обработке природной воды и конденсата на АЭС и подробно описан в соответствующих учебниках.

Сущность ионного обмена заключается в извлечении из водных растворов различных ионов посредством обмена их на другие ионы, входящие в состав фильтрующих материалов ионитов.

Обработка воды методом ионного обмена заключается в пропуске ее через слой ионитов, загруженных в насыпной фильтр или намытых тонким слоем в намывном фильтре.

Иониты используются для очистки воды, идущей на заполнение и подпитку основных и вспомогательных контуров АЭС, для поддержания заданного водно-химического режима блока и доочистки воды от радионуклидов. Важной особенностью применения ионитов на АЭС является очистка от растворенных примесей и радионуклидов циркулирующей воды реактора и доочистка сбросных дебалансных вод перед сбросом их в водоем. Иониты — это синтетические смолы или гели (коллоидно-дисперсные тела), не имеющие пор. В последнее время разработаны смолы, в которых искусственно с помощью специальных реагентов-преобразователей создаются поры. Эти смолы получили название макропористых, а смолы, не имеющие пор, — гелиевых или микропористых.

Среди гелиевых смол выделяются иониты, имеющие регулярное строение матрицы и получившие название изопористых. Макропористые и изопористые иониты имеют большую механическую прочность, а также химическую и термическую стойкость по сравнению с гелиевыми смолами такого же химического состава.

К смолам, имеющим макропористую структуру, относятся сильноосновный КУ-23 и слабоосновный КБ-4-10П катиониты, а изопористую — сильноосновный анионит «Зеролит FF-1Р» (Великобритания). В ядерной энергетике находят применение отечественные ионообменные материалы преимущественно следующих марок: катионит КУ-2-8 в водородно-солевой форме, анионит АВ-17-8 в хлор-форме, катионит КУ-2-8чс в водородной форме и анионит АВ-17-8чс в гидроксильной форме.

Последние две марки применяются исключительно в установках очистки контурных вод реакторов и отличаются от первых меньшим содержанием мелкой фракции и почти полным отсутствием хлоридов, т.е. смолы «чс» считаются особо чистыми или их называют смолами ядерного класса (як) и характеризуются:

- низким содержанием примесей;
- минимальным количеством вымываемых в фильтрат продуктов;
- высокой радиационной устойчивостью;

- содержанием гранул требуемого размера не менее 98 %;
- содержанием мелких фракций не более 0,3 %.

Потребности атомной энергетики частично покрываются импортными поставками-смолами, являющимися аналогами отечественных ионитов ядерного класса и рекомендованными ВНИАЭС для ядерной энергетики (табл. 6).

Таблица 6. Аналоги отечественных ионитов ядерного класса

Отечественные смолы	Импортные смолы (аналоги)		
	ДАУЭКС	ВОФАТИТЫ	Rohm and Haas (США)
Анионит АН-31	MWA-1	RO-71	IRA-93/94
Катионит КУ-2-8	HCR-W <sub>2</sub>	KPS	IR-120
Анионит АВ-17-8	SBR-C	SBW	IRA-400
Катионит КУ-2-8чс	HCRS(E)H <sup>+</sup>	RH	IRN-77
Анионит АВ-17-8чс	SBR-OH	ROSC	IRN-78

При использовании аналогов необходимо учитывать, что каждая зарубежная фирма-производитель ионитов выпускает по несколько десятков типов смол, предназначенных только для АЭС. В зависимости от назначения ионообменной установки для нее подбирается специальный тип смолы в наибольшей степени отвечающий конкретным требованиям и условиям эксплуатации, т.е. импортные иониты не являются, как правило, универсальными в отличие от отечественных смол названных марок.

Так, например, фирма «Dowchemical» выпускает смолы, предназначенные

только для химводоочисток: Dowex CBR, Dowex MSA-1,2 и т.п.;  
только для конденсатоочисток: Dowex C10 MB, Dowex CSR-C и т.п.;  
для реакторных установок: Dowex HCRS (E), Dowex MR72 и т.п.;  
для установок типа CBO-5: Dowex MB-46, Dowex HCRS(E) и т.п.

Это связано с экономической обоснованностью применения определенного типа смолы.

Некоторые показатели импортных ионитов находятся во взаимно обратной связи с отечественными ионитами. Например, являясь наиболее чистым ионитом по содержанию хлоридов, анионит Purolite NRW-450 является наименее механически прочным.

Поэтому подбор импортных смол - полных аналогов универсальных отечественных ионитов, особенно при ограниченном предложении, практически невозможен.

При поставках на АЭС смол неядерного класса на некоторых установках эти смолы могут быть использованы после предварительной обработки реагентами на узле подготовки смол неядерного класса химводоочистки. Подготовка таких ионитов проводится по специальной методике, разработанной ВТИ им. Дзержинского.

Рекомендации на закупку импортных смол выдаются головным институтом от имени Атомтехэнерго после испытания представленных фирмой об-

разцов по всем показателям, приведенным в табл.1,2 приложения А ГОСТ 20298-74, ГОСТ 20301-74. Поэтому поступающие на АЭС импортные иониты при проведении входного контроля должны соответствовать отечественным ионитам по всем показателям указанного выше приложения.

#### 4.2. Входной контроль качества ионитов

От качества ионообменных материалов зависят такие технологические параметры, как длительность фильтроцикла, качество очищенного фильтрата, перепад давления на фильтре, расход реагентов на регенерацию, срок службы ионитов и др.

Для исключения первоначальной загрузки фильтров некачественными смолами поступившие на АЭС иониты подвергаются анализу по основным физико-химическим показателям, некоторые из которых приведены в табл.7.

Таблица 7. Некоторые физико-химические показатели ионообменных материалов

Показатель	Марка ионита			
	КУ-2-8, 1 сорт	АВ-17-8, 1 сорт	КУ-2-8чс	АВ-17-8чс, 1 сорт
Внешний вид	Сферические зерна желто-коричневого цвета			
Объемная доля рабочей фракции, % 0,135 0,4	94	93	96	95
3. Полная статическая обменная емкость, мг-моль/см <sup>3</sup>	1,65	1,00	1,8	1,1
4. Осмотическая стабильность, %	85	85	96	88
5. Массовая доля влаги, %	50-60	35-50	50-60	-
6. Массовая доля ионов хлора, мг/см <sup>3</sup>	-	-	0,0015	0,4
7. Микроскопический осмотр, количество целых гранул, %	-	-	90	85

Лабораторией ХЦ определяется пригодность ионитов, поступающих на АЭС, к использованию в ионообменных установках, т.е. выявляются типы, марки ионитов, изначально непригодных для использования в результате заводского брака или ошибочных поставок, а также выявляются ухудшения физико-химических свойств в процессе транспортировки и хранения.

Некачественные смолы могут стать причиной нарушения водно-химического режима АЭС.

Так, низкая механическая прочность и низкая осмотическая стабильность, наличие мелких фракций и пыли могут привести к выносу ионита мелочи в тракт теплоносителя (особенно из установок с высокими скоростями фильтрования).

Попадая в высокотемпературные участки тракта, иониты подвергаются термолизу с образованием органических и неорганических кислот, аммиака, спиртов, альдегидов и др. углеводов, что может вызвать нарушение водно-химического режима и оказывать дополнительные коррозионные воздействия на конструкционные материалы реакторных контуров, парогенераторов и т.п.

Для каждого типа смолы определен такой размер зерен ионита, при котором работа загруженного фильтра наиболее эффективна по всем техническим показателям. Такие зерна называются рабочей фракцией ионита. Для смол, используемых на АЭС рабочей фракцией считаются зерна диаметром 0,314 мм и 0,4 мм. Объемная доля рабочей фракции в ионите является важным показателем не только для качества фильтрата, но и для предотвращения выноса смолы через щели распределительных устройств.

Показатель «перекрестное загрязнение», определяемый в основном в эксплуатационном контроле, характеризует качество подбора пары «катионит-анионит» для шихты ФСД конденсатоочистки. При регенерациях перекрестное загрязнение увеличивается, что может привести к поступлению хлоридов и натрия в теплоноситель конденсатно-питательного тракта.

В этом случае при подборе пары «катионит-анионит» важно учесть кой показатель, как «время оседания гранул». Разность во времени оседания гранул катионита и гранул анионита должна быть не менее 7 секунд.

Наиболее важным показателем качества смол является обменная емкость ионита, характеризующая количественную способность ионита поглощать противоионы.

На практике в последнее время чаще используется понятие - полная химическая обменная емкость (ПСОЕ). ПСОЕ - количество ионов, поглощенных из рабочего раствора единицей объема ионита, находящегося в контакте с постоянным объемом раствора.

Факторы, которые влияют на обменную емкость, описаны ниже.

При транспортировке и хранении ионообменных смол в осенне-зимний период иониты могут подвергаться воздействию отрицательных температур. В результате вода, находящаяся внутри зерен, а также в межзерновом пространстве, расширяясь, оказывает воздействие на структуру матрицы ионитов.

В результате возникающих напряжений в зернах ионитов могут образовываться трещины, а в некоторых случаях может происходить полное разрушение зерен.

Наиболее сильные повреждения получают замороженные иониты при механических воздействиях (сильные удары по упаковкам при разгрузке, использование ломов и т.д.), а также при резком размораживании.

Появление трещин в зернах ионитов резко снижает осмотическую стабильность, механическую прочность, полную обменную емкость и ухудшает гранулометрический состав ионообменной смолы.

При нарушении герметичности заводской упаковки и воздействии повышенной температуры (около 40 °С) высыхающие смолы могут терять часть структурной влаги, в результате чего нарушается гелевая структура ионита. При массовой доле влаги в ионите ниже значения, указанного в ГОСТе, смолы теряют механическую прочность, осмотическую стабильность, полную обменную емкость. В дальнейшем, при эксплуатации такая смола быстро деградирует.

Значения всех физико-химических показателей, характеризующих качество ионитов, указаны в ГОСТе: для анионита - ГОСТ 20301-74, для катионита - ГОСТ 20298-74.

Деградация («старение») структуры матрицы смолы происходит и при длительном (свыше 2-х лет) хранении ионита.

Это довольно редкий тип деструкции смол, обусловленный разрушением связей между отдельными структурными группами матрицы, ионообменными группами под действием незначительных колебаний влажности, солнечного излучения, микропримесей в воздухе и даже микроорганизмов.

В такой смоле обнаруживается снижение полной обменной емкости, осмотической стабильности и механической прочности, повышение окисляемости.

Таким образом, входной контроль ионитов позволяет уже при поступлении смол на АЭС выявить некондиционные иониты, исключить загрузку их в фильтры, а также направить рекламации заводу-поставщику, а в некоторых случаях администрации железной дороги.

Входной контроль качества ионообменных материалов позволяет избежать не только лишних операций, связанных с регенерацией, загрузкой-выгрузкой смол в фильтры, но и позволяет сократить расход воды, реагентов, электроэнергии на регенерацию смол при их сомнительном качестве и, что еще более важно, сократить количество радиоактивных отходов, т.к. отработанные или «неработающие» смолы отправляются в хранилище радиоактивных отходов на переработку и захоронение.

При эксплуатационном контроле количество определяемых показателей может быть увеличено или уменьшено в зависимости от срока работы ионита, качества фильтрата, эффективности регенераций и т.д.

Применяемые на АЭС методы анализа смол приведены в «Сборнике методик входного и эксплуатационного контроля ионитов на АЭС».

### 4.3. Строение ионитов

Иониты - химически стойкие материалы неорганического и органического происхождения (природные и синтетические), в структуре которых имеются функциональные группы, способные к диссоциации (ионизации) обмену с катионами и анионами растворов электролитов, находящимися с ними в контакте.

Исключительно широкое распространение получили органические иониты на основе искусственных смол.

В зависимости от того, какие иониты способны обмениваться ионами с внешней средой, их разделяют на следующие группы:

- катиониты - иониты, способные обмениваться катионами;
- аниониты - иониты, способные обмениваться анионами;
- амфолиты - иониты, выступающие в определенных условиях как катиониты, либо как аниониты.

По степени диссоциации иониты делятся:

- на сильнокислотные (сильноосновные);
- слабокислотные (слабоосновные).

При существенных различиях в химическом составе и структуре всех ионитов характерен один и тот же принцип построения: они имеют прочный каркас (матрицу), несущий избыточный заряд и подвижные противоions. Т.е. ионообменные смолы являются твердыми электролитами, главная составная часть которых представляет собой нерастворимый подвижный ион с большим числом зарядов, нейтрализованных окружающими его небольшими подвижными ионами с противоположными зарядами (рис. 41).

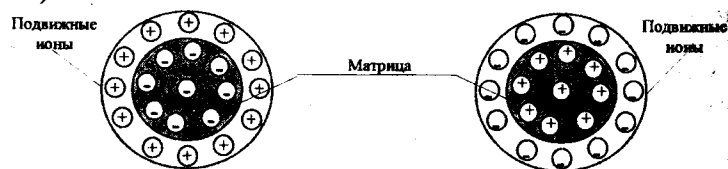
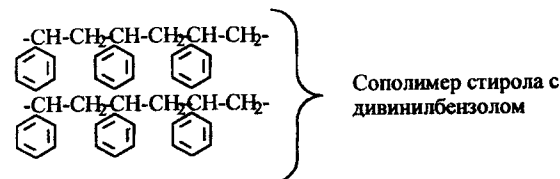


Рис. 41. Упрощенная схема структуры ионообменного материала

В зависимости от характера активных групп смолы ее подвижные, способные к обмену ионы могут иметь или положительный, или отрицательный заряд.

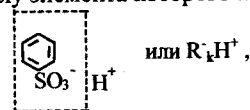
У ионообменных смол матрица состоит из высокополимерной сетки водородных цепей, в отдельных местах которой закреплены функционально активные группы, несущие заряд или фиксированные ионы. Между углеводородными цепями есть поперечные связи («сшивки»), препятствующие разъединению цепей, но допускающие их деформацию. Благодаря эластичности сетки зерна ионообменных смол могут набухать (что необходимо учитывать при начальном этапе обработки смол).

В последние годы в основном применяются полимеризационные смолы, полученные полимеризацией стирола с дивинилбензолом, которые дают наиболее устойчивые в механическом и химическом отношении сополимеры.



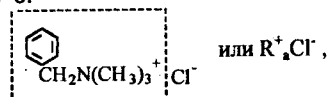
Для придания сополимеру катионообменных свойств его сульфатируют серной кислотой.

Таким образом синтезируется, например, сернокислотный катионит КУ-2-8, упрощенную формулу элемента которого можно представить так:



где  $R_k^+$  - условное обозначение высокомолекулярной (твердой) части радикала катионита (матрица катионита);  $H^+$  - ион водорода, являющийся обменным катионом.

Сильноосновный анионит на той же основе получается обработкой сополимера моно- и дихлорметилловым эфиром с последующей обработкой триметиламином. Таким образом, например, синтезируется сильноосновный анионит АВ-17-8:



где  $R_a^-$  - условное обозначение высокомолекулярной части радикала анионита (матрица анионита);  $Cl^-$  - ион хлора, являющийся обменным анионом.

Функционально активные группы, придающие смоле ионообменные свойства, присоединяются к бензольным ядрам, замещая в них атомы водорода. От характера активных групп зависят знаки зарядов матрицы иона и подвижных противоions. Когда функциональные группы обладают кислотными свойствами, матрица при ионизации получает отрицательный заряд, т.е. фиксированные ионы матрицы являются анионами; подвижные противоions заряжены положительно, т.е. являются катионами. При ионизации функциональных групп с основными свойствами матрица приобретает положительный заряд (ее фиксированные ионы являются катионами), подвижные противоions отрицательны, т.е. являются анионами.

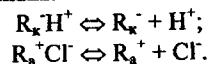
Противоions подвижны внутри каркаса и могут быть заменены другими ионами с зарядом того же знака.

Когда ионит погружен в раствор, противоионы могут перейти в него лишь при условии, что из раствора в ионит попадут другие ионы, способные компенсировать заряд каркаса. В целом каждое зерно ионита остается электронеutralным.

#### 4.4. Свойства ионитов

1. Иониты нерастворимы в воде. Это объясняется сложностью структуры радикала, в силу которой он лишен подвижности и составляет твердую фазу ионита.

2. Иониты, подобно всем электролитам, способны к электролитической диссоциации, что является наиболее важным их свойством. Диссоциация протекает по уравнениям:

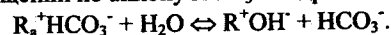


3. Иониты при определенных условиях способны к гидролизу. Это условие создается, когда иониты находятся в солевой форме, т.е. истощены по какому-либо иону.

При этом катионит ведет себя как соль слабой кислоты и сильного основания в случае истощения по катиону  $Na^+$ . Гидролиз идет по уравнению:

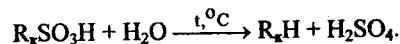


Анионит же ведет себя при гидролизе как соль слабой кислоты и слабого основания при истощении по аниону  $HCO_3^-$ . Гидролиз идет по уравнению:



Происходит как бы частичная регенерация ионитов чистой водой, которая особенно проявляется при длительном нахождении фильтра в резерве. В этом случае концентрация выделившейся щелочи или кислоты может быть значительной, поэтому ионитные фильтры перед включением в работу резерва обязательно отмывают водой.

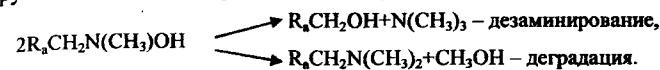
4. Термолиз ионитов. Термическая стойкость катионита КУ-2-8 достаточно высока, что позволяет использовать его при температуре воды до 120 °С. Однако при более высокой температуре катионит подвергается молиролизу, в результате которого происходит отщепление функциональных групп, носящее название термической деструкции:



Единственным продуктом термической деструкции катионита является серная кислота.

Термолиз катионита в солевых формах протекает значительно медленнее: так, КУ-2-8 в Н-форме разрушается в 10 раз быстрее, чем в  $Na^+$ -форме. В результате термолиза солевых форм катионита в воду выделяются соответствующие сульфаты.

Анионит АВ-17-8 значительно менее устойчив. Максимальной эксплуатационной температурой для него считается 70 °С, оптимальной 30-40 °С. Разрушение обменных групп идет по уравнению:



В результате в воду переходит метанол  $CH_3 OH$  и триметиламин  $[N(CH_3)_3]$ . При этом снижается обменная емкость анионита по сильноосновным группам, в результате чего анионит становится неспособным удалять из воды слабые кислоты - угольную и кремниевую.

5. Радиолит ионитов. Влияние облучения на свойства ионитов основано на уменьшении их обменной емкости, которое для катионита обусловлено отщеплением сульфогрупп ( $SO_3 H$ ), в результате чего в фильтрат выделяется серная кислота:



Уменьшение обменной емкости анионита по сильноосновным группам происходит в результате отщепления обменных аминогрупп (дезаминирование) и уменьшения основности анионита (деградация) (см. п.4).

#### 4.5. Обменная емкость

Важнейший физико-химический показатель ионитов - обменная емкость, характеризующая количественную способность ионита поглощать противоион.

Различают полную и рабочую обменную емкость ионитов.

Полная обменная емкость учитывает общее количество поглощаемых противоионов определенным количеством ионообменного материала.

Рабочая обменная емкость, являющаяся важным технологическим показателем, учитывает только ту часть противоионов, которая используется в данных производственных условиях.

Обменная емкость ионитов зависит от ряда факторов: от значения pH исходной воды, температуры, природы улавливаемого иона, концентрации его в исходной воде, удельного расхода реагентов на регенерацию и скорости фильтрования воды через ионит.

Возрастание pH исходной воды больше 7 увеличивает емкость катионита за счет устранения противоиона, т.е. ионов водорода, путем нейтрализации образующейся кислоты.

В большей степени pH исходной воды влияет на емкость анионита, так как помимо сильных анионов  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  им улавливаются и слабые  $HCO_3^-$  и  $SiO_3^{2-}$ . Лучший результат получается, когда в поступающей на анионитный фильтр воде находятся кислоты, в особенности  $H_2 CO_3$  и  $H_2 SiO_3$ , а не их соли. Объясняется это также отсутствием соответствующего противоиона в процессе фильтрации вследствие образования воды:

$R_a^+OH^- + H^+ + HCO_3^- \rightleftharpoons R_a^+HCO_3^- + H_2O$ ,  
где  $R_a^+$  - матрица анионита,  $OH^-$  - подвижный ион.

Поэтому в схемах обработки воды перед анионитными фильтрами устанавливаются Н-катионитные фильтры для перевода солей в соответствующие кислоты.

**Температура.** При низких температурах обменная емкость понижается, так как диффузионные процессы замедляются. При высоких температурах обменная емкость смол также значительно снижается, возможно разложение матрицы смолы и вынос ее составляющих в фильтрат. Рабочий интервал температур для ионообменных смол составляет 35-50 °С.

**Природа улавливаемого иона.** Влияние природы иона на обменную емкость определяется его электрохимической подвижностью. С ростом подвижности увеличивается глубина его проникновения в ионит, что сказывается на обменной емкости материала по данному иону. Насыщение материала тем или иным ионом до его проскока в фильтрат происходит в определенной степени по высоте фильтрующего слоя. В то время, как верхние слои фильтрующего материала насыщаются более подвижными ионами, менее подвижные проникают и улавливаются ниже лежащими слоями до появления их в фильтрате.

Чем меньшей подвижностью обладает ион, тем быстрее наступит его проскок через фильтр и тем медленнее нарастает его концентрация в фильтрате.

Более подвижные ионы вытесняют менее подвижные, поглощенные ионитом, даже тогда, когда их концентрация намного ниже. Проскок таких сильных ионов, как  $Ca^{2+}$  и  $Cl^-$ , наступает только тогда, когда будут вытеснены более слабые ионы  $Na^+$ ,  $HCO_3^-$  и  $HSiO_3^-$ . Это дает возможность очищать на регенерацию ионитные фильтры при появлении в фильтрате натрия и кремниевой кислоты, не допуская проскока кальция и хлоридов.

По электрохимической подвижности ионы располагаются в следующем ряду:

катионы:  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+ > Na^+ > H^+$ ;

анионы:  $SO_4^{2-} > Cl^- > HCO_3^- > HSiO_3^- > OH^-$ .

**Удельный расход реагентов.** Регенерирующие вещества (кислота и щелочь) по мере продвижения через фильтрующий материал срабатывают, концентрация их уменьшается. Для более полного вытеснения загрязняющих ионов и повышения емкости ионитов расход реагентов против технического, как правило, увеличивают в несколько раз.

**Скорость фильтрования.** Влияние скорости фильтрования исходной воды на обменную емкость связано с продолжительностью контакта с ионитами. С увеличением скорости снижаются время контакта очищаемой воды с ионитом и обменная емкость. Если за 100 % принять емкость ионита при скорости фильтрования 1,4 м/с, то при увеличении ее в 10 раз емкость снижается до 85 %, а при увеличении в 20 раз - примерно до 75 %.

Увеличение скорости фильтрования на снижении обменной емкости анионита сказывается еще в большей степени.

Увеличение времени контакта воды с ионитом на практике достигается снижением скорости фильтрования и увеличением высоты фильтрующего слоя. При относительно большом солесодержании исходной воды устанавливаются фильтры с высотой фильтрующего слоя 1,5 м и скоростью фильтрования 0,55-0,8 м/с (20-30 м/ч).

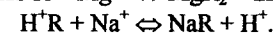
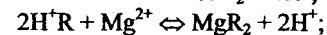
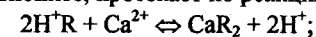
При очистке конденсата турбины допускаются скорости до 2,8 см/с (100 м/ч) при толщине слоя 1 м.

**Концентрация иона в очищаемой воде.** Обработка радиоактивных вод способом ионного обмена считается экономически выгодной только при солесодержании воды, не превышающем 1 г/л. В противном случае смолы быстро истощаются, что экономически невыгодно. Поэтому при обработке высокосолесодержащих проб предусматривается предварительное обессоливание другими методами.

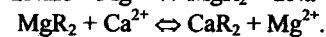
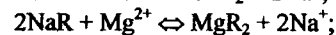
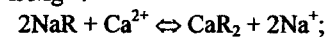
Увеличение концентрации иона в исходной воде в большей степени сказывается на обменной емкости анионита, чем катионита.

#### 4.6. Химические процессы, происходящие при ионном обмене

Н-катионирование воды. Назначение Н-катионирования воды - замена содержащихся в воде катионов на ионы водорода. Обмен катионов на ионы  $H^+$ , содержащиеся в катионите, протекает по реакциям:



Применяемые на АЭС катиониты проявляют селективность по отношению к катионам, присутствующим в воде. Селективность катионов характеризуется сорбционным рядом ( $Ca^{2+} > Mg^{2+} > Na^+$ ), поэтому кроме реакций обмена катионов на ион  $H^+$  протекают реакции взаимного вытеснения катионов. Хуже сорбируемые ионы  $Na^+$  вытесняются из катионита лучше сорбируемыми ионами  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ :

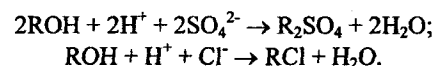


Эти процессы приводят к образованию трех зон поглощения. Впереди идущей является зона наименее сорбируемых ионов  $Na^+$ , за ней следует смешанная зона поглощения ионов  $Mg^{2+}$  и  $Na^+$ , затем смешанная зона поглощения  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  и  $Na^+$ . Суммарная ширина этих зон определяет высоту работающего слоя катионита, в пределах которого общая концентрация всех сорбируемых ионов снижается от исходной до практически нулевой.

По мере истощения катионита зоны поглощения катионов перемешиваются в направлении движения воды. Впереди идущий фронт натрия первым

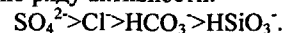
достигает границы слоя катионита. Этот момент соответствует проскоку натрия в фильтрат. На последующих этапах фильтрования все время фронт натрия пересекает границу слоя катионита, концентрация ионов в фильтрате продолжает увеличиваться, при этом концентрация  $\text{Na}^+$  не достигает исходной, но и превышает ее. Когда границу слоя начинают пересекать смешанные зоны, в фильтрате появляются ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , наступает проскок жесткости. Так как при обессоливании воды ставится задача удалить из воды не только катионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , но и  $\text{Na}^+$ , то продолжительность рабочего цикла Н-катионитного фильтра устанавливается по проскоку  $\text{Na}^+$ .

При фильтровании воды через анионитные фильтры, загруженные слабоосновным анионитом (например, АН-31 на ХВО) происходит процесс сорбции анионов сильных кислот, который сопровождается повышением pH раствора:



Находящиеся в Н-катионированной воде в недиссоциированном состоянии слабые кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  по мере повышения pH начинают диссоциировать и участвовать в реакциях обмена на сильноосновном анионите, так как слабоосновные аниониты указанные кислоты не сорбируют. Для сорбции большого количества угольной кислоты сильноосновным анионитом невыгодно, так как при этом сокращается рабочая емкость анионита по кремниевой кислоте, поэтому угольную кислоту удаляют в декарбонизаторах (ХВО).

Применяемые в водоподготовке сильноосновные аниониты имеют зоны поглощения согласно ряду активности:



Хуже всех сорбируемая кремниевая кислота вытесняется из анионита лучше сорбируемой угольной кислотой. Хлориды вытесняют угольные кислоты, сульфаты вытесняются хлоридами.

Процессы взаимного вытеснения ионов приводят к образованию трех зон поглощения анионов.

Впереди идущей является зона поглощения наименее сорбируемой кремниевой кислоты, за ней смешанная зона поглощения угольной и кремниевой кислоты, затем смешанная зона поглощения слабых и хлоридов, наконец, зона поглощения слабых кислот, хлоридов и сульфатов.

Суммарная ширина всех зон определяет высоту работающего слоя анионита, в пределах которого концентрация всех сорбируемых анионов падает от исходного до весьма малого значения. С течением времени мере истощения анионита все зоны сорбции перемещаются в направлении движения воды.

Впереди идущий фронт сорбции кремниевой кислоты первым достигает границы слоя анионита. Этот момент соответствует проскоку кремниевой кислоты в фильтрат.

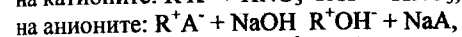
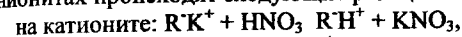
При дальнейшем фильтровании концентрация кремниевой кислоты в фильтрате постепенно увеличивается.

Рабочий цикл анионитового фильтра считается законченным, когда остаточное кремнесодержание достигает предельно допустимого значения.

При совместном Н-ОН-ионировании воды на зернах катионита протекают процессы обмена содержащихся в воде катионов на ион  $\text{H}^+$ , на зернах анионита - процессы обмена анионов на ион  $\text{OH}^-$ . При Н-ОН-ионировании происходит более глубокая очистка воды.

#### 4.7. Процессы регенерации

Для восстановления обменной емкости ионитов их подвергают регенерации, которая заключается в пропуске через катионит 3-5 %-ного раствора азотной кислоты и через анионит 4-6 %-ного раствора щелочи. При этом на анионитах происходят следующие реакции:



где  $\text{K}^+$  - катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  и др.,  $\text{A}^-$  - анионы  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SiO}_3^-$  и др.,  $\text{R}^+\text{K}^+$  - истощенный катионит,  $\text{R}^+\text{A}^-$  - истощенный анионит,  $\text{R}^+\text{H}^+$  - отрегенированный катионит (в Н-форме),  $\text{R}^+\text{OH}^-$  - отрегенированный анионит (в ОН-форме).

## 5. ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ

### 5.1. Намывной фильтр

Конструктивно намывной фильтр представляет собой сосуд цилиндрической формы, с коническим дном и эллиптической крышкой.

В разъеме установлена трубная доска (3) с трубным пучком, состоящим из 91 фильтрующего элемента (ФЭЛы). Они изготовлены из перфорированной, продольно-фрезерованной трубы диаметром 50 мм с навитой на проволокой. Щели между витками проволоочной навивки равны 0,1 мм. Направление фильтрации - снизу вверх. Фильтр снабжен штуцерами для входа и выхода воды, суспензии перлита, боковым патрубком для «шоковой» генерации, штуцерами для выгрузки пульпы и сдувки.

Очистка воды от механических примесей основана на задержании примесей слоем фильтроперлита, намывного на ФЭЛы. Для намыва перлита в баках-мешалках СВО-11 готовится суспензия фильтроперлита, которая насосом подается на фильтр, проходит через ФЭЛы и возвращается в мешалку. Частицы перлита намываются на ФЭЛы и образуют за счет гократной циркуляции равномерный слой на проволоке патрона.

Вода при этом свободно проходит в зазоры между частицами перлита соседними витками, а намываемые частицы удерживаются на патроне за счет циркуляции суспензии по контуру.

При фильтрации через ФЭЛы очищаемой воды поры фильтроперлита забиваются продуктами коррозии, увеличивается перепад давления на фильтре. Фильтр отключают на регенерацию, которая заключается в удлинении фильтрующего слоя путем «шоковой» регенерации (сброс давления, слив воды, подача сжатого воздуха в фильтр) (рис. 42).

### 5.2. Устройство насыпного механического и ионитного фильтров

Насыпные фильтры в зависимости от загруженного фильтрующего материала используют для очистки радиоактивных вод от механических, коллоидных и ионных примесей. Одновременно происходит удаление из воды и радионуклидов.

Насыпной фильтр (рис. 43) представляет собой цилиндрический сосуд, как правило, вертикальный со сферической крышкой и дном.

Ввод воды в фильтр осуществляется через ВДРУ - верхнее дренажное распределительное устройство, которое может представлять собой систему из дырчатых труб, расположенных в виде лучей.

Через верхнее распределительное устройство производится также сброс взрывающейся воды при промывке фильтра, ввод регенерационных и активационных растворов.

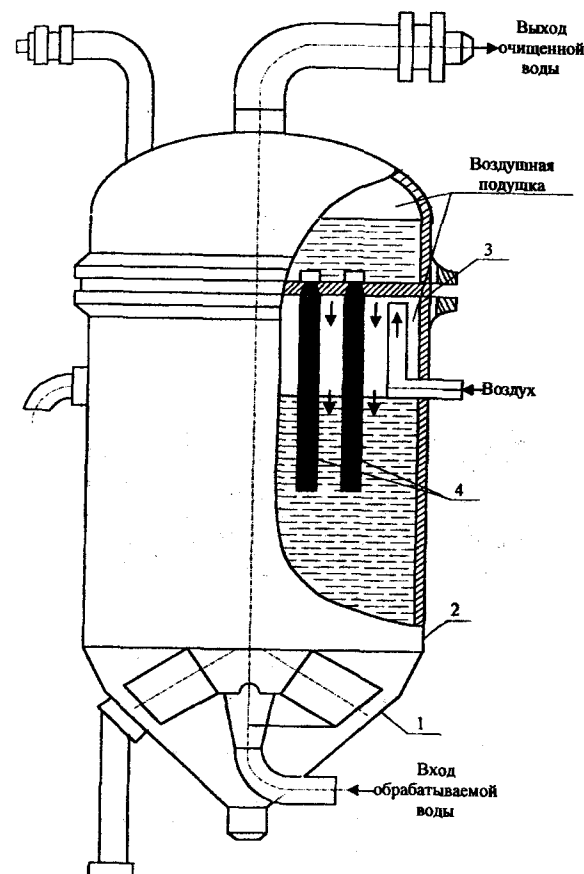


Рис. 42. Намывной фильтр:  
1 - коническое дно; 2 - корпус; 3 - трубная доска; 4 - фильтрующие элементы (ФЭЛы)

Очищенная вода выходит через нижнее дренажное распределительное устройство (НДРУ), состоящее из четырех коллекторов и набора щелевых труб, через которые просачивается вода. Размер щелей таков, что не дает возможности фильтрующему материалу (смоле) проникать в очищаемую воду.

Лучи НДРУ располагают параллельно сферическому дну фильтра (копирующего типа), а коллектор приваривают к дну и обечайке. На ХВО прочность НДРУ достигается подливкой бетона под него (бетонной подушкой).



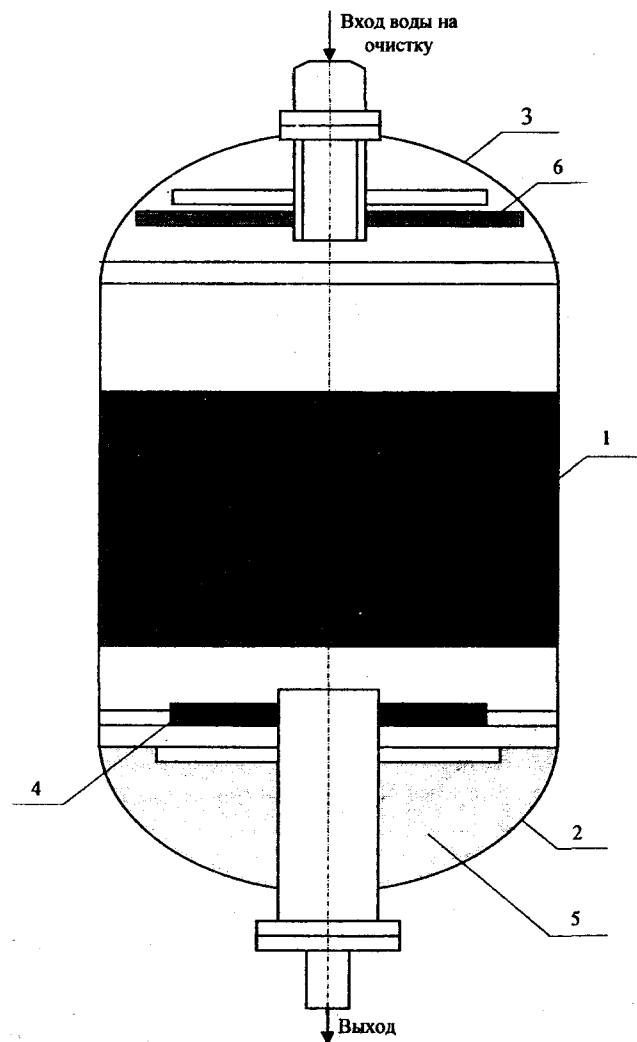


Рис. 43. Механический насыпной фильтр:

1 – корпус; 2 – днище; 3 – крышка; 4 – нижнее дренажно-распределительное устройство (НДРУ); 5 – бетонная подушка; 6 – верхнее дренажно-распределительное устройство (ВДРУ)

### 5.3. Фильтр-регенератор

Конструктивно фильтр-регенератор выполнен в форме цилиндрического вертикального сосуда со сферической крышкой и дном (рис. 44).

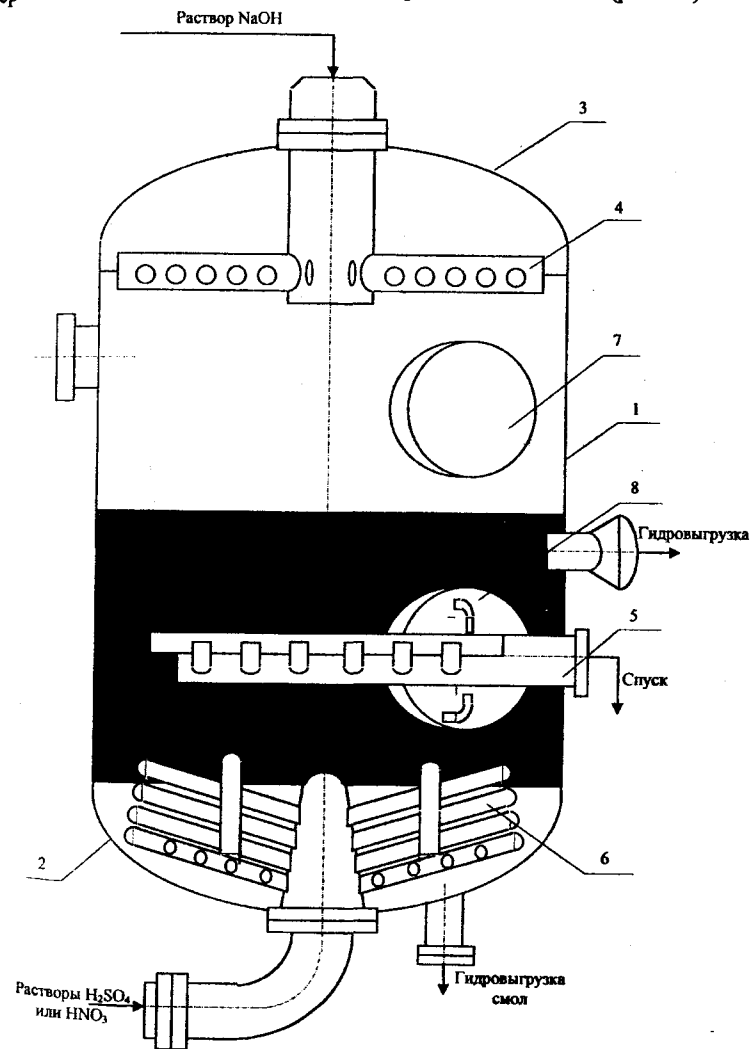


Рис. 44. Фильтр-регенератор:

1 – корпус; 2 – днище; 3 – крышка; 4 – ВДРУ; 5 – СДРУ; 6 – НДРУ; 7, 8 – лаз

Через нижнее распределительное устройство подаются сжатый воздух для промывки.

Регенерация ионитов проводится или непосредственно в фильтрах (они снабжаются обвязкой по регенерационному раствору) или в фильтре выносной регенерации (тогда фильтр обвязан дополнительными линиями гидровыгрузки и гидрозагрузки смол).

Внутри фильтра-регенератора имеется, кроме верхнего и нижнего распределительного устройства, среднее распределительное устройство (СДРУ) для одновременной регенерации катионита и анионита, разделенных перегородкой, по которой происходит плавная подача воды снизу, при этом катионит «даст» в нижней части фильтра, анионит в верхней. Поэтому регенерационный раствор кислоты подается снизу, а регенерационный раствор щелочи сверху. Отработанные регенерационные растворы выводятся через СДРУ фильтра-регенератора.

Устройство НДРУ, ВДРУ, СДРУ аналогично распределительным устройствам насыпного фильтра.

#### 5.4. Устройство и работа выпарного аппарата

Выпарной аппарат (рис. 45) предназначен для очистки от растворов активных и неактивных примесей методом термической дистилляции. Паровой аппарат имеет высокий коэффициент очистки, составляющий 10<sup>4</sup> по отношению к концентрату.

Так как кратность упаривания ВА равна 20-40, истинный коэффициент очистки составляет 10<sup>4</sup> по отношению к исходной воде. Хуже очищается вода от нефтепродуктов. ВА состоит из двух частей:

- греющей камеры;
- сепаратора.

Греющая камера предназначена для нагревания обрабатываемой воды. Сепаратор - для отделения пара от капелек оставшейся загрязненной воды, получившей название кубового остатка.

Греющая камера представляет собой вертикальный кожухотрубный теплообменник, в котором в качестве теплоносителя используется пар из котла собственных нужд, который подается в межтрубное пространство. Конденсат греющего пара выводится из нижней части межтрубного пространства. Исходная вода подается в трубное пространство снизу.

Пароводяная смесь через патрубок 9 переходит в сепаратор, где происходит разделение воды и пара.

Вода по перепускной трубе возвращается в греющую камеру, а вторичный пар очищается и через патрубок в верхней части аппарата выводится.

Очистка вторичного пара от капелек воды заключается в объемной сепарации и последовательном прохождении им жалюзийной ловушки 4, барботажной тарелки 5 и насадки 7, состоящей из колец Рашига, работающей в эмульгированном режиме.

Очистка вторичного пара от капелек воды заключается в объемной сепарации и последовательном прохождении им жалюзийной ловушки 4, барботажной тарелки 5 и насадки 7, состоящей из колец Рашига, работающей в эмульгированном режиме.

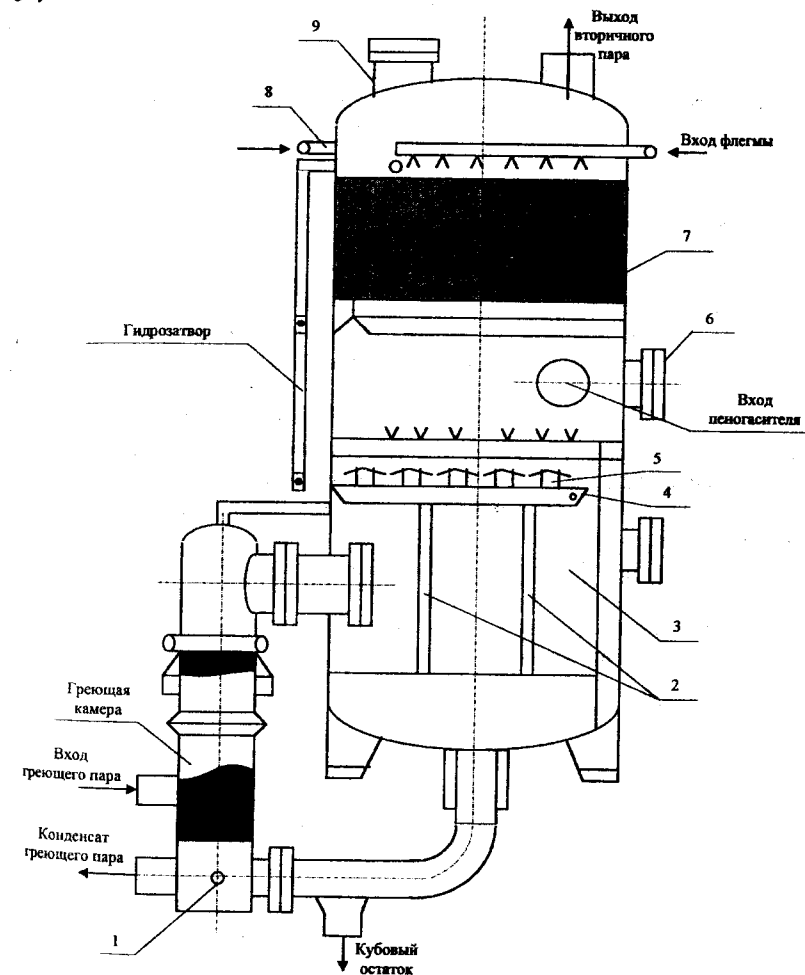


Рис. 45. Выпарной аппарат:

- 1 - вход обрабатываемой воды; 2 - трубка; 3 - сепаратор; жалюзийная ловушка; 4 - барботажная тарелка; 5 - лок; 6 - вход реагентов и промывочной воды; 7 - пароперепускной патрубок

Принцип объемной сепарации заключается в слиянии мелких капелек конденсата при подъеме пара вверх в более крупные и стекании их вниз.

То же самое происходит в жалюзийной ловушке за счет изменения направления потока пара.

На барботажной тарелке происходит промывка пара за счет пробурывания его через непрерывно обновляемый слой воды. Окончательная очистка пара производится на насадке из колец Рашига. Причем нижняя часть насадки заливается водой, проходя через которую, пар перемешивается (эмульгирует) и хорошо отрывается от мельчайших капелек конденсата. Чистая вода (флегма) подается через дырчатую трубу в верхней части аппарата.

Вода из насадки протекает через гидрозатвор на барботажную тарелку.

С барботажной тарелки вода сливается через трубки 2 в нижнюю часть сепаратора и смешивается с конденсатом. Верхний конец трубок выступает над тарелкой на некоторую высоту, чем и обеспечивается постоянный уровень воды на тарелке.

Кубовый остаток удаляется из ВА через трубопровод в нижней части опущенный до дна греющей камеры в целях удаления из ВА выпавшего шлама.

Предусматривается также подача пеногасителя на барботажную тарелку моющих растворов и промывочной воды. Контроль работы ВА производится по уровню конденсата, расходу флегмы, солесодержанию дистиллята, давлению вторичного пара в греющей камере и сепараторе, температуре кипения концентрата.

По температурной депрессии определяют солесодержание концентрата (рис. 46).

Температурная депрессия - увеличение температуры кипения раствора при повышении концентрации.

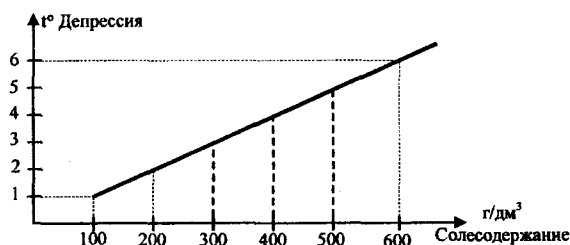


Рис. 46. Зависимость температурной депрессии от солесодержания раствора.

При образовании в греющей камере значительного количества шлама проводится химическая промывка выпарного аппарата.

### 5.5. Устройство и работа конденсатора-дегазатора (КДГ)

Конденсатор-дегазатор (рис. 47) состоит из трех частей:

- конденсатора 7;

- дегазационной колонны 10;
- испарителя 2.

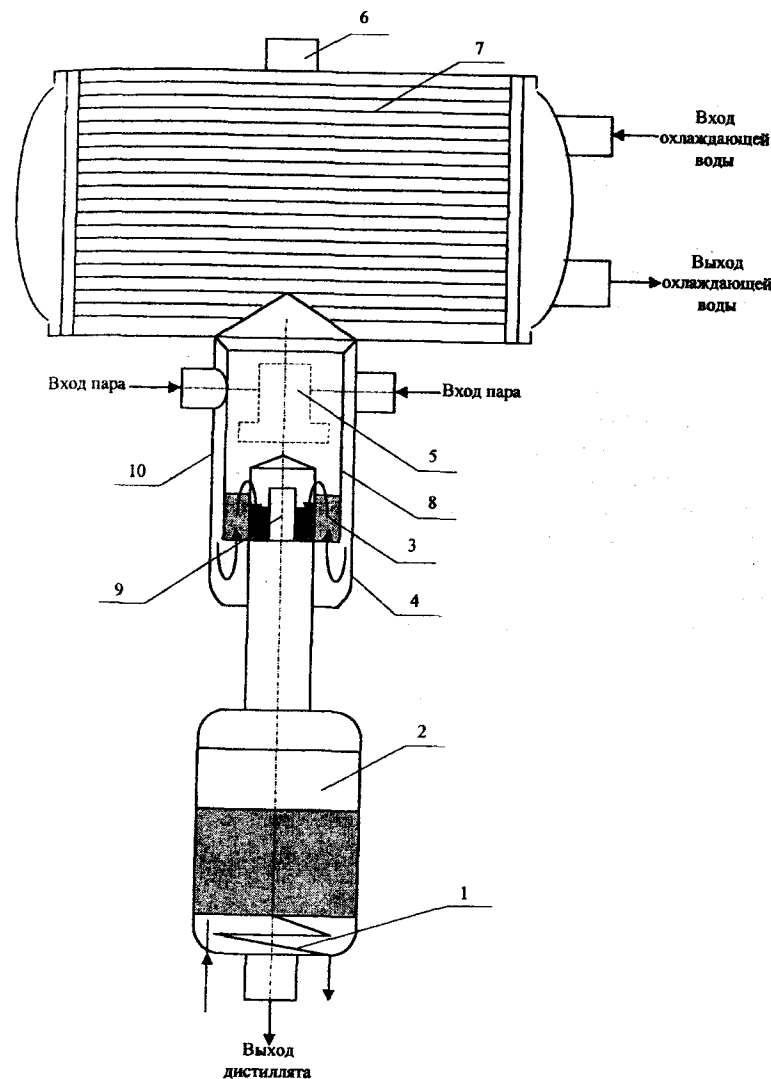


Рис. 47. Конденсатор-дегазатор:

- 1 - змеевик; 2 - испаритель; 3 - дырчатый лист; 4 - корпус; 5 - опора; 6 - сдвуха; 7 - конденсатор; 8 - кожух; 9 - центральная трубка; 10 - дегазационная колонна

Конденсатор представляет собой горизонтальный кожухотрубный теплообменник. В трубном пространстве циркулирует охлаждающая вода, а в межтрубном пространстве происходит конденсация вторичного пара парного аппарата (90 % общего расхода).

Конденсат пара стекает вниз, образует на дырчатом месте слой воды, стекает по дегазационной колонне, заполненной кольцами Рашига для создания пленки, и собирается в испарителе, из которого удаляется через патрубок.

Оставшиеся 10 % пара поступают через патрубок в пространство между стенкой 4 и кожухом 8 и барботируют через слой воды в дырчатом месте, обеспечивая I ступень дегазации.

Вторая ступень дегазации обеспечивается посредством кипения воды в испарителе. Источником тепла является греющий пар, который подается в змеевик 1.

Образующийся при кипении пар поднимается по дегазационной колонне, омывает пленку воды, нагревая ее до температуры насыщения.

Благодаря большой площади поверхности насадки создаются хорошие условия для удаления из воды растворенных газов.

Выделившиеся газы совместно с паром через прикрытую козырьком центральную трубку 9 направляются в конденсатор. Из конденсатора газы удаляются через патрубок 6.

Конденсаторы-дегазаторы выполняются из нержавеющей стали.

Работа КДГ контролируется по давлению пара и уровню воды в испарителе, а также содержанию  $\text{CO}_2$  в очищенной воде.

## 6. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ

### 6.1. Определения, понятия, термины

**Абсорбер** - аппарат для поглощения газов, паров, для разделения смеси на составные части растворением одного или нескольких компонентов этой смеси в жидкости, называемой абсорбентом (поглотителем).

**Абсорбция** - поглощение (растворение) веществ жидкостями или твердыми телами. В отличие от адсорбции поглощение веществ происходит во всем объеме поглотителя.

**Адгезия** - возникновение связи между поверхностными слоями двух разнородных (твердых или жидких) тел, приведенных в соприкосновение.

**Адсорбент** - твердое или жидкое вещество, на поверхности частиц которого происходит адсорбция. Как адсорбент используют силикагель, активированный уголь, некоторые оксиды, смолы и др.

**Адсорбция** - поглощение растворенных или газообразных веществ поверхностью твердого тела или жидкости. Адсорбция применяется для разделения смесей различных газообразных или жидких веществ, для осушки или очистки газов (например, воздуха в противогазах), жидкостей (пропусканием их через активированный уголь), для очистки воды.

**Аква** (от лат. aqua - вода) - в сложных словах водный (например, аква-ион хрома  $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ ).

**Активированный уголь** (активный уголь) - пористый адсорбент с очень развитой внутренней поверхностью, получают при сильном нагревании древесного угля в струе водяного пара. Применяют для разделения смесей газов, углеводородов, для очистки растворов от примесей органических веществ, в медицине, в противогазах.

**Активность (ионов)** - эффективная (кажущаяся) концентрация ионов с учетом электростатического взаимодействия между ними в растворе. Активность отличается от общей концентрации на некоторую величину. Отношение активности (a) к общей концентрации вещества в растворе (с, в г-ион/л), т.е. активность ионов при концентрации 1 моль/л, называется коэффициентом активности:

$$\gamma = \frac{a}{c}$$

**Анализ** (от греч. analysis - разложение) - совокупность различных методов определения качественного и количественного состава вещества.

**Аналитическая химия** - наука о методах определения химического состава вещества. Различают качественный и количественный анализ.

**Анионы** - отрицательно заряженные ионы ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). В электрическом поле анионы перемещаются к положительному электроду-аноду. Анионы имеются в растворах большинства солей, кислот и оснований.

**Анод** - электрод, присоединенный к положительному полюсу источника постоянного тока.

**Атом** (от греч. atomos - неделимый) - наименьшая частица химического элемента, сохраняющая все его химические свойства. Атом состоит из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов. Целом атом электронейтрален.

**Бидистиллят** - дважды перегнанная вода. Используется при работе с веществами особой чистоты.

**Благородные газы** - см. Инертные газы.

**Буферные растворы** - растворы с определенной устойчивой концентрацией водородных ионов; смесь слабой кислоты и ее соли (например,  $\text{CH}_3\text{COOH}$  и  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ) или слабого основания и его соли (например,  $\text{NH}_4\text{OH}$  и  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Величина pH буферных растворов мало изменяется при добавлении небольших количеств свободной сильной кислоты или щелочи при разбавлении или концентрировании.

**Водородный показатель pH** - величина, характеризующая концентрацию (активность) ионов водорода в растворах; численно равна отрицательному десятичному логарифму концентрации (активности) ионов  $\text{H}^+$ , выраженной в грамм-ионах на литр:  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ , где  $[\text{H}^+]$  - концентрация ионов водорода. Понятие pH введено для удобства расчетов, связанных с величинами  $[\text{H}^+]$ , которая изменяется в широких пределах. Водные растворы имеют величину pH в интервале - 1÷14. В чистой воде и нейтральных растворах  $\text{pH}=7$ , в кислых  $\text{pH}<7$  и в щелочных  $\text{pH}>7$ . Величины pH измеряются при помощи кислотно-щелочных индикаторов, потенциометрических методов.

**Гигроскопичность** - свойство некоторых веществ поглощать пары воды из воздуха. К гигроскопическим веществам относятся, например, водный хлорид кальция, концентрированная серная кислота.

**Гидратация** - присоединение молекул воды к молекулам или ионам.

**Дистилляция** (перегонка) - разделение жидких смесей на фракции различных составов путем их частичного испарения с последующей конденсацией образовавшихся паров. Простая дистилляция - частичное испарение кипящей жидкой смеси путем непрерывного отвода и конденсации образовавшихся паров. Полученный конденсат называется дистиллятом, а оставшаяся жидкость - кубовым остатком.

**Дистиллированная вода** - вода, очищенная от соединений перегонкой.

**Индикаторы** - органические и неорганические вещества, изменяющие свою окраску в зависимости от реакции среды (от величины водородного показателя pH). Например, кислотно-щелочные индикаторы - метилоранжевый, фенолфталеин, лакмус.

**Инертные газы** (благородные газы, редкие газы) - элементы VIII группы периодической системы Д.И. Менделеева: гелий (He), неон (Ne),

(Ar), криптон (Kr), ксенон (Xe) и радон (Rn). В природе инертные газы образуются при различных ядерных процессах.

**Иониты** - твердые вещества, способные обменивать свои ионы на ионы из окружающего их раствора. Обычно это синтетические органические смолы, имеющие кислотные или щелочные группы. И. разделяются на катиониты, поглощающие катионы, и аниониты, поглощающие анионы.

**Ионы** - частицы, представляющие собой атомы или группы химически связанных атомов, положительно или отрицательно заряженных. Анионы обозначают знаком «минус», катионы - «плюс», например,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ .

**Катализ** - изменение скорости химической реакции в присутствии катализаторов. Катализ может быть положительным (когда скорость реакции увеличивается) и отрицательным (когда скорость реакции уменьшается или реакция почти полностью подавляется).

**Катализаторы** - вещества, изменяющие скорость химической реакции.

**Катионы** - ионы, несущие положительный электрический заряд, например,  $\text{H}^+$  ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ .

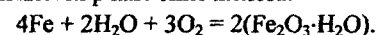
**Катод** - электрод, соединенный с отрицательным полюсом источника постоянного тока.

**Коагуляция** - объединение мелких частиц в дисперсных системах в более крупные под влиянием сил сцепления. Ведет к выпадению из коллоидного раствора хлопьевидного осадка или к застудневанию.

**Колориметрия** - метод анализа, основанный на определении концентрации вещества по интенсивности окраски растворов (более точно - поглощение света растворами). Определяют интенсивность окраски либо визуально, либо с помощью приборов, например колориметров.

**Колориметры** - приборы для сравнения интенсивности окраски исследуемого раствора со стандартным. Применяются в колориметрии.

**Коррозия металлов** - разрушение металлов под воздействием среды. При этом металл переходит в окисленное (ионное) состояние. Примером коррозии металлов является ржавление железа:



Для борьбы с коррозией металлов поверхность металла покрывают масляной краской, лаком, эмалью или тонким слоем другого металла. При соприкосновении металлического алюминия с кислородом воздуха на его поверхности возникает тонкий слой оксида, который защищает металл от дальнейшего воздействия кислорода. Особенно интенсивно коррозия металлов протекает в том случае, если два металла (например, железо и цинк, железо и олово) соприкасаются друг с другом, образуя гальванический элемент (электрохимическая коррозия).

**Кюри** - единица измерения радиоактивности, равная  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в 1 секунду. Употребляются также единицы, производные от кюри: 1 милликюри (мкюри) -  $10^{-3}$  кюри; 1 микрокюри (мккюри) -  $10^{-6}$  кюри.

**Люминесценция** - способность некоторых веществ отдавать в виде светового излучения (без тепловых лучей) поглощенную энергию. Свет, возникающее под действием лучистой энергии видимых и ультрафиолетовых лучей, называется фотолюминесценцией. Различают две группы люминесценций: флюоресценцию, когда по окончании процесса возбуждения люминесценция практически прекращается, и фосфоресценцию, люминесцентное свечение продолжается в течение определенного времени после возбуждения. Широко используется в аналитической химии для обнаружения и количественного определения ряда веществ.

**Мацерированная бумага** - применяют для мытья химической посуды согласно ОСТ 95 976-83. Для приготовления мацерированной бумаги с помощью беззольных фильтров обрабатываются 2-3 мин. концентрированной азотной кислотой, затем добавляют воду и встряхивают смесь до тех пор, пока бумага не распадется на мелкие частицы и волокна. Бумажную массу отфильтровывают с отсасыванием и тщательно промывают водой до полного удаления кислоты. Из полученной массы готовят водную суспензию.

По другому способу обрезки беззольных фильтров заливают водой, нагревают в течение 1 часа, время от времени встряхивая смесь. Воду и смесь снова нагревают. Воду меняют до тех пор, пока она не станет цветной. Затем воду сливают, а бумажную массу слегка растворяют в горячей фарфоровой чашке. Хранят ее в колбе с резиновой пробкой.

**Нефелометрия** - определение концентрации вещества по интенсивности светового потока, рассеиваемого взвешенными частицами.

**Обратимые реакции** - химические реакции, протекающие одновременно в двух противоположных направлениях (прямом и обратном), например:  
$$3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$$

**Оптимальные условия** - наилучшие условия, т.е. условия, наиболее благоприятные для жизнедеятельности какого-либо организма или для протекания какого-либо процесса.

**Платиновая чернь** - тонкий порошок платины, который получают восстановлением ее соединений.

**Регенерация** - восстановление первоначальных свойств технических материалов после их использования.

**Турбидиметрия** - определение концентрации вещества по поглощению света взвешенными частицами.

**Фиксаналы** - стеклянные ампулы, содержащие вещества в строго определенном количестве (0,1 г-экв). Фиксаналы предназначены для установления титра (нормальности) рабочих растворов. Например, фиксанал может содержать раствор HCl для определения нормальности раствора щелочной перманганатной кислоты  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  для установления титра  $\text{KMnO}_4$ .

**Флюоресценция** - кратковременная люминесценция.

**Цеолиты** - большая группа минералов, водные алюмосиликаты калия и натрия со стеклянным или перламутровым блеском. Способны от-

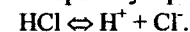
давать и вновь поглощать воду в зависимости от температуры и влажности. Другим важным свойством цеолитов является способность к ионному обмену. В промышленности применяют в основном искусственные цеолиты (пермутиты).

**Чувствительность химической реакции** (чувствительность методов аналитической химии) - наименьшее количество вещества, которое можно обнаружить данной реакцией или количественно определить данным методом анализа.

**Эквивалентности точка** (в титриметрическом анализе) - момент титрования, когда число грамм-эквивалентов реагирующих веществ равно между собой.

**Экстрагирование** - разделение смеси жидких и твердых веществ с помощью избирательных (селективных) растворителей (экстрагентов), основанное на различной растворимости в них компонентов смеси.

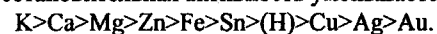
**Электролитическая диссоциация** - распад молекул электролитов (кислот, щелочей, солей) на ионы при их растворении. Процесс электролитической диссоциации представляет обратимую реакцию, например,



**Электролиты** - растворы кислот, щелочей и солей, в которых происходит распад молекул на ионы; вещества, проводящие в растворенном или расплавленном состоянии электрический ток. Типичным электролитом является водный раствор NaCl.

**Электропроводимость** - способность веществ проводить электрический ток под действием внешнего электрического поля.

**Электрохимический ряд активности (напряжения) металлов** показывает их сравнительную активность в реакциях окисления-восстановления (слева направо восстановительная активность уменьшается):



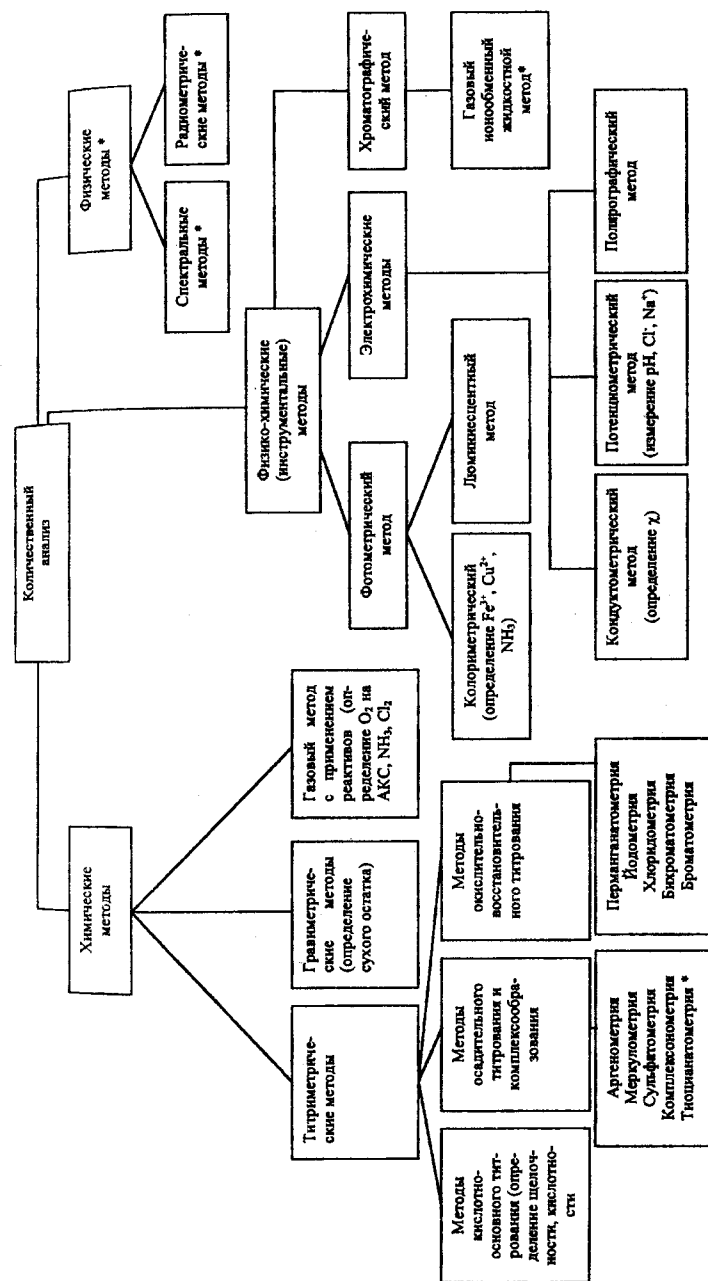
Металл, находящийся в ряду напряжений левее водорода, способен вытеснить водород из кислот.

## 6.2. Методы анализа

Химический анализ является методом химии как науки и позволяет изучать состав, свойства и способы получения веществ. Химический анализ в зависимости от решения аналитических задач разделяют на качественный и количественный, структурный и системный. В водно-химической лаборатории АЭС в основном используется количественный анализ.

Количественным анализом устанавливают количество элементов (ионов), функциональных групп в веществе или веществ в материалах. Кроме того, с его помощью определяют примеси, ведут постадийный контроль технологических процессов. Количественный анализ проводят для оценки качества веществ и материалов, так как оно зависит от их состава. Напри-

Одна из наиболее существенных особенностей титриметрического анализа заключается в том, что при титровании употребляют не избыток реагента, а количество его, точно отвечающее уравнению реакции и эквивалентное количеству определяемого вещества. При титровании необходимо достаточно точно установить момент наступления эквивалентности или, как говорят, фиксировать точку эквивалентности.



\* - методы в ВРХЛ не применяются

**Рис. 48. Методы количественного анализа**

В газовом анализе используют в основном следующие методы: поглощения, метод сжигания, газоаналитический метод. В методе поглощения точно измеренный объем газовой смеси пропускают через ряд дозаторов расположенных поглотительных склянок с растворами, из которых поглощает (абсорбирует) один или два компонента газовой смеси.

Непоглощенный компонент газовой смеси возвращают обратно в ту же склянку, в которой находилась газовая смесь, и по разности начального и конечного объемов газа находят объем поглощенных компонентов.

В методе сжигания горючие газы или пары сжигают в присутствии катализатора в атмосфере кислорода или воздуха, а продукты сгорания поглощают теми или иными реагентами или переводят в новое состояние (в ВРХЛ метод не применяется).

Газоаналитический метод основан на проведении химической реакции, в которой участвуют анализируемые газы. Объем газа, выделяющегося в результате этой реакции, измеряют с помощью газоанализатора.

В ВРХЛ используются в основном физико-химические методы, относящиеся к инструментальным. В физико-химических методах анализируют изменения различных свойств, происходящие в ходе химической реакции. Чаще всего физико-химические методы анализа применяются для фиксации окончания аналитической химической реакции, которую определяют по измерениям оптических, электрохимических или других свойств среды.

К таким методам относятся, например, фотоколориметрический метод измерения оптической плотности растворов на приборе КФК; потенциометрический - измерение концентрации хлорид-иона на хлоридометре, определение состава газовой смеси на хроматографических приборах и т.д.

Более подробно классификация методов анализа представлена на стр. 48, а принципы инструментальных методов рассмотрены ниже.

### 6.3. Химические реактивы

Реактивами называют химические вещества высокой или относительно высокой чистоты, применяемые для проведения химических анализов. Реактивы классифицируют по количеству допустимых в них примесей. По ГОСТ: на чистые (ч), чистые для анализа (чда) и химически чистые (хч).

Классификация «химически чистый» дается наиболее чистым веществам, которые можно приготовить в заводских или лабораторных условиях.

Применяются также реактивы с обозначениями «очищенной» и «чистоты» (осч).

Реактивы поступают в лабораторию в большинстве случаев в виде небольших банок или бутылях, снабженных этикетками, на которых обозначены: название реактива, его квалификация (ч, чда, осч или хч), масса

или номер ГОСТ, номер партии или серии, дата выпуска, номенклатурный номер (номер по порядку в каталоге химических реактивов и препаратов), завод-изготовитель. Иногда указывается химическая формула вещества, перечень допустимых примесей и их содержание.

Реактивы, применяемые для анализа теплоносителя, не должны содержать примеси контролируемых элементов в количествах, влияющих на результаты анализа. В ВРХЛ для проведения анализа применяют реактивы квалификации «особо чистые» и «химически чистые». Применение реактивов квалификации «чистые для анализа» допускается в том случае, если промышленность не выпускает реактивов указанной чистоты. При необходимости проводят очистку растворов реактивов от примесей.

Для приготовления водных растворов реактивов и проведения анализа применяют обессоленную и дистиллированную воду после двойной перегонки обессоленной воды.

Для приготовления стандартных растворов применяют металлы чистотой не менее 99,95 %. Если при приготовлении стандартных растворов применяют соли или окислы металлов, массовую концентрацию стандартных растворов устанавливают гравиметрическим или титриметрическим методом, не менее чем по трем навескам исходного вещества.

Взвешивание навесок, осадков и др. проводят на аналитических весах со случайной погрешностью не более 0,0002.

### 6.4. Общие правила обращения с реактивами

Общие правила обращения с реактивами заключаются в следующем:

1. Необходимо всеми мерами оберегать реактив от загрязнений.

Не оставлять банку с реактивом открытой.

Ни в коем случае не сыпать обратно в банку реактив, случайно выпавший на стол.

При первичном вскрытии банки с реактивом следует сначала хорошо очистить пробку от парафина, которым иногда бывают залиты пробки, затем обернуть пробку и горло банки чистым полотенцем.

Набирать реактив из банки следует фарфоровой ложкой, роговым совочком, разминая слежавшиеся комки стеклянной палочкой. Нельзя брать реактив руками, а также путать крышки от банок с разными реактивами.

2. Все склянки с растворами реактивов должны иметь этикетки или надписи на стекле, обозначающие название реактива (или его формулу) и концентрацию раствора.

Выливать обратно в склянку неиспользованный избыток раствора не разрешается. Раствор следует наливать, держа склянку так, чтобы этикетка была сверху и раствор не попадал на нее.

Пробки на стол следует класть так, чтобы часть, входящая в горло, не касалась стола. Пробки можно класть на сухой бумажный фильтр.



3. На рабочем столе должны находиться только те реактивы и растворы, которые нужны для работы в данный момент. Все запасы реактивов нужно хранить в столах или в шкафах.

Сильно пахнущие жидкости следует хранить и разливать только в мерные колбы.

4. Для отвешивания реактивов в лаборатории используют технические и аналитические весы с проверенным равновесием.

#### 6.5. Правила обработки и использования полиэтиленовой и стеклянной посуды

1. Для отбора проб теплоносителя, хранения обессоленной воды, концентрированных растворов и растворов реактивов применяют тару полиэтиленовую по ТУ 6-19-110-7В.

Допускается использование полиэтиленовой тары, освобожденной от остатков агрессивных веществ, имеющихся в продаже реактивов (гранулированного едкого, глицерина, гранулированного калия едкого) после предварительной обработки.

Полиэтиленовые банки моют с применением мацерированной воды, приготовленной на обессоленной воде из бумажных обезжиренных салфеток по ТУ 6-09-1978-77, с добавкой натрия углекислого 10-водного по ГОСТ 84-76хч, многократно обмывают обессоленной водой, затем промывают горячим раствором азотной кислоты, разбавленной 1:1, многократно обмывают обессоленной водой, заполняют ею и выдерживают в этой воде в течение 2-3 дней. Хранят банки заполненными обессоленной водой. (Для мытья посуды в лаборатории используют обессоленную воду с  $\chi < 1,5 \text{ мкСм/см}$ ).

2. Новые стеклянные изделия тщательно обрабатывают кашицей из мацерированной бумаги, приготовленной на обессоленной воде, как описано выше. Вымытую посуду многократно обмывают обессоленной водой, выдерживают в парах соляной или азотной кислоты, разбавленной 1:1, пропаривания в посуду наливают 6-8 см<sup>3</sup> кислоты, накрывают покрывалом, стеклами и при слабом нагревании на электроплитке пропаривают азотной кислотой в течение 5 мин (на стенках очищаемого сосуда не должно быть капель). Затем стаканы и покровные стекла тщательно обмывают обессоленной водой (обессоленной).

При пропаривании наряду с очисткой происходит выщелачивание стекла его компонентов, что бывает необходимо для исключения попадания их в пробу.

Чистые мерные колбы и бюретки для титрования в интервалах анализа хранят заполненными обессоленной водой.

После проведения анализа внутреннюю и внешнюю поверхности использованных стаканов тщательно обмывают проточной обессоленной водой.

Не допускается грязные стаканы ставить на поверхность стола. Их сразу погружают для дезактивации в 1 %-ный раствор трилона Б однократного использования по ГОСТ 10652-73ч или чда с pH=3, который создают добавлением раствора соляной или азотной кислоты, разбавленной 1:1, в раствор трилона Б.

Через 20-30 мин стаканы хорошо промывают проточной обессоленной водой, сушат и хранят в условиях, исключающих попадание примесей извне, до следующего использования.

Одним из эффективно моющих средств для удаления жировых пятен с посуды является хромовая смесь. Ее часто используют в лаборатории.

Хромовая смесь представляет собой 5 %-ный раствор дихромата калия в концентрированной серной кислоте. Действие хромовой смеси основано на том, что хроматы в кислом растворе являются сильными окислителями. В загрязненную посуду, ополоснутую водой, наливают 1/3-1/4 объема хромовой смеси и осторожно смачивают ею внутренние стенки посуды. Затем хромовую смесь выливают в сосуд, в котором она хранится. После сливания смеси посуда должна постоять несколько минут, затем ее моют обессоленной водой.

Пипетки моют, погружая их в хромовую смесь, налитую в высокий цилиндр. Загрязненную и неудобную для мытья посуду (бюретки, пипетки) оставляют заполненными хромовой смесью на несколько часов.

Хромовая смесь служит для мытья довольно долго. После многократного употребления ее темно-оранжевый цвет переходит в темно-зеленый. Такая хромовая смесь не обладает более моющими свойствами и ее следует заменить новой.

Хромовая смесь сильно разрушает растительные и животные ткани (кожу, одежду, обувь), поэтому работать с нею надо осторожно.

#### 6.6. Дистилляция

Для приготовления реактивов и проведения анализа используют воду высокой чистоты, имеющую удельную электрическую проводимость не более 0,1 мкСм/см.

Такой водой является вода после конденсатоочистки действующей АЭС или вода, полученная методом дистилляции (перегонки). Дистилляцией производят очистку жидких веществ (например, воды соляной кислоты, скарпов, эфиров) от нелетучих примесей.

Перегонка основана на том, что жидкость при нагревании до определенной температуры начинает кипеть, бурно переходить в газообразное состояние (пар). Если этот пар охладить, отводя по газоотводной трубке, то он

превратится в жидкость. Таким образом получают и дистиллированную воду.

Дистиллированная вода - вода, очищенная от растворенных при перегонке.

В ВРХЛ используют воду высокой чистоты, прошедшую двухступенчатую перегонку. Исходной водой для перегонки является глубокообессоленная вода с  $\chi=1,5$  мкСм/см.

Качество воды, прошедшей двухступенчатую дистилляцию:

$$\chi \leq 0,1 \text{ мкСм/см};$$

$$\text{Cl}^- \leq 0,2 \text{ мкг/дм}^3;$$

$$\text{Na}^+ \leq 1,0 \text{ мкг/дм}^3;$$

$$\text{Ж}_0 \leq 0,2 \text{ мкг/дм}^3;$$

$$\text{Cu}^{2+} \leq 0,0 \text{ мкг/дм}^3.$$

Для получения такой воды применяют аппарат-аквадистиллятор, стеклянный двухступенчатый производительностью около 5 л/ч.

#### 6.7. Устройство и принцип работы аквадистиллятора

Аквадистиллятор работает по принципу двойной перегонки воды. Гонка происходит за счет нагрева и испарения обессоленной воды с помощью электрических нагревателей, помещенных в кварцевые трубки, конденсации водяного пара конденсаторами-холодильниками. В качестве доагента используется водопроводная вода, поступающая после полного прохождения конденсаторов-холодильников в нагретом состоянии на подпитку воды.

Принципиальная схема дистиллятора представлена на рис. 49.

Каркас аквадистиллятора сварен из уголков и закрывается съемным панелем из оргстекла, крышкой, поддоном и передней панелью, на которых размещены штуцера для подвода и сброса охлаждающей воды и дистиллята и легколетучих компонентов, выделяющихся в процессе гонки. Внутри каркаса на поддоне установлены подставка для сосудов и клеммники для подключения нагревателей. Клеммники закрываются крышками. Два держателя предназначены для крепления конденсаторов-холодильников, а планка - ротаметра. Розетка служит для соединения аквадистиллятора с блоком управления.

Электрические нагреватели (2) представляют собой кварцевые трубки с плоским шлифом, внутри которых размещены кварцевые трубки (малого диаметра) с навитым на них нагревательным элементом.

Испарительно-конденсационная система состоит из двух секций: (I) служит для первичной дистилляции воды, вторая (II) - для вторичной.

Сосуды и конденсаторы-холодильники каждой секции конструктивно выполнены идентично.

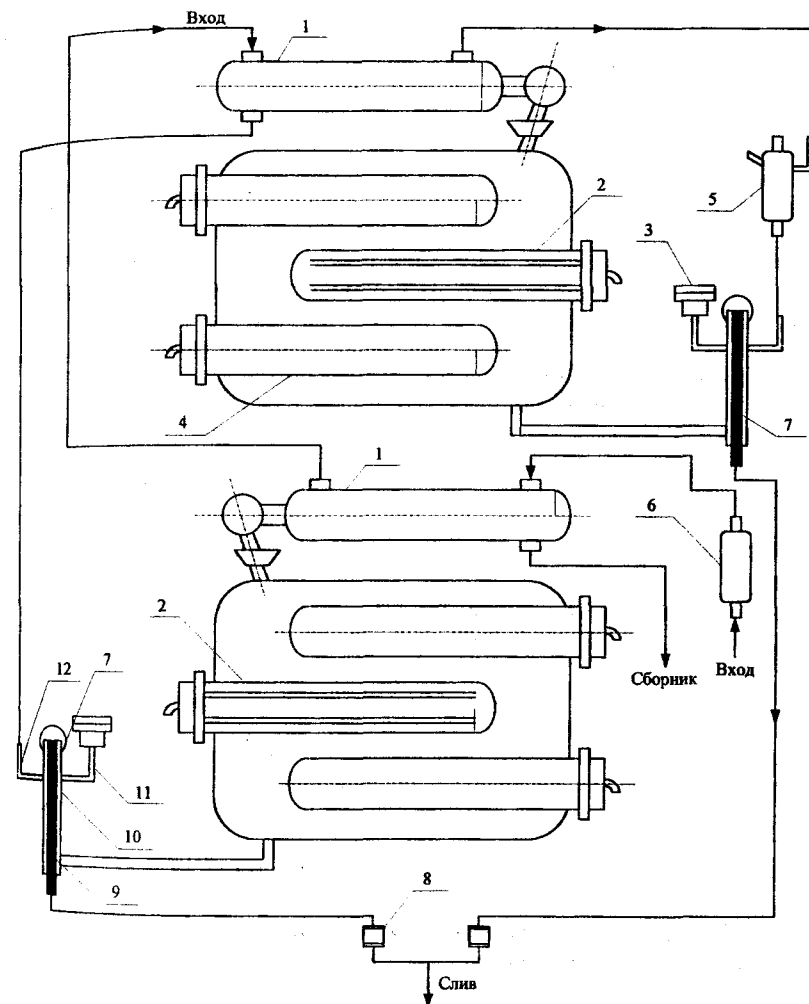


Рис. 49. Аквадистиллятор АСД-4

1 - конденсатор-холодильник; 2 - нагреватель; 3 - контактная группа; 4 - сосуд для испарения; 5 - датчик; 6 - ротаметр; 7 - регулятор уровня; 8, 12 - штуцер; 9 - датчик протока; 10, 11 - трубки

Сосуд (4) представляет собой горизонтальный цилиндр, имеющий верхнюю патрубку со сферическим шлифом для соединения с конденсатором-холодильником. Сбоку к сосуду припаяны регулятор уровня, внутри которого помещена сбрасывающая трубка (11) и трубка для контактной группы

(10). Регулятор уровня имеет также два штуцера: один для подпитки приемной воды (12), второй (9) для сброса лишней воды через штуцер на панель в канализацию. В сосуде имеется три тубуса с плоскими фланцами для установки нагревателей (2).

Конденсатор-холодильник (1) конструктивно включает змеевик, внутреннюю рубашку охлаждения и сепаратор с каплеотбойником.

Внутренняя полость конденсатора-холодильника с одной стороны патрубком для подсоединения с сосудом (4), с другой стороны конусом для дистиллята или бидистиллята и штуцер для соединения с атмосферой выброса легколетучих компонентов, выделяющихся при перегонке, выравнивания давления в испарительно-конденсационной системе.

Уровни воды в испарительных сосудах и сборной емкости контролируются датчиком и контактной группой, состоящей из двух латунных тродов, установленных в пластмассовую втулку. Контактная группа отключает нагреватели в случае падения уровня воды в сосуде первой секции и отключает нагреватели в обоих сосудах, контактная группа секции бидистилляции в случае падения уровня воды в сосуде второй секции отключает вторую секцию. Датчик сборной емкости при достижении установленного уровня приемной емкости отключает нагреватели обоих испарительных сосудов.

Монтаж и наладку аквадистиллятора в лаборатории осуществляет техническая группа цеха ТАИ по договору.

## 6.8. Весы и взвешивание

Весы предназначены для измерения массы. Взвешиванием называется сравнение массы данного тела (вещества) с массой гирь, масса которых известна и выражена в определенных единицах (мкг, мг, г, кг и др.).

### 6.8.1. Установка весов и общие правила эксплуатации

На лабораторные весы оказывают вредное влияние: механические воздействия, резкие изменения температуры, загрязненность воздуха пылью, газами, вызывающими коррозию металлов.

Для устранения всех этих факторов весы желательно устанавливать в отдельном помещении - весовой комнате. Температура помещения должна быть от 10 до 35 °C, и ее изменение не должно превышать 1-2 °C в час. Весы не должны подвергаться одностороннему нагреванию или охлаждению, поэтому их нельзя устанавливать около отопительных приборов. Нельзя допускать, чтобы на весы падал прямой солнечный свет. Весы должны подвергаться воздействию воздушных потоков.

Для предохранения от сотрясений, вибраций весы должны быть установлены на специальном столе с тяжелой мраморной столешницей, желательнее на специальном фундаменте, не связанном с полом.

При работе на лабораторных весах и особенно при пользовании аналитическими весами необходимо строго соблюдать основные правила.

1. Перед началом взвешивания необходимо проверить состояние весов. Весы должны быть установлены строго горизонтально по уровнемеру. Весы, работающие от сети, должны быть заземлены и после включения в сеть прогреты в течение 20-30 минут. С чашек весов перед работой смахивают пыль салфеткой или кисточкой. Проверяют точность установки нуля.

2. К весам полагается разновес - комплект гирек, помещенный в специальный футляр в определенной последовательности. Разновес может быть 1-го и 2-го класса точности.

К набору полагается пинцет, которым и надлежит брать гирьки для пользования. Брать гирьки руками не разрешается. Гирьки берут пинцетом из футляра и ставят на середину чашек весов. Взвешиваемый предмет также необходимо ставить на середину чашек весов. Класть гирьки на стол не разрешается.

Все взвешивания при выполнении анализа должны производиться на одних и тех же весах с применением одного и того же разновеса. Это необходимо, потому что поправки к разновесам у разных наборов различны по величине и знаку, и поэтому при взвешивании на разных весах и с разными разновесами возможна заметная разница в результатах взвешивания одного и того же предмета.

Раз в неделю гирьки разновеса необходимо протирать салфеткой, смоченной в этаноле, а гнезда футляра почистить щеткой.

3. Взвешиваемый предмет и гирьки можно помещать на чашки весов и снимать с них только в изолированном положении весов.

Боковые дверцы весов при взвешивании должны быть закрыты, чтобы исключить влияние воздушных потоков.

4. Нельзя сдвигать весы с занимаемого места.

5. Не следует допускать перегрузки весов выше допустимого предела, так как это может привести к порче весов. В сомнительном случае можно предмет взвесить на технических весах с большим пределом нагрузки и, убедившись, что масса допустима, приступить к взвешиванию его на аналитических весах.

6. Нельзя на чашки весов помещать влажные и грязные предметы. Нельзя просыпать и разливать ничего на чашки весов и внутри корпуса весов. Нельзя взвешивать горячие предметы, а также очень холодные. Взвешиваемый предмет должен иметь температуру помещения, где стоят весы.

7. Нельзя класть взвешиваемое вещество непосредственно на чашку весов. Нельзя производить взвешивание на листе бумаги. Взвешивание производят на часовом стекле, в бюксе, в тигле или в небольшом стаканчике.

## 9. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАСЛА

### 9.1. Перечень масел, применяемых на САЭС

#### 9.1.1. Трансформаторные (изоляционные) масла

В качестве сырья для получения трансформаторных масел используются дистилляты, выкипающие при 280-420 °С из различных нефтей. Сырьем для получения трансформаторных масел являются в основном дистилляты из следующих нефтей: анастасиевской, смеси малосернистых бакинских, смеси сернистых западно-сибирских нефтей.

Все отечественные трансформаторные масла, поступающие на САЭС, содержат ингибитор окисления - антиокислительную присадку ионол (сн-нонимы - ДБК, топанол-0, керобит).

Применяются отечественные масла следующих марок:

1. ТКп (ТУ 38.101.890-81) - кислотной очистки из анастасиевской и бакинской нефтей.
2. Т-750 (ГОСТ 982-80) - кислотно-щелочной очистки и контактной доочистки.
3. Т-1500 (ГОСТ 982-80) - кислотно-щелочной очистки, карбамидной депарафинизации и контактной доочистки из бакинских нефтей.
4. ТАп (ТУ 38.101.0281-80) - адсорбционной очистки из анастасиевской нефти.
5. ТС (ГОСТ 10121-76) - селективной очистки низкотемпературной депарафинизации, контактной или гидроочистки из западно-сибирских нефтей.
6. ГК (ТУ 38.101.1025-85) - гидрокрекинга и каталитической депарафинизации из западно-сибирских нефтей.
7. ГБ (ТУ 38.401.657-87) - селективной очистки каталитической депарафинизации из бакинских нефтей.

Масла применяются в качестве электроизоляционной и охлаждающей среды в главных и резервных трансформаторах, в автотрансформаторах, в трансформаторах тока и напряжения.

Для масляных выключателей масло является дугогасящей средой.

#### 9.1.2. Турбинные масла

В эксплуатации используются следующие турбинные масла:

Тп-22С (ТУ 38.101.821-83) - представляет собой дистиллятное масло, полученное углубленной селективной очисткой с последующей гидроочисткой.

Тп-22 (ГОСТ 9972-74) - получают из парафинистых маслосернистых нефтей. Содержит антиокислительную, антикоррозионную присадку и деэмульгатор.

Турбинные масла применяются:

- а) для смазки и отвода тепла от шеек роторов турбины, генератора и возбuditеля;
- б) для гидростатического подъема роторов турбины и генератора при работе ВПУ (валоповоротного устройства);
- в) для подачи масла как рабочей жидкости в систему регулирования турбины;
- г) для уплотнения вала генератора в целях предотвращения выхода вонорода из корпуса;
- д) для смазки и охлаждения в системе циркуляционной смазки: питательных насосов (рабочих и аварийных), конденсатных насосов 2-й ступени, главных циркуляционных насосов (ГЦН).

#### 9.1.3. Смазочные масла для вспомогательного оборудования

1. Масло компрессорное - КС-19, К-19 - предназначено для поршневых и ротационных компрессоров. Представляет собой высококачественное смазочное масло, полученное путем смешения хорошо очищенных остаточных и дистилляционных нефтяных масел.

ХФ-22, ХФ-24, ПФГОС-4 - масло для компрессоров холодильных машин - применяются в системе смазки.

2. Масла индустриальные. Марки: И-50, И-40, ИГП-49 - применяются для смазки подшипников коленчатых валов компрессоров и для смазки другого оборудования.

3. Масло моторное М-14 ГЦС ГОСТ 12237-84 - применяется для смазки двигателей системы надежного питания дизелей 12 40/48 "Зульцер".

4. Топливо для двигателей системы надежного питания (дизелей) по ГОСТ 305-82 марки "Л" и "З". Топливо вырабатывают из продуктов прямой перегонки малосернистых нефтей, прошедших гидроочистку и депарафинизацию

Л (летнее) - для эксплуатации при температуре окружающего воздуха 0 °С и выше;

З (зимнее) - для эксплуатации при температуре окружающего воздуха минус 20 °С и выше, минус 30 °С и выше.

#### 9.2. Физико-технические показатели масел

- 1) Температура вспышки.

Температурой вспышки называют температуру, при которой пары нефтепродукта, нагреваемого в определенных условиях, образуют с окружающим воздухом смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени.

Температуру вспышки от +20 до +275 °C определяют в закрытом тигле на приборе ТВ-1.

Температуру вспышки не ниже 70 °C определяют в открытом тигле на приборе ТВ-2.

2) Кислотное число.

Кислотным числом называют количество мг КОН, необходимое для нейтрализации всех свободных кислот в 1 г масла.

Кислотное число характеризует степень очистки или старения масла.

3) Наличие водорастворимых кислот и щелочей.

В результате окисления масла, находящегося в эксплуатации, образуются низкомолекулярные кислоты, обуславливающие кислую реакцию водной вытяжки масла. Наличие в масле низкомолекулярных кислот, являющихся агрессивными соединениями, вызывает коррозию металлов и влияет на старение твердой изоляции трансформаторов.

4) Содержание воды в масле.

а) Содержание воды в трансформаторном масле определяется по ГОСТ 7822-75, ГОСТ 2477-65.

Вода является наиболее опасной примесью, ее присутствие в количестве 0,005 % может снизить пробивное напряжение до недопустимой величины.

Установлено, что в присутствии воды значительно быстрее происходят процессы окисления масла и разрушение целлюлозной изоляции, особенно хлопчатобумажной нити витковой изоляции обмоток трансформаторов. Кроме того, вода усиливает коррозионное воздействие масла на стальные части аппаратов и трансформаторов, в присутствии воды наблюдается выделение осадков из масла.

б) Содержание воды в турбинном масле определяется визуально. Турбинное масло при эксплуатации попадает в специфические условия, работа при повышенной температуре. Нельзя допускать длительного обводнения масла; присутствие воды ведет к образованию шлама - нерастворимого в масле осадка, состоящего из окислов железа и металлических мыл. Кислоты, образующиеся в процессе окисления масла (обычно высокомолекулярные), весьма слабо диссоциируют и поэтому могут воздействовать на металл непосредственно.

Попадание воды в систему может привести к образованию эмульсии. Попав в подшипник, эмульсия может нарушить слой между вкладышем подшипника и шейкой вала, это приведет к сухому трению.

Это обстоятельство, помимо повышения температуры, может привести к аварии машины.

5) Вязкость - это характеристика, показывающая сопротивление двух слоев масла при взаимном перемешивании.

Для масла, заливаемого в трансформаторы, важно, чтобы его вязкость была как можно меньше, что способствует лучшему отводу тепла от обмоток.

Вязкость турбинных масел не должна изменяться более чем на 25% от исходной.

6) Стабильность против окисления - характеристика, показывающая стойкость масла против окисления.

7) Натровая проба определяет степень отмывки масла от посторонних примесей.

8) Число деэмульсации. Определение числа деэмульсации заключается в определении времени, в течение которого масло отделяется от воды после эмульгирования в условиях испытания.

В процессе эксплуатации турбинного масла необходимо наблюдать за деэмульгирующей способностью масла, обращать внимание на скорость разделения масла и воды, при сливе - на характер эмульсии.

Если эмульсия мелкозернистая и не расслаивается в течение 3 часов, это свидетельствует о том, что деэмульгатор израсходован и нужно ввести его дополнительно.

9) Антикоррозионные свойства определяются для турбинных и смазочных масел, для которых возможен контакт с водой при их применении. Проводится оценка степени коррозии стального стержня в смеси испытуемого масла и воды.

10) Щелочное число - количество КОН в мг, эквивалентное количеству HCl, израсходованной на нейтрализацию всех основных соединений, содержащихся в 1 г продукта.

11) Механические примеси - по этому показателю оценивается пригодность масел для дальнейшей эксплуатации (отсутствие в маслах загрязнений и веществ, агрессивных по отношению к металлическим поверхностям).

### 9.3. Характеристика маслonaполненного оборудования

Основной объем изоляционного масла залит в трансформаторы и автотрансформаторы:

- Блочные трансформаторы:  
1Т, 2Т, 3Т, 4Т: тип ТЦ-630000/500, мощность 630000 кВт.
- Трансформаторы повышающие предназначены для работы в блоке с генератором:  
5Т, 6Т - тип ОРЦ 417000/750.
- Автотрансформаторы:  
1АТ, 2АТ: тип АОДЦНТ-167000/500/330,  
3АТ, 4АТ: тип АОДЦНТ-417000/750/500.
- Резервные трансформаторы:  
1ТР, 2ТР: тип ТРДНЦ 63000/330.

- Трансформаторы собственных нужд: 21Т, 22Т, 23Т, 24Т, 25Т, 26Т.

Турбинное масло заливается в масляные системы ГЦН, турбогенератора, маслосистему ПЭН, КН-1, КН-2. Неснижаемый запас масел хранится на открытом складе центрального маслохозяйства (ЦМХ).

#### 9.4. Технологическая схема ЦМХ.

Центральное масляное хозяйство состоит из следующих объектов:

- приемного шкафа для слива масла из ж/д цистерны емкостью 60 т;
- открытого маслосклада;
- аппаратной помещения сушки и дегазации трансформаторного масла;
- помещения восстановления сорбентов и системы маслопроводов для заливки маслом оборудования и его опорожнения.

Сооружения масляного хозяйства расположены в районе башни ревизии трансформаторов и занимают центральное положение по отношению к потребителям как первой очереди, так и второй.

1. Приемный шкаф предназначен для приема свежего масла из ж/д цистерны, а также выдачи не подлежащего восстановлению масла.

В шкафу имеется приемная колонка с задвижками, и в нем же предусмотрено место для хранения гибких рукавов. Масло в маслосклад перекачивается насосом, установленным в аппаратной. При опорожнении цистерны с верхним сливом для зарядки используется вакуум-насос.

2. Открытый склад масла рассчитан на неснижаемый запас масел в количестве:

турбинного - емкость маслосистемы одного наибольшего агрегата и запас на доливки во все агрегаты в течение 45 дней;

изоляционного - емкость одного наибольшего трансформатора и запас на долив не менее 1 %, всего масла - 120 м<sup>3</sup>.

Маслосклад включает в себя 14 баков емкостью по 70 м<sup>3</sup> каждый, 7 баков турбинного и 7 баков изоляционного масла - по два бака свежего и по одному баку для масел из других нефтей.

Каждый бак снабжен фильтром с силикагелем для сушки воздуха, поступающего в бак.

3. Аппаратная маслохозяйства включает в себя собственно аппаратную, регенерационное, бытовое и подсобное помещения.

В аппаратной проводятся все операции по приему, очистке, выдаче и регенерации масел.

В аппаратной установлены два коллектора (напорный и сливной) турбинного и два коллектора трансформаторного масла, разделенные на грязную и чистую стороны. С коллекторами связаны маслобаки, приемный шкаф, маслоочистительная и маслоперекачивающая аппаратура. Через коллекторы происходит выдача масла к потребителям и в дегазационную и

прием масла из оборудования главного корпуса, трансформаторной площадки и башни ревизии трансформаторов. Для очистки масел от дисперсной и частично растворенной влаги, механических примесей и шлама наиболее широко применяются маслоочистительные машины: вакуумные маслоочистительные установки ПСМ1-3000, ПСМ2-4.

В зависимости от степени загрязнения масла работа маслоочистительных установок может осуществляться в режиме пурификации (при значительном загрязнении масла водой более 0,3% и механическими примесями).

Для подготовки масел в оборудовании обработка ведется в режиме классификации под вакуумом.

Очистку эксплуатационных и отработанных масел от механических примесей и шлама целесообразно производить методом фильтрации. Применяются фильтры-прессы ФП2-3000, ФП4-4.

Тонкость очистки масел зависит от вида и свойств фильтровального материала и конструкции фильтра.

Применяют фильтровальный картон ГОСТ 6722-75, задерживающий частицы примесей размером более 20 мкм.

4. Дегазационная трансформаторного масла размещается в пристройке к башне ревизии трансформаторов и связана с аппаратной маслохозяйства маслопроводами.

Оборудование дегазационной состоит из бака емкостью 12 м<sup>3</sup>, насоса ЦИГ-70-1, электроподогревателя масла, цеолитовой установки сушки масла, двух фильтров-прессов для очистки масла от крошек цеолита.

#### 9.5. Система маслоснабжения турбоустановки

Система смазки турбогенератора. Масло в системе используется для следующих целей

а) смазки и отводы тепла от шин роторов турбины, генератора и возбуждателя;

б) гидростатического подъема роторов турбины и генератора при работе ВПУ (валоповоротное устройство).

В состав системы смазки входят:

- главный маслобак (ГМБ);
- два напорных маслобака (НМБ);
- три маслососа смазки (МНТ);
- два насоса гидростатического подъема роторов;
- пять маслоохладителей;
- маслопроводы.

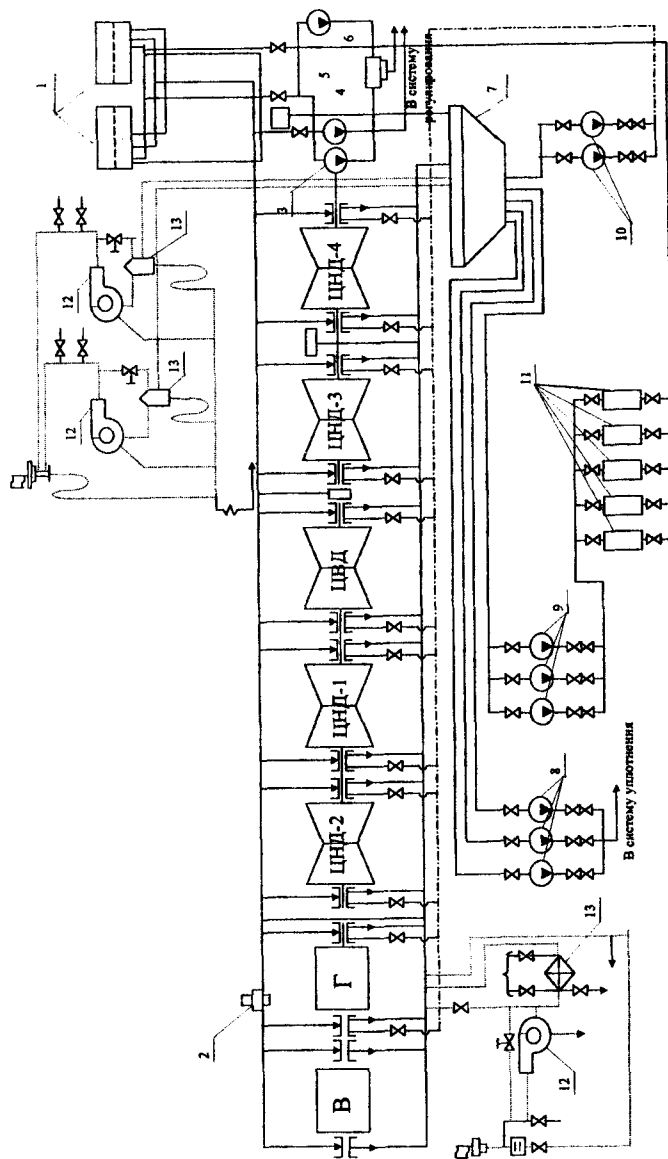


Рис. 108. Схема маслоснабжения турбоустановки:

1 – напорные маслобаки; 2 – маслораспределительная колонка; 3 – главный маслонасос; 4 – импелер; 5 – пусковой маслонасос; 6 – обратный клапан; 7 – главный маслобак; 8 – насосы уплотнения; 9 – насосы смазки; 10 – насосы смазки; 11 – маслоохладитель; 12 – центробежный вентилятор; 13 – маслоотделитель

Масло на смазку подшипников турбоагрегата в нормальных и аварийных режимах поступает самотеком из напорных маслобаков (рис. 108). Общая емкость двух НМБ – 22 м<sup>3</sup>, что выбрано из расчета дозированной смазки подшипников на время выбега роторов при останове турбины со срывом вакуума (20-25 мин). В НМБ масло непрерывно поступает из чистого отсека ГМБ с помощью одного из трех насосов смазки. Два других насоса устанавливаются для повышения надежности маслоснабжения турбоагрегата, один из них готов постоянно к автоматическому включению.

Подшипники турбины надежно работают при температуре масла перед ними 40±2 °С. Для поддержания температуры и ее регулирования за МНТ устанавливают нить маслоохладителей поверхностного типа, в которых масло охлаждается циркуляционной водой.

Наличие тяжелого валоповорота диктует необходимость гидростатического подъема роторов при пусках и остановах турбины.

Перед пуском турбины на ВПУ в целях уменьшения мощности электродвигателя предусматривается установка насосов гидростатического подъема ротора турбины и генератора.

#### 9.6. Маслоснабжение системы регулирования и защиты турбины

Масло используется как рабочая жидкость. В нормальном режиме масло в систему регулирования и защиты поступает от центробежного насоса ГМН. В случае останова турбины, а также до набора оборотов давления силового масла создается пусковым насосом (ПМН). Всас насосов регулирования ГМН и ПМН выполнен из напорных маслобаков системы смазки подшипников ТГ.

#### 9.7. Система уплотнения вала генератора

Уплотнение вала генератора используется в целях предотвращения выхода водорода из корпуса генератора. В составе системы уплотнения:

- демпферный бак (ДБ);
- три маслонасоса уплотнения (МНУ);
- два маслоохладителя уплотнений (МОУ);
- два масляных фильтра;
- регулятор перепада давлений (РПД) «масло-Н<sub>2</sub>»;
- регулятор прижимного масла (РПМ);
- гидравлический затвор (ЗГ-500);
- маслопроводы.

Принцип работы уплотнения вала генератора заключается в том, что в узком зазоре между вращающимся валом и неподвижным вкладышем уплотнения создается непрерывный поток масла, встречный по отношению к водороду.

Превышение давления масла над давлением водорода (перепад давлений «масло-Н<sub>2</sub>») устанавливается с помощью РПД в пределах 0,069-0,088 МПа.

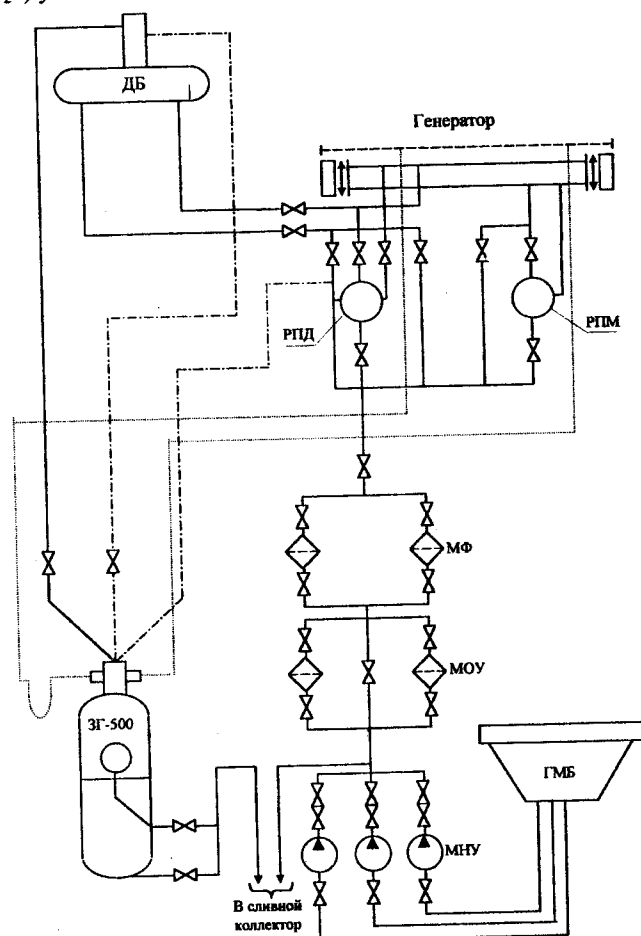


Рис. 109. Схема системы уплотнения вала генератора:

— масло — — — — — водород ..... водородно-масляная эмульсия

Поток масла, поступающий из уплотнений в заполненный водородом корпус генератора, собственно и является уплотняющим. Другой поток масла обеспечивает смазку и охлаждение узла уплотнения и сливается в сторону воздуха (в картер опорного подшипника генератора). Статическое давление в масляном слое создается и поддерживается с помощью насосов

уплотнения (МНУ) и регулирующих устройств (РПД, РПМ). Масляный слой в уплотняющем подшипнике поддерживается путем создания усилия нагрузки от давления водорода и дополнительно маслом, подаваемым в специальные камеры («прижимное масло»). Давление прижимного масла устанавливается с помощью РПМ.

При работе турбогенератора масло из чистого отсека ГМБ подается одним из насосов МНУ через маслоохладители системы уплотнения и механические масляные фильтры на регулятор перепада давлений и регулятор прижимного масла. Регулятор перепада давлений поддерживает давление масла на 0,7-0,9 кг/см<sup>2</sup> больше, чем давление водорода. Слив масла с уплотняющих подшипников со стороны водорода производится в бак гидрозатвора (ЗГ-500), служащий для запирания водорода в системе, из которой масло через поплавковый регулятор уровня поступает в общий сливной коллектор.

Для удаления водорода из маслосистемы применяется центробежный вентилятор (эксгаузер), который работает непрерывно.

Водородно-масляная смесь забирается из сливного маслопровода, проходит маслоуловитель, поступает на всас эксгаузера (ЭВОГ) и проходит огнепреградитель. Очищенный водород выбрасывается в венттрубу.

Из масляного бака и из сливного трубопровода смазки подшипников турбоагрегата водород и пары масла отсасываются автономной системой, состоящей из эксгаузера (ЭВОМ) и огнепреградителя.

## 9.8. Масляная система ГЦН

От общестанционных напорных и сливных магистралей выполнены отводы к маслосистемам ГЦН. Масляная система ГЦН предназначена для обеспечения подачи охлажденного и очищенного масла в упорно-направляющий подшипник и подшипники электродвигателя. Основными элементами системы являются циркуляционный бак, винтовые насосы, фильтры тонкой и грубой очистки и тонкой очистки масла и трубопроводы с запорной арматурой.

Масляная система работает следующим образом: масло из циркуляционного бака забирается маслоснасосом и подается через фильтр грубой очистки в холодильник, в напорный бачок и далее в упорно-направляющий подшипник.



## 10. ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА ВРХЛ

Водно-радиохимическая лаборатория осуществляет организацию химического контроля водного и газового режимов реактора и вспомогательных систем АЭС.

Кроме того, персонал лаборатории контролирует качество масел, применяемых на САЭС, работу азотно-кислородной станции, электролизной установки, холодильной станции и ХОЯТ.

Водно-радиохимическая лаборатория входит в состав химического цеха. Персонал ВРХЛ в административном отношении подчиняется начальнику химического цеха, в производственно-технической деятельности - начальнику ВРХЛ.

ВРХЛ представляет собой комплекс нескольких узкопрофильных подразделений (рис. 110). К ним относятся группы:

- периодического и оперативного контроля воды и пара;
- периодического (дневного) и оперативного контроля газа;
- наладки и обслуживания приборного парка ВРХЛ;
- приготовления химреактивов;
- периодического контроля масел, применяемых на САЭС;
- периодического контроля состава отложений и качества смол.

Оперативный персонал групп газа, воды и пара ведет экспресс-контроль за поддержанием оптимальных режимов работы теплового и водоподготовительного оборудования в течение суток с использованием медленных по времени методов контроля.

На основании результатов оперативного контроля выявляются источники загрязнения питательной воды и ее составляющих; выводятся на регенерацию и включаются в работу ионообменные фильтры установок; выявляются причины ухудшения качества газовых сред; решается вопрос о включении в работу, отключении оборудования или снижении нагрузки согласно «Регламенту оперативного химического контроля САЭС».

Дневной персонал лаборатории контроля воды и пара производит более глубокий и расширенный периодический контроль за работой основного и вспомогательного оборудования согласно «Регламенту дневного химического контроля водно-химического режима САЭС».

Периодическому контролю подвергаются все основные потоки воды и пара АЭС - конденсат турбины и теплообменников системы регенерации, питательная и циркуляционная вода, насыщенный пар, добавочная вода и т.п.

Результаты периодического контроля используются при проведении предпусковых, эксплуатационных промывок, дезактивации, пассивации контуров.

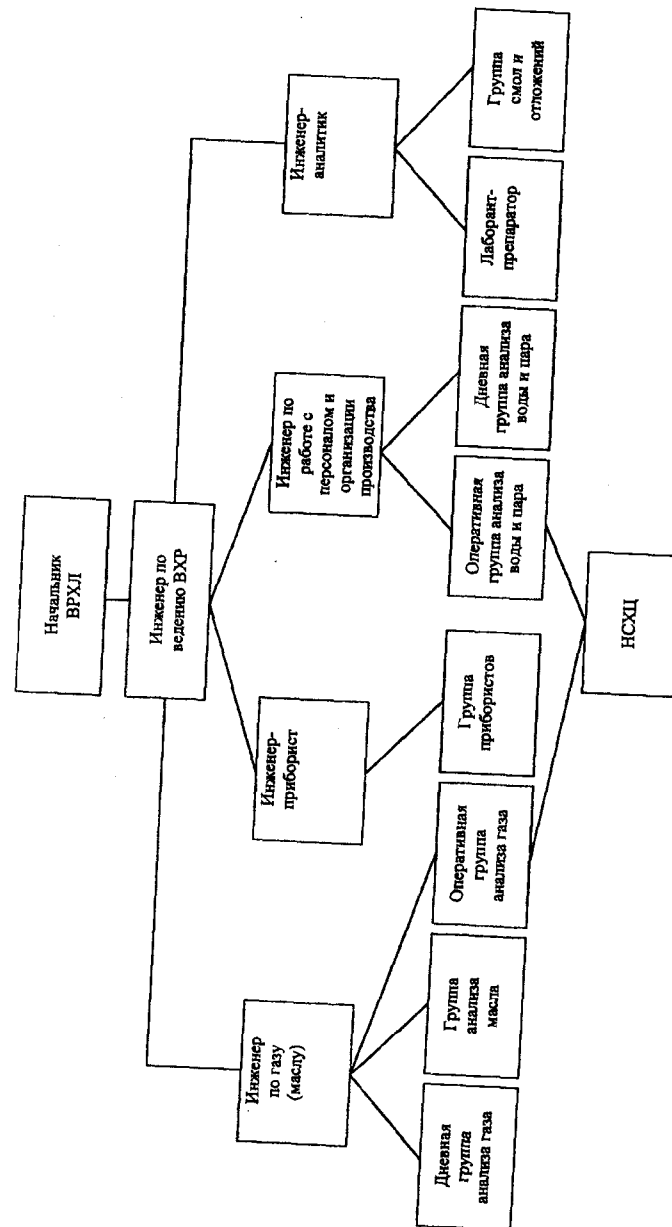


Рис. 110. Структура ВРХЛ

Группа периодического (дневного) контроля газовых сред осуществляет контроль за работой газовых систем, таких как ГПК, СУВ, баковое хозяйство согласно «Регламенту химконтроля газовых систем».

Группа анализа смол и отложений производит входной контроль смол, используемых на АЭС, а также контроль за качеством ионитов, участвующих или участвовавших в технологическом процессе, дает заключение о пригодности их для эксплуатации согласно «Инструкции по входному контролю смол».

Группа производит калибровку аналитических приборов, опробование новых методик, выполнение нестандартных методов анализа. Кроме того, названной группой контролируется внутреннее состояние оборудования, ведется наблюдение за процессами коррозии, накипеобразования и т.д. Осмотр оборудования и анализ отложений производится в ППР или СПР при вскрытии оборудования согласно положению, изложенному в «Графике контроля коррозионного состояния и отбора отложений с оборудования» и «Сборнике методик контроля состояния оборудования».

Группа приготовления реактивов (препараторская) обеспечивает растворами реактивов, необходимых для анализа воды, пара, газа, масел непосредственно ВРХЛ и в некоторых случаях подразделения САЭС.

Кроме того, здесь готовятся стандартные растворы для калибровки колориметрических приборов, производится анализ электролитов, применяемых на АЭС.

Приготовление реактивов и стандартов выполняется согласно «Инструкции по приготовлению реактивов для химического контроля САЭС».

Группа анализа масел осуществляет контроль качества турбинного, трансформаторного, промышленного, моторного и прочих масел, дизельного топлива, используемых на САЭС согласно «Регламенту химического контроля свежего и эксплуатационного масел».

Организацию производственно-технической деятельности лаборатории осуществляет инженерный состав ВРХЛ (рис. 110), в функции которого входит:

оснащение лаборатории оборудованием, документацией, реактивами, приборами, вспомогательными материалами, средствами индивидуальной защиты и т.д.;

выбор методов анализа, контроль за их выполнением, выявление причины нарушения ВХР, участие в разработке мероприятий по дезактивации, промывке контуров и т.п.;

устранение дефектов лабораторного оборудования, расстановка персонала по рабочим местам и т.д. согласно должностной инструкции инженера 1(2) категории ВРХЛ. Организацию устранения нарушения ВХР, неполадок, дефектов оборудования в течение суток осуществляет начальник смены химического цеха (НСХЦ), которому оперативно подчиняется весь дежурный персонал ВРХЛ.

#### Список литературы

1. Глинка Н.П. Общая химия. Л.: Химия, 1984.
2. Бусев А.И., Ефимов И.П. Определения, понятия, термины в химии. М: Просвещение, 1977.
3. Пономарев В.Д. Аналитическая химия. М: Высшая школа, 1982.
4. Попадич И.А. Аналитическая химия. М: Химия, 1989.
5. Шретер В. Химия. Справочное издание. М: Химия 1989.
6. Коростелев Д.П. Водный режим и обработка радиоактивных вод атомных электростанций. М: Энергоатомиздат, 1983.
7. Акользин П.А. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. М: Энергоиздат, 1982.
8. Либниц Э., Штруппе Х.Г. Руководство по газовой хроматографии. М: Мир, 1988.
9. Авдеева А.А. Хроматография в энергетике. М: Энергия, 1980.
10. Нормативно-технические материалы Смоленской АЭС.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Сокращения и термины.....	3
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ОСНОВНЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ, ЗА СРЕДАМИ КОТОРЫХ ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ХИМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ.....	6
1.1. Принципиальная тепловая схема САЭС.....	6
1.2. Контур охлаждения каналов СУЗ.....	15
1.3. Насосно-теплообменная установка схем «Л» и «Д».....	18
1.4. Насосно-теплообменная установка бассейнов выдержки кассет и технологических каналов.....	19
1.5. Бассейн-барботер.....	21
1.6. Насосно-теплообменная установка промконтра реакторного отделения.....	21
1.7. Теплофикационная установка ТФУ.....	23
1.8. Испаритель.....	26
1.9. Система водородно-водяного охлаждения турбогенератора.....	27
1.10. Система сбора, переработки и возврата вод САЭС.....	30
1.11. Система химобессоленной воды.....	31
1.12. Система газового контура САЭС.....	34
1.13. Установка сжигания гремучей смеси (УСГС).....	39
1.14. Установка подавления активности (УПАК).....	42
1.15. Главный предохранительный клапан (ГПК).....	42
1.16. Установка разделения воздуха А - 0,6.....	44
1.17. Установка разделения воздуха $K_{\text{ж}}KA_{\text{ж}} - 0,25$ .....	45
1.18. Установка разделения воздуха $K_{\text{ж}}KA_{\text{ж}}A - 0,5$ .....	48
1.19. Электролизная установка СЭУ-20.....	51
1.20. Хранилище жидких отходов (ХЖО).....	52
2. ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АЭС.....	55
2.1. Нормируемые и контролируемые показатели качества теплоносителя.....	55
2.2. Задачи водно-химического режима.....	57
2.3. Допустимые отклонения ВХР.....	58
2.4. Водно-химические процессы, происходящие в конденсатно-питательном тракте (КПТ).....	59
2.5. Водно-химические процессы, протекающие в КМПЦ.....	61
2.6. Водно-химические процессы, протекающие в паровом тракте.....	62
2.7. Нормируемые показатели качества сред вспомогательных контуров.....	62
2.8. Средства поддержания водно-химического режима (СВО-1, ХВО, КО).....	64
2.9. Краткие сведения о переходных режимах блока.....	73

2.10. Влияние отдельных примесей на водно-химический режим работы оборудования.....	76
2.11. Образование накипи и отложений на теплопередающих поверхностях.....	80
3. УСТАНОВКИ СПЕЦВОДООЧИСТКИ.....	85
3.1. Установка очистки вод бассейна выдержки СВО-2.....	85
3.2. Установка очистки контура СУЗ, СВО-3.....	86
3.3. Установка очистки трапных вод СВО-4.....	86
3.4. Установка очистки организованных протечек СВО-5.....	89
3.5. Установка очистки вод взрыхления и промывочных вод СВО-6.....	90
3.6. Узел приготовления регенерационных растворов СВО-7.....	91
3.7. Узел приготовления дезактивирующих растворов СВО-8.....	91
3.8. Узел повторного использования дезактивирующих растворов СВО-9.....	92
3.9. Узел приготовления и намыва перлита СВО-11.....	93
3.10. Установка очистки дезактивирующих растворов СВО-12.....	94
3.11. Установка очистки вод бассейна-барботера СВО-13.....	94
3.12. Узел подготовки смол неядерного класса СВО-14.....	95
3.13. Установка очистки воды промконтра реакторного отделения СВО-15 (3 блок).....	96
3.14. Узел перекачки отработанных смол и перлита в ХЖТО СВО-10.....	96
4. ИОННЫЙ ОБМЕН.....	97
4.1. Иониты, используемые на АЭС.....	97
4.2. Входной контроль качества ионитов.....	99
4.3. Стрессение ионитов.....	102
4.4. Свойства ионитов.....	104
4.5. Обменная емкость.....	105
4.6. Химические процессы, происходящие при ионном обмене.....	107
4.7. Процессы регенерации.....	109
5. ОСНОВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ.....	110
5.1. Намывной фильтр.....	110
5.2. Устройство насыпного механического и ионитного фильтров.....	110
5.3. Фильтр-регенератор.....	113
5.4. Устройство и работа выпарного аппарата.....	114
5.5. Устройство и работа конденсатора-дегазатора (КДГ).....	116
6. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ХИМИИ.....	119
6.1. Определения, понятия, термины.....	119
6.2. Методы анализа.....	123
6.3. Химические реактивы.....	126
6.4. Общие правила обращения с реактивами.....	127
6.5. Правила обработки и использования полиэтиленовой и стеклянной посуды.....	128

6.6. Дистилляция.....	129
6.7. Устройство и принцип работы аквадистиллятора.....	130
6.8. Весы и взвешивание.....	132
6.9. Условия проведения анализа (возможные ошибки лаборанта).....	142
6.10. Вода.....	145
6.11. Растворы.....	150
6.12. Способы выражения концентрации растворов.....	151
6.13. Вопросы лабораторной техники химического анализа.....	155
7. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА И ПРИБОРЫ ХИМИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ВРХЛ.....	159
7.1. Потенциометрический метод анализа.....	159
7.2. Типы электродов.....	162
7.3. Универсальный иономер ЭВ-74.....	170
7.4. Иономер лабораторный И-130.....	172
7.5. Иономерный анализатор жидкости рNa-201.....	173
7.6. Иономер лабораторный И-135.....	175
7.7. Хлоридомер лабораторный проточный ХЛП.....	176
7.8. Кондуктометрический метод анализа.....	183
7.9. Кондуктометр переносной ЛК-563.....	188
7.10. Кондуктометр переносной с универсальным питанием КПУ-011Т.....	190
7.11. Кондуктометр электродный лабораторный КЭЛ-1М.....	191
7.12. Кондуктометр переносной КП.....	192
7.13. Фотометрический метод анализа.....	193
7.14. Фотоэлектроколориметр КФК-2.....	195
7.15. Турбидиметрический метод анализа.....	196
7.16. Флуориметрический метод анализа.....	197
7.17. Эксплозиметр ЭТХ-1 (газоанализатор).....	200
8. ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ.....	204
8.1. Обзор контролируемых газов на АЭС. Основные точки контроля.....	204
8.2. Химические газовые законы.....	207
8.3. Теоретические основы хроматографического анализа газа.....	212
8.4. Принцип разделения газовой смеси на компоненты.....	213
8.5. Детекторы.....	214
8.6. Колонки.....	219
8.7. Термостат колонок.....	220
8.8. Газовый дозатор.....	221
8.9. Сорбенты.....	223
8.10. Газ-носитель.....	224
8.11. Основные параметры хроматографов.....	225
8.12. Калибровка хроматографа.....	227
8.13. Хроматографы ЛХМ-8МД, ЛХМ-80.....	228
8.14. Особенности анализа трансформаторных масел.....	232

8.15. Хроматографы ЛХМ-80 с детектором ионизации в пламени.....	234
8.16. «Газохром – 3101».....	236
8.17. Отбор газовых проб.....	238
9. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАСЛА.....	240
9.1. Перечень масел, применяемых на САЭС.....	240
9.2. Физико-технические показатели масел.....	241
9.3. Характеристика маслonaполненного оборудования.....	243
9.4. Технологическая схема ЦМХ.....	244
9.5. Система маслоснабжения турбоустановки.....	245
9.6. Маслоснабжение системы регулирования и защиты турбины.....	247
9.7. Система уплотнения вала генератора.....	247
9.8. Масляная система ГЦН.....	249
10. ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА ВРХЛ.....	250
Список литературы.....	253

ГОСТЬКОВ Владимир Васильевич

**Режимы и нормы эксплуатации оборудования  
по химико-радиационному цеху АЭС**

Учебное пособие

Редактор З.Д. Лапшина  
Компьютерная верстка М.Ю. Опарина

Лицензия ЛР №020264 от 15.12.96.

Подписано в печать 31.03.99.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная № 1.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 15,11. . Уч.-изд. л. 21,74

Тираж 350 экз. Заказ 134

Ивановский государственный энергетический университет

Отпечатано в ОМТ МИБИБ

153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34