Обращение с газообразными радиоактивными отходами и системы вентиляции

ГРО

- При работе АЭС радиоактивные газы и аэрозоли возникают как результат технологического процесса производства электроэнергии и должны удаляться из помещений и оборудования непрерывно или периодически.
- По источникам образования радиоактивные газоаэрозольные выбросы можно разделить на две группы: технологические сдувки и вентиляция производственных помещений, в которых расположено оборудование с радиоактивными средами.
- Технологические сдувки – большая радиоактивность, но относительно малый расход сдуваемого воздуха или газа.
- Вентиляция – малая активность воздуха, но очень большой его расход.
- Различные объемы и уровни загрязненности групп ГРО требуют разного подхода к их очистке.
- В настоящее время для проектируемых АЭС допустимый уровень радиационного воздействия на население от газоаэрозольных выбросов уменьшен в 4 раза (с 200 до 50 мкзВ/год)

ГРО

- Технологический процесс на АЭС требует постоянного удаления из контура теплоносителя и технологического оборудования газов (не только радиоактивных). Эти газы и образуют технологические сдувки. На АЭС с ВВЭР расход этих газов достигает 70 куб.м/час. Активность этих газов велика, поэтому перед выбросом в атмосферу они должны подвергаться очистке.
- Аэрозоли образуются в результате неорганизованных протечек в помещения станции, в которых расположено оборудование радиоактивных контуров.
- Наибольший вклад в дозу облучения населения вносят инертные радиоактивные газы (ИРГ) – аргон, криптон, ксенон и радионуклиды ^{131}йода, ^{60}кобальта, ^{134}цезия, ^{137}цезия.
- Среди нуклидов, попадающих в помещения, из-за биологической значимости выделяют йод, который может находиться в различных физико-химических и агрегатных состояниях.

Контролируемый уровень выбросов в атмосферу за сутки ГБк (Ku)

Радионуклид	АЭС с ВВЭР	АЭС с РБМК
ИРГ (аргон, криптон, ксенон)	$1,9*10^3$ (51)	10^4 (270)
^{131}I (газовая + аэрозольная формы)	0,05 ($1,4*10^{-3}$)	0,26 ($7*10^{-3}$)

Способы снижения активности ГРО

- Основные классы ГРО:

  - инертные радиоактивные газы (ИРГ)

  - радионуклиды йода

  - аэрозоли.

- Снижение активности:

ИРГ – выдержка некоторое время для распада короткоживущих нуклидов

Йод - улавливание радионуклидов активированным углем, а также выведение его путем химических реакций с фильтрующими материалами

Аэрозоли – очистка на аэрозольных (тонковолокнистых) фильтрах

Снижение активности ИРГ

- От ИРГ очищают в первую очередь технологические сдувки. В воздухе вентиляционных систем ИРГ мало.
- Для уменьшения активности ИРГ используют:

  - проточные камеры выдержки (герметичный объем, внутри которого для газового потока организован лабиринт);

  - ресиверы (газгольдеры) для выдержки газов (емкости для хранения и выдержки высокоактивных газов);

  - радиохроматография или газовая хроматография (процесс разделения газовых смесей при пропускании их через твердое активное вещество с развитой поверхностью. При прохождении газа через колонну с сорбентом газ адсорбируется, т.е. физически «прилипает» на поверхности сорбента. Кроме процесса адсорбции происходит и процесс десорбции, т.е. отрыв молекул газа и перемещение по колонне. В итоге время прохождения газа через колонну довольно велико. В качестве сорбента выступает активированный уголь)

Очистка от йода

- От йода очищается как газ технологических сдувок, так и вентиляционный воздух.
- Для очистки от йода в аэрозольной форме используются аэрозольные фильтры, молекулярный йод удаляется на угольных фильтрах, йод в составе органических соединений – на угольных фильтрах со специальной обработкой веществами, которые могут вступать в химическое взаимодействие с йодом, например, $AgNO_3$.
- Для АЭС характерны аэрозольная и молекулярная формы йода

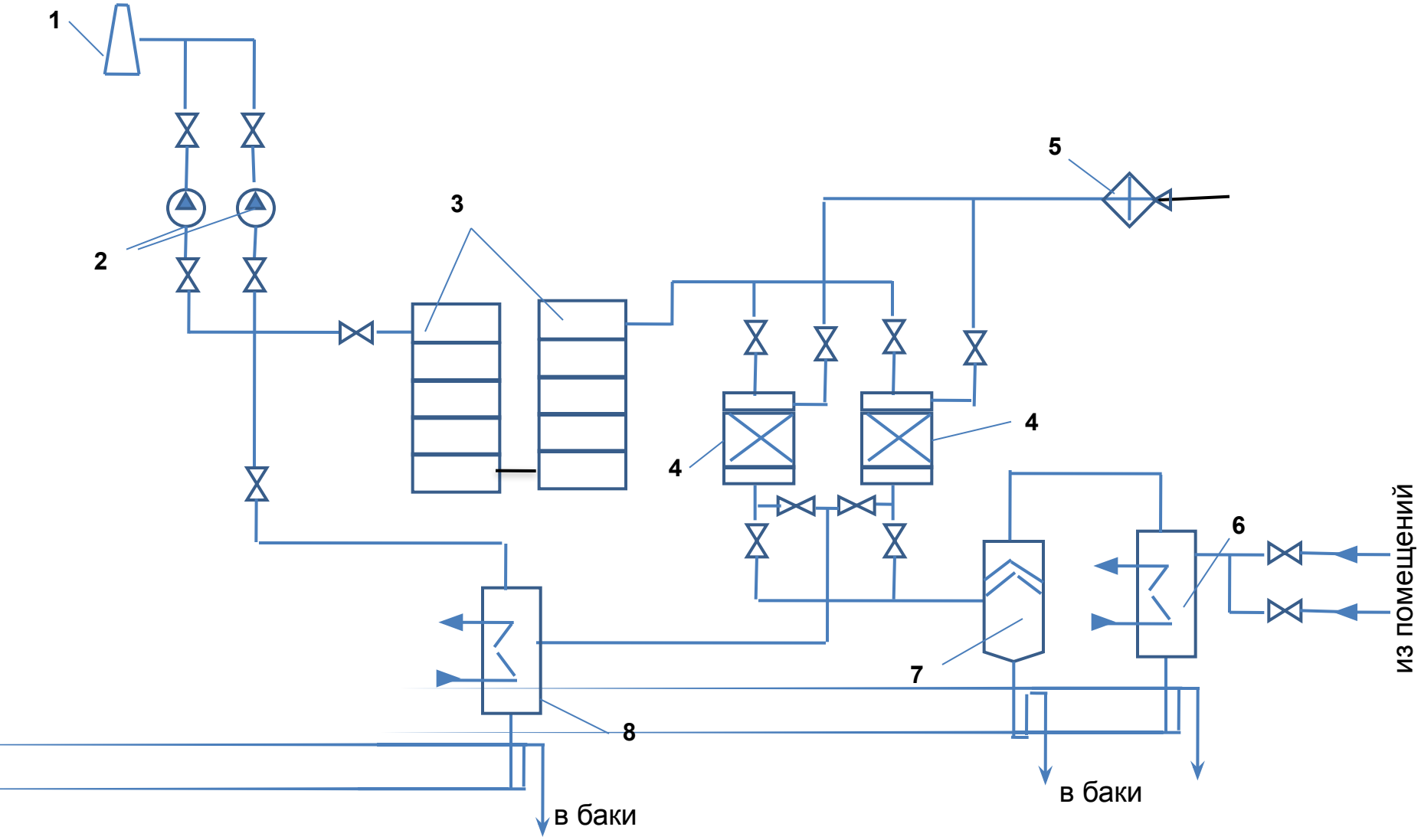
Очистка от аэрозолей

- Очистке от аэрозолей подвергается прежде всего вентиляционный воздух технологических помещений, но при необходимости и технологические сдувки.
- Для аэрозольных фильтров используются тонковолокнистые ткани из волокон перхлорвинила (ФПП) и ацетилцеллюлозы (ФПА).
- Очистка воздуха аэрозольными фильтрами происходит в результате осаждения аэрозолей на волокнах, электростатического осаждения и прилипания частиц в поверхностном слое фильтра.
- Степень очистки достигает 99,99%

Спецгазоочистка блоков ВВЭР-1000

- Предназначена для очистки от радиоактивных загрязнений технологических сдувок, поступающих из:
  - охладителей организованных протечек
  - бака организованных протечек
  - баков боросодержащей воды
  - системы дожигания водорода
  - гидроемкостей САОЗ
  - теплообменников бассейна выдержки.
- Система состоит из трех каналов – два рабочих, один резервный.
- Система функционирует во всех режимах нормальной эксплуатации, включая переходные режимы.

Канал спецгазоочистки



1- Вентиляционная труба, 2 – газодувка, 3- фильтр-адсорбер, 4- цеолитовый фильтр, 5- нагреватель контура регенерации, 6- теплообменники, 7- самоочищающийся фильтр, 8- теплообменник контура регенерации

Очистка газов

- Очистка газов осуществляется на двух ступенях. Сначала воздух охлаждается до 20-30^{0}С в теплообменнике (6) и происходит грубая очистка на фильтрах (7). Фильтрующий элемент в (7) – стекловолокно. Здесь улавливаются аэрозоли и мелкие капельки влаги. Поэтому фильтр оборудован дренажем.
- На второй ступени для очистки воздуха от ИРГ используются фильтры-адсорберы (3) с активированным углем. Здесь также сорбируется и радиоактивный йод. Хуже сорбируется йод, находящийся в виде соединений.
- Перед подачей воздуха на фильтры-адсорберы его осушают от влаги, т.к. при увлажнении активированного угля ухудшаются его сорбционные свойства. Для поглощения влаги из воздуха используются цеолитовые фильтры (4).
- Желательно чтобы цеолит поглощал влагу и не поглощал ИРГ. По мере поглощения влаги из воздуха фильтр насыщается и его эффективность падает. При этом включается резервный фильтр, а рабочий ставится на регенерацию.
- Регенерация цеолитового фильтра осуществляется продувкой его воздухом с температурой 400-450^{0}С. После регенерации воздух охлаждается в выбрасывается в вентиляционную трубу.

Системы вентиляции

- Системы вентиляции можно разделить на общеобменную и специальную технологическую.
- Задача общеобменной вентиляции – создание нормальных санитарно-гигиенических условий работы персонала.
- Задачи специальной технологической вентиляции

  – удаление радиоактивных газов и аэрозолей из рабочих помещений АЭС и обеспечение радиационной безопасности,

  - исключение недопустимых выбросов ГРО в атмосферу.

Требования к спецвентиляции

- Для очистки воздуха от радионуклидов применяют вентсистемы двух типов: рециркуляционную и приточно-вытяжную (прямоточную).
- В рециркуляционных системах очищенный на фильтрах воздух вновь поступает в помещения. Отсюда требования к фильтрам:

  - сохранять рабочие свойства при повышенных температурах (до 100^0C)

  - сохранять рабочие свойства при повышенной влажности (до 100%);
- Коэффициент очистки воздуха в рециркуляционных системах невелик и составляет 20-30.
- В прямоточных вентиляционных системах очищенный воздух выбрасывается в вентиляционную трубу, поэтому коэффициент очистки воздуха должен быть выше, чтобы обеспечить требования безопасности.

Основные правила проектирования спецвентиляции

1. Спецвентиляция проектируется так, чтобы обеспечить разрежение в обслуживаемых помещениях;
2. К одной и той же вентсистеме допустимо параллельное подключение разных помещений при равном уровне их радиоактивности;
3. Чтобы уменьшить производительность вентиляционных установок, помещения с разными уровнями активности могут подключаться последовательно. При этом направление движения воздуха должно быть организовано так, чтобы воздух сначала поступал в более «чистые» помещения, а из них поступал в более «грязные», потом отсасывался вентиляционными агрегатами;
4. Поступление приточного воздуха в помещение и удаление загрязненного воздуха в вытяжную систему должно быть организовано так, чтобы надежно вентилировалось всё помещение. Особенно важно это требование для помещений, где скапливается водород;

Основные правила проектирования спецвентиляции (продолжение)

5. Производительность вентиляционных установок должна обеспечить не менее, чем однократный обмен воздуха в час в вентилируемых помещениях, а в открытых дверных проемах помещений при ремонте скорость воздуха должна быть не менее 1 м/с:
6. Вентиляционные агрегаты спецвентиляции имеют 100% резервирование с автоматическим включением резерва.
7. Запрещается заводить в спецвентиляцию сдувки технологического оборудования. Они после очистки отдельными трубопроводами подаются непосредственно в вентиляционную трубу.

Особенности вентиляции гермообъемов

Пример с вентиляцией ГО реакторной установки ВВЭР-1000

- Вентиляция должна обеспечивать:

  - нормальные санитарно-гигиенические условия работы персонала, включая непревышение допустимых концентраций радионуклидов;

  - создание разрежения в герметичных необслуживаемых помещениях для предотвращения перетока загрязненного воздуха в более «чистые» помещения;

  - поддержание допустимой температуры во всех технологических помещениях не выше 40^0С в периодически обслуживаемых помещениях и не выше 60^0С в необслуживаемых помещениях.

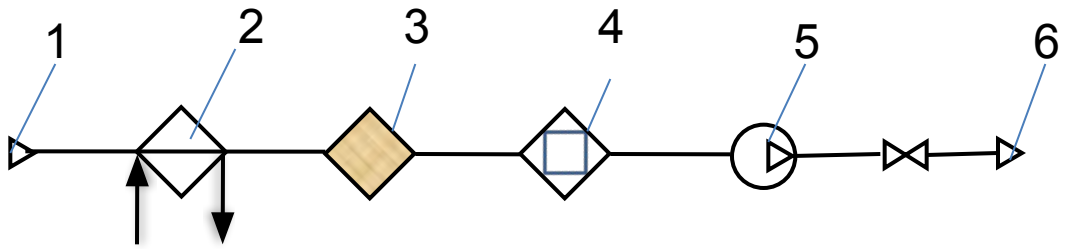
При работе энергоблока имеют место тепловые потери в ГО. По оценкам эти тепловые потери могут доходить до 4 МВт. Если это тепло не отводить, то через 3 суток температура в ГО повысится до 150^0С, а давление возрастет более чем на 0.3 ата, т.е. реактор должен быть остановлен.

Особенности вентиляции гермообъемов

- Для охлаждения ГО проектом предусмотрено несколько рециркуляционных вентсистем. При работе реактора все они должны находиться в действии. Рециркуляционная вентиляция выполнена по замкнутой схеме с отводом тепла к воде в воздухоохладителях.
- Эти системы должны работать и в аварийных режимах. Поэтому к ним предъявляются повышенные требования. Вентиляционные агрегаты выполняются в сейсмостойком исполнении с эксплуатацией при температуре до 75^0С и влажности до 100% с повышенным требованием по надежности (наработка на отказ не менее 10 000 часов). При потере собственных нужд они запитаны от дизель-генераторов.

Особенности вентиляции гермообъемов

- Кроме четырех рециркуляционных вентсистем, служащих для отвода тепла, предусмотрена также система для очистки воздуха боксов ГЦН, ПГ и центрального зала от радиоактивных загрязнений.
- Система снабжена аэрозольными и йодными фильтрами .
- Очистка воздуха от радиоактивных аэрозолей и йода проводится фильтрами на основе активированного угля и ткани Петрянова.
- Применение рециркуляционных систем для отвода тепла и очистки воздуха в помещениях ГО позволяет существенно снизить количество радиоактивных выбросов в окружающую среду.

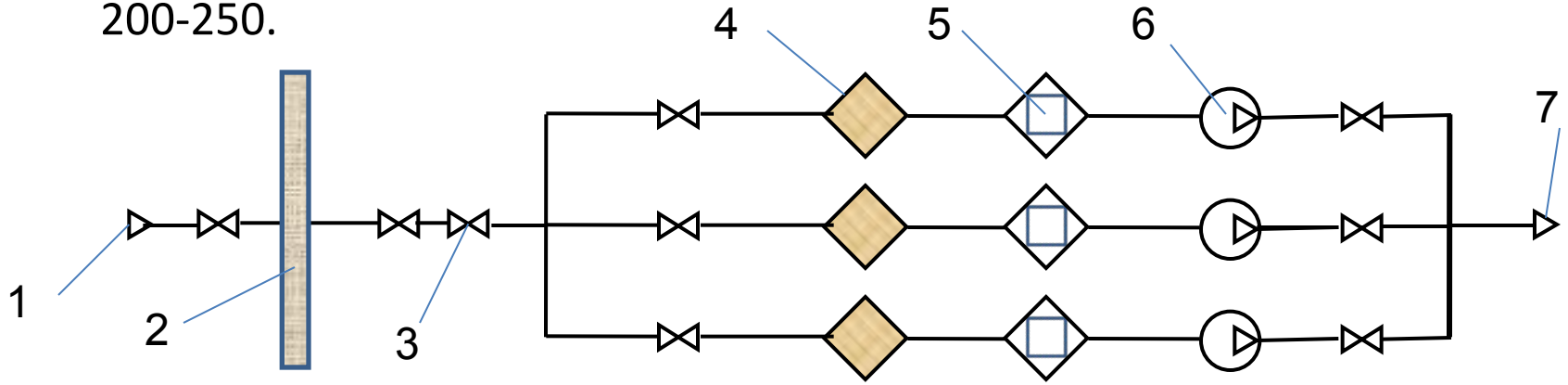


Упрощенная схема системы очистки воздуха от радиоактивных загрязнений

1- забор воздуха, 2 – калорифер, 3 – аэрозольный фильтр, 4 – йодный фильтр, 5 – вентилятор, 6 – выброс воздуха

Система вытяжной вентиляции ГО

- Для создания и поддержания необходимого разрежения в ГО во время работы энергоблока, обеспечения минимального воздухообмена и предотвращения скопления водорода в верхней части ГО предусмотрена вытяжная система вентиляции. Коэффициент очистки воздуха перед выбросом составляет 200-250.



Упрощенная схема системы вытяжной вентиляции

1 – забор воздуха из ГО, 2 – защитная оболочка, 3 – быстродействующий отсечной клапан, 4 – аэрозольный фильтр, 5 – йодный фильтр, 6 – вентилятор, 7 – выброс воздуха в вентиляционную трубу

Особенности вентиляции гермообъемов

- Воздуховоды вентсистемы пересекают стены гермооболочки. При аварии для герметизации оболочки на воздуховодах установлены отсечные клапаны (3).
- При аварии с разуплотнением первого контура закрытие герметизирующих клапанов происходит автоматически по сигналу роста давление под гермооболочкой.
- Помимо вентсистем нормальной эксплуатации для создания нормальных условий в ГО в режиме перегрузки и производства ремонтных работ, а также для очистки воздуха в возможный послеаварийный период предусмотрены специальные ремонтно-аварийные вытяжная и приточная системы.