# Лекция 6

# 4. ГАЗООЧИСТКА НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

## 4.1. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ АЭС

Главное здание атомных электростан­ций разделено по зонам:

* ***зона строгого режима****,* где возможно воз­действие на персонал радиационного излучения, а также загрязнение воздуха и конструкций радио­активными веществами   
  В этой зоне все помеще­ния подразделяются на

1. ***необслуживаемые***
2. ***полуобслу­живаемые****.*При работающем реакторе присутствие пер­сонала в необслуживаемых помещениях не допускается, а в полуобслуживаемых — допустимо лишь периодиче­ское, чтобы суммарная доза облучения не превы­шала допустимой.,

* ***зона свободного режима****,* в ко­торой полностью исключено воздействие радиационных факторов.

В соответсвии с этим системы вентиляции АЭС, включают установки

1. для вентиляции помещений зоны свободного режима,
2. для специальной технологиче­ской вентиляции.

Назначение первых - поддержание санитарно-гигиенических норм по температуре, влажности и запыленности. В этом случае можно ограничиться естественной аэрацией.

Вторые работают по приточно-вытяжной схеме, которая обеспечивает надежную вентиляцию всего помещения, а потоки воздуха направляет из наиболее «чистых» зон в более «загрязненные», исключая перетечки в обратном направлении.

Вентиляционные установки АЭС, которые состоят из большого числа агрегатов, перекачивающих «чистый» и «загрязненный» воздух, объединеняют в вентиляционных центрах. Это позволяет улучшить их обслуживание и сократить персонал, целесообразно использовать цехо­вые площадки и исключает устройства для борьбы с аэродинамическим шумом. Недостаток вентиляцион­ных центров - увеличение протяженности возду­ховодов.

Вентиляционные центры размещаются в от­дельных зданиях или в пристройках к главному зданию:

* Приточный, «чистый», вен­тиляционный центр располагается со сто­роны машинного зала, свободной от радиоактивных примесей.
* Вытяжной, «грязный», вентиляционный центр распо­лагается в пристройке к реакторному залу.

При этом:

* сокращаются трассы соответствующих воздуховодов
* наилучшим образом обеспечивается ступенчатость спец­вентиляции
* лучше удов­летворяются требования к компоновке и обслужива­нию, неодинаковые для этих центров.

Работа вентиляционных систем контролируется службой КИПиА, а кон­троль за качеством приточного и удаляемого воздуха ведет служба дозиметрии.

Выброс воздуха в атмосферу после вытяжного венти­ляционного центра производится через вентиляционные трубы. Высота труб для реакторов с тепловой мощностью более 300 МВт должна быть не менее 100 м. ~~Увеличение высоты трубы приво­дит к повышению ее стоимости, однако позволяет идти на большие концентрации радиоактивных веществ и не­сколько упрощает и удешевляет очистные сооружения. Оптимальная высота вентиляционной трубы определяется технико-экономическим расчетом при соблюдении требуемых условий с технологической и радиационной точек зре­ния.~~

Вытяжные воздуховоды прокладываются с небольшим уклоном в одну сторону для дренажа вла­ги, образующейся из водяных паров. Дренаж производится в баки «грязного»» конденсата для последующей очистки.

### 4.1.1. Специальная технологическая вентиляция

При разработке и проектировании систем вентиля­ции АЭС специальной технологической вентиляции уделяется особое внимание

**Первая задача** этой вентиляции - под­держание концентраций всех радиоактивных примесей на уровне ниже предель­но допустимых, устанавленных службой дозиметрии

* *для полуобслуживаемых* помещениий – в процессе эксплуатации оборудования
* *для необслуживаемых* помещенияй - в процессе ремонта оборудования.

Кроме того, эта вентиляция для зоны строгого режима решает попутно задачи обычной санитарно-гигиенической вентиляции, установленные для зоны свободного режима.

Основными требованиями к специальной вентиляции - ***высокая эффективность и надежность:***

* При рабо­тающем реакторе перерывы в работе этой системы не­допустимы.   
  *При этом назначение вентиляции — не ликвидация ре­зультатов нарушений эксплуатации, а поддер­жание радиационно-безопасных условий работы персо­нала   
  в отсутствие таких нарушений.*
* При перерывах в работе реактора система специаль­ной вентиляции должна продолжать работу
* Система должна быть разомкнутой

**Вторая задача** вентиляционных установок зоны строгого режима является обеспечение заданных температур

* не выше 50°С в полуобслуживаемых поме­щениях
* не выше 70°С в необслуживаемых помеще­ниях.

Если *разомкнутая* приточно-вытяжная вентиляция с этой задачей не справ­ляется, то система дополняется специальной системой для отвода теплоты, которая должна быть замкнутой, т. е. с рециркуляцией.

Отдельные помещения зоны строгого режима разли­чаются по степени радиоактивности. Кроме того, отли­чаться по радиоактивности может и оборудование, раз­мещенное в одной и той же части здания.

Для создания наиболее благоприятной радиационной обстанов­ки при проектировании систем специальной вентиляции обязательны следующие правила:

* к одной вентиляционной системе недопусти­мо параллельное подсоединение помещений разной сте­пени радиоактивности;
* для уменьшения производительности вентиляцион­ных установок помещения различной степени активности могут быть подсоединены к одной вентиляционной уста­новке при последовательном подключении, т.е. с применением *ступенчатой системы вентиляции.* При этом приточный воздух подается в обслуживаемые помещения и коридоры, откуда через клапаны избыточ­ного давления перепускается в необслуживаемые поме­щения, а из них удаляется вентиляторами вытяжных установок.
* из мест повышенной радиоактивности должна осу­ществляться отдельная вентиляция для локализации ра­диоактивности, уменьшения общей производительности вентиляционных установок и улучшения общей радиаци­онной обстановки;
* 100%-ное резервирование вентиляцион­ных агрегатов с автоматическим включением резервных агрегатов и автоблокировкой электродвигателей клапанов приточной и вытяжной систем с двигателями соот­ветствующих вентиляционных установок;
* выбор производительности вентиляционных устано­вок должен делаться с учетом:
* перегрузок (для реактор­ного зала);
* условий проведения ремонтных работ для оборудования первого контура,
* эксплуатационных нарушений, не требующих останова реактора, например наличия дефектов оболочек у 1% общего количества твэлов.

Ориенти­ровочные значения кратности воздухообмена в зоне строгого режима составляют:

|  |  |
| --- | --- |
| Объем помещения, м3 | Кратность воз­духообмена, 1/ч |
| До 100 | 10 |
| 500 | 5 |
| 1000 | 3 |
| 5000 | 2 |
| 10000 и более | 1 |

Эти значения уточняются в соответствии с предельно допустимыми концентрациями радиоактивных изотопов в условиях эксплуатации данного помещения.

Наибольшая радиоактивность имеется в боксах главных циркуляционных насосов и главных задвижек, а также в боксах парогенераторов. Здесь же могут иметь место протечки активного теплоносителя. Поэтому в этих помещениях при ремонтных ра­ботах должен быть обеспечен 3-5 — кратный обмен воздуха с учетом включения резервных вентиляторов.

## 4.2. ДЕЗАКТИВАЦИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Система технологической спецвентиляции может частично использо­ваться для удаления радиоактивных технологических сдувок газа.

Однако на атомных электростанциях суще­ствует большое разнообразие технологических сдувок, при этом бывают периоды повышенной газовой активно­сти, требующие организации специальной дезактивации газообразных выбросов, например периоды перегрузок.

Поэтому на АЭС предусматриваются установки для дезактивации газооб­разных радиоактивных отходов, в основном инертных газов и йода. Эти газы имеют небольшой период полу­распада и, если их выдержать в газгольдерах несколько часов, распадаются:

|  |  |
| --- | --- |
| Продукты деления | Период полураспада |
| Йод-131 | 8 сут |
| Йод-133 | 20,8 ч |
| Ксенон-133 | 5,27 сут |
| Ксенон-135 | 9,13 ч |
| Криптон-87 | 1,3 ч |
| Криптон-88 | 2.77 ч |

При этом образуются новые радиоактивные веще­ства в виде аэрозолей с меньшей активностью. Такие аэрозоли можно задержать фильтрами, которые предусматриваются в системе дезактивации газообразных радиоактивных отходов.

Система проектируется с учетом не только нормаль­ных условий эксплуатации, но   
и возможных аварийных ситуаций.

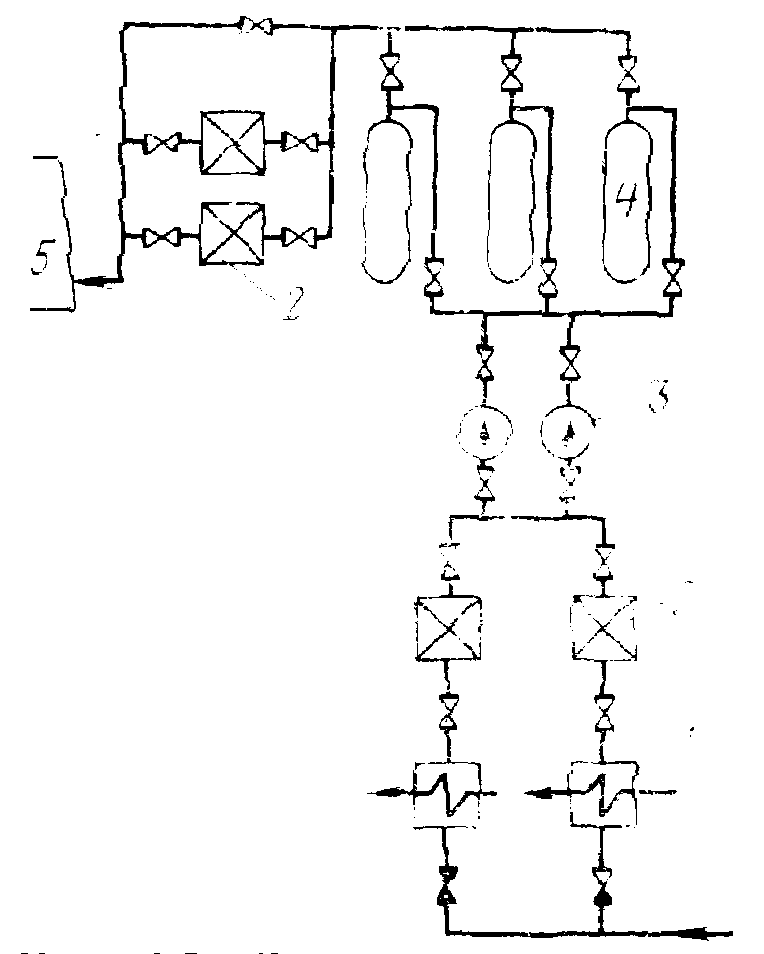
Применяются

* простая выдержка в газгольдерах,
* выдержка газов в соче­тании с их адсорбцией.

Первый метод проще, но очень громоздок, поэтому применение его в процессе нормальной эксплуатации ограничивается атомными электростанциями относитель­но небольшой мощности.

Второй метод менее громоздок, но дороже, поэтому его можно рассчитывать только на нормальную эксплуа­тацию, но не на период перегрузки и аварийной ситуа­ции, так как эти периоды хотя и кратковременны, но требуют единовременной обработки больших количеств газообразных радиоактивных отходов.

Для мощных атомных электростанций наиболее целе­сообразно сочетание обоих методов, причем установка газгольдеров рассчитывается на возможные аварийные ситуации и перегрузки. В эти периоды считается возможным повышение норм радиоактивных выбросов (см. табл. 1.6) за счет одно­кратного выброса в трубу в 5 раз большей радиоактив­ности,  
но при соблюдении суммарной недельной нор­мы в соответствии с табл. 1.6.



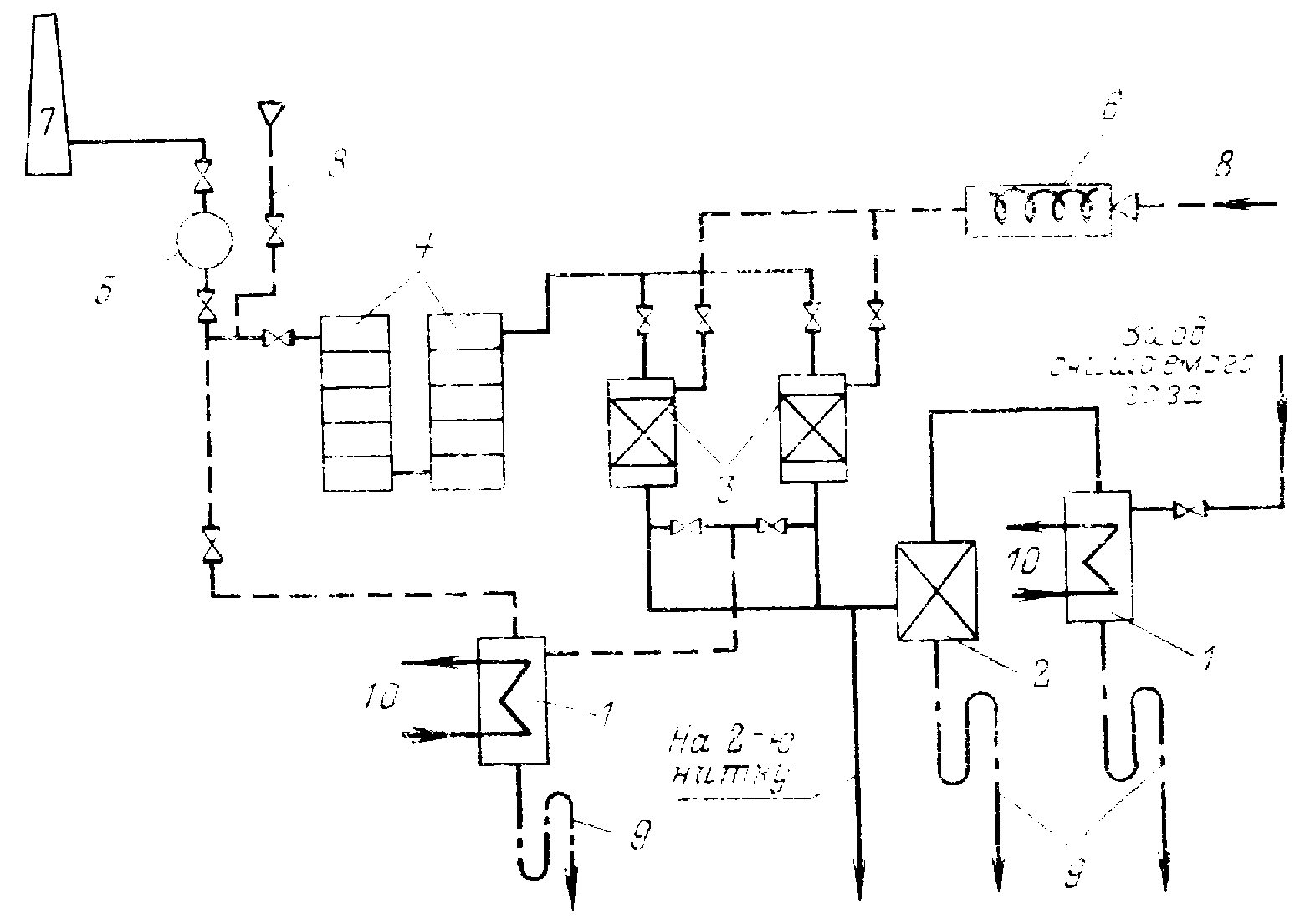
Повышенный выход ра­диоактивных газов из оста­новленного для перегрузки реактора характерен для периода длительностью 6-8 ч. В это время газы по­даются в газгольдеры компрессорами под давлением 0,8-1,0 МПа. Газгольдеры устанавлива­ются с резервом - обычно два рабочих и один резерв­ный равных емкостей; предусматриваются два компрес­сора со 100%-ным резервом. Время выдержки прини­мается по распаду у ксенона-133.

На рис.4.1 представлена схема газгольдерной уста­новки для выдержки газов в период перегрузки.

Из-за наличия в составе газовых сдувок атомарного водорода имеется опасность образования взрывоопасной смеси, поэтому радиоактивные газы разбавляются азо­том, что приводит к существенному увеличению их объ­ема. Это удорожает систему дезактивации газов с при­менением газгольдеров.

*Рис.4.1.* Схема газгольдерной установки для выдержки газов в период перегрузки:   
 1- охладитель газа; 2 - аэрозоль­ный фильтр;   
 3 - компрессор: 4 - газгольдер;   
 5 - вентиляционная труба.

В отличие от этого очистка радиоактивных газов пу­тем их сорбции активированным углем гораздо перс­пективнее. Схема такой очист­ки показана на рис. 4.2.



*Рис.4.2.* Схема очистки газообразных отходов АЭС радиохромато­графическим методом.

1-охладитель газа;   
2-аэрозольный фильтр: 3-цеолитовые колонны: 4-фильтр-адсорбер;   
5-газодувка;   
6-нагреватель воздуха; 7-вентиляцион­ная труба;   
8-атмосферный воздух; 9-в дренаж;   
10-охлаждающая вода.

Радиоактивные газы разбавляются азотом до взрыво-безопасной концентрации и направляются по трубопро­воду в теплообменник 1, где происходят их охлаждение до 10-20°С и конденсация основной части водяных па­ров, содержащихся в газах.

Затем газ освобождается от капельной влаги в само­очищающемся аэрозольном фильтре 2*,* насадкой которого служит мат из грубого стекловолокна с диаметром нитей 10—12 мкм.

Для глубокой осушки газа до влагосодержания не более 0,1 г/м3 устанавливаются две цеолитовые (или силикагелевые) колонны 3*.* Когда в одной колонне про­изводится глубокая осушка газа, в другой осуществляет­ся регенерация цеолита (или силикагелия) нагретым атмосферным воздухом, температура которого перед по­ступлением в газодувку 5 снижается с помощью охла­дителя 1.

Глубокая осушка газов необходима для предотвра­щения сорбции влаги активированным углем, заполняю­щим адсорбер 4.

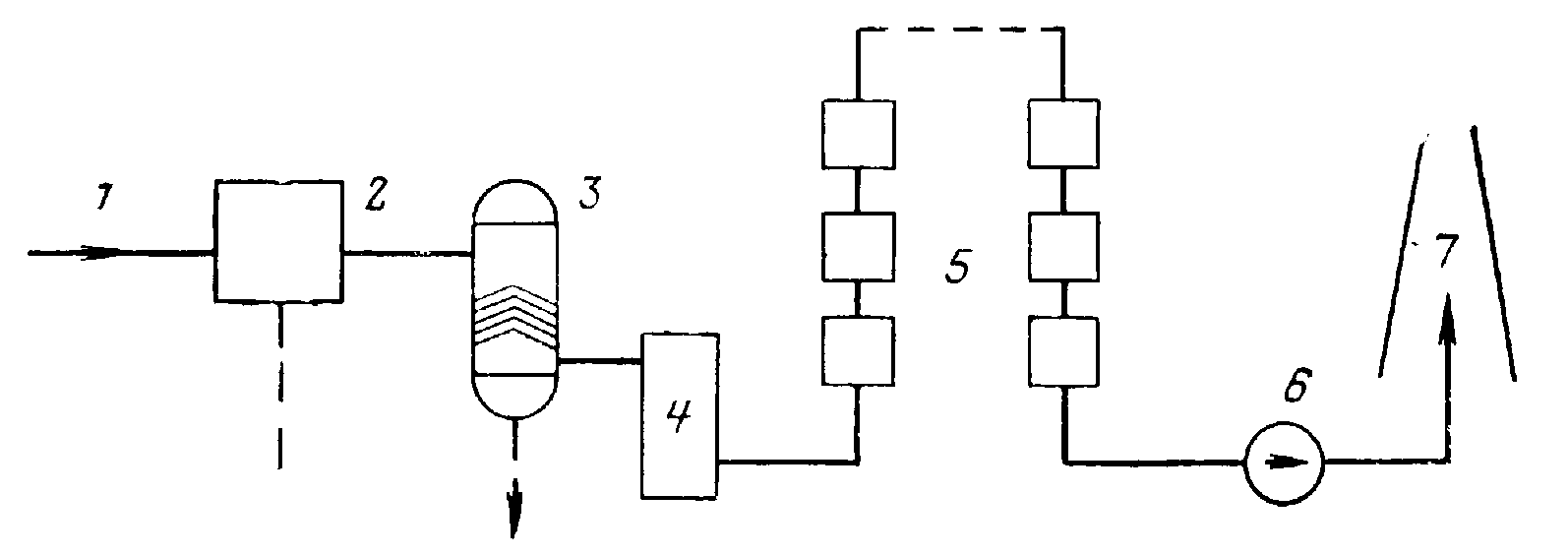
Обычно устанавливаются три па­раллельные нитки:

* первая непрерывно ра­ботает в нормальном режиме при малом расходе газов,
* другая принимает на себя газ в случае повышенного га­зовыделения,
* третья находится в ремонте или резерве.

В результате схема получается довольно сложной, но она обеспечивает глубокую очистку газов, и поэтому нашла широкое применение.

В ряде случаев количество поступающих на очистку газов и содержание в них водорода довольно велики, что требует подачи значительного количества азота для разбавления водорода и приводит к увеличению габари­тов оборудования, объема адсорбера и повышению стои­мости установки.

Для уменьшения объема газов в этом случае применяется сжигание водорода в среде кислорода на поверхности платинового или палладиевого катализатора в аппаратах-рекомбинаторах. Принципиальная схема такой установки показана на рис.4.3.



*Рис.4.3*. Схема системы очистки газов с пред­ва­рительным дожиганиемводорода:

1-вход смеси;   
2- рекомбинатор;   
3 *-* аэрозольный фильтр;   
4 *-* цеолитовый фильтр;   
5 - адсорбер; 6 - газодувка;   
7 - вентиля­ционная труба.

Недостаток этой схемы заключается в возможности конденсации пара в трубопроводах на пути до рекомбинатора с образованием водяной пробки или неконтроли­руемого повышения концентрации водорода перед рекомбинатором.

В связи с этим находит применение схема дожигания водорода в циркуляционном контуре, заполненном азотом. Азот обеспечивает разбав­ление водорода до взрывобезопасных концентраций. После сжигания водорода газовая смесь направляется на очистку.

Методы очистки технологических газов АЭС путем поглощения радиоактивных продуктов угольных фильтрах-адсорберах нашли широкое применение, так как они надежны и пре­дотвра­щают загрязнение атмосферы при всех режимах работы электростанции.

## 4.3. ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННОГО ВОЗДУХА НА АЭС

Расходы вентиляционного воздуха на блоке 1000 МВт достигают сотен тысяч кубометров в час. Количество радиоактивных газов в вентиляционном воздухе не представляет опасно­сти для окружающей среды. Поэтому в очистке та­ких объемов воздуха от них нет нобходимости.

Вместе с тем требуется очистка воздуха от аэрозолей.

Методы, применяемые для очист­ки воздуха от радиоактивных аэрозолей, сходны с обыч­ными методами очистки газов от неактивной пыли, но для их осуществления требуются иные технические реше­ния, другие материалы и оборудование.

В настоящее время фильтрация является основным средством очистки воздуха от радиоактивных аэрозолей. Для этой цели применяются, как правило, фильтры, соз­данные на основе специальных тонковолокнистых мате­риалов.

Наибольшее распространены ткани, выпол­ненные на основе материалов ФПП и ФПА:

* Ткань ФПП представляет собой слой ультратонких (1,5—2,5 мкм) волокон перхлорвинила, нанесенный на марлевую под­кладку. Ткань гидрофобна, стойка по отношению к кис­лотам и щелочам, но подвержена воздействию масел и органических растворителей. Ткань можно применять при температурах до 60°С.
* Ткань ФПА изготавливается из ультратонких (~1,5 мкм) волокон ацетилцеллюлозы. Ткань гидро­фильна, поэтому фильтры могут применяться при отно­сительной влажности воздуха не более 80% и при температурах не более 150°С**.** Ткань стойка по отношению к маслам, но нестойка при воздействии кислот и щелочей.

Фильтры с указан­ными типами тканей имеют степень очистки не ниже 99,9%.

#### Таблица 4.1

**Характеристика тканей ФПП и ФПА**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Марка ткани | Толщина, мм | Степень проскока, % |
| ФПП-15-1,5 | 0,2 | 0,100 |
| … | … | … |
| ФПП-25-6,0 | 0,8 | 0,005 |
| ФПА-15-4,0 | 0,6 | 0,050 |
| ФПА-15-6,0 | 0,8 | 0,005 |

Примечания: I. Первая цифра марки ткани - диаметр волокон в микронах, увеличенный   
 в 10 раз, вторая цифра сопротивление в кгс/м2.

2. Степень проскока приведена при испытаниях на масляном тумане   
 при скорости 0,01 м/с.

На действующих атомных электростанциях широко распространены рамочные фильтры тонкой очистки типа Д.

Каркас фильтра - деревянный, фильтр собран из П-образных рамок. Фильтры применяются для индиви­дуальной и групповой установок. Особое внимание тре­буется уделять герметичности их установки. Сопротив­ление фильтров складывается из сопротивления ткани и воздушных каналов.

При подборе вентиляторов сопротивление фильтра рекомендуется принимать удвоенным вследствие накоп­ления пыли.

Пылеемкость фильтра ограничивается обыч­но 70—80 г/м2.

Фильтры устанавливаются в специаль­ных камерах.

Для очистки газов от радиоактивного йода применя­ются фильтры-адсорберы, в которых в качестве сорбента используется активированный уголь. Применяются филь­тры марок ФП-100, ФП-200. Сопротивление фильтров по воздуху составляет 700 Па.

Фильтры тонкой очистки предназначены для улавли­вания с очень высокой эффективностью (не ниже 99%) мелких частиц при низкой концентра­ции (1 мг/л) и малой скорости фильтрования (1,0 м/с). Обычно эти фильтры не подвергают регенерации.

При значительном количестве частиц и паров в воздухе для повышения эффективности и срока службы фильтров тонкой очистки перед ними устанавливают фильтры грубой очистки, которые выполняются из более грубых волокон (например, стек­ловолокна диаметром 30 мкм).

Филь­тры грубой очистки применяют для очистки газовых вы­бросов со средней (1-100 мг/л) и высокой (до 1 г/л) концентрацией дисперсной фазы при средней и высокой скоростях фильтрования. Фильтры этого класса могут быть как нерегенерируемыми, так и периодически или непрерывно регенерируемыми.

Рациональный выбор фильтров и схем фильтроваль­ных установок различных вентиляционных систем позво­ляет обеспечить надежную очистку выбрасываемого воздуха и исключить загрязнение окружающей среды вентиляционными выбросами АЭС.