

Содержание

Введение	4
1 Описание основного оборудования блока РБМК-1000	6
1.1 Описание принципиальной тепловой схемы АЭС с реактором РБМК-1000.....	6
1.2 Назначение оборудования или системы, технические и конструктивные характеристики оборудования, параметры и режимы работы.....	12
2 Газовое охлаждение генератора	18
2.1 Описание системы газового охлаждения генератора ТВВ-500-2УЗ.....	18
2.2 Режимы и параметры оборудования.....	28
2.3 Проблемы возникшие при эксплуатации и пути их устранения на Курской АЭС.....	38
2.4 Система очистки воды.....	41
2.5 Контроль и обслуживание охлаждающих сред.....	45
2.6 Модернизация системы охлаждения генератора ТВВ-500-2УЗ на ТГ-7,8.....	53
3 Безопасность и экологичность проектных решений	59
3.1 Анализ опасных и вредных факторов при работе оборудования и систем АЭС.....	59
3.2 Мероприятия по безопасности труда.....	60
3.3. Требования к безопасной эксплуатации.....	64
3.4 Мероприятия по радиационной безопасности.....	70
3.5 Влияние оборудования и систем на ядерную безопасность.....	73
3.6 Противопожарные мероприятия на Курской АЭС.....	74
3.7 Экологический аспект.....	77
Заключение	79
Список литературы	80

Введение

На данный момент ядерная энергетика является одной из самых перспективных крупных отраслей, которая вырабатывает электроэнергию. В перспективном будущем планируется увеличение количества атомных электростанций (АЭС) не только в России, но и во всем мире. Такие программы по строительству АЭС, в перспективе, нацелены на замещение тех источников энергии, которые основаны на углеводородном топливе.

Предприятия, в основе которых лежит выработка электроэнергии, с использованием углеводородного топлива и других продуктов горения оказывает большой вред окружающей среде. Данный глобальный недостаток отсутствует у АЭС, при условии нормальной и безопасной эксплуатации. И уже сейчас можно сказать, что доля электроэнергии, которую вырабатывают АЭС, растет с каждым годом.

Турбогенераторы (ТГ) представляют собой основной вид генерирующего оборудования, обеспечивающего свыше 80% общего мирового объема выработки электроэнергии. Одновременно ТГ являются и наиболее сложным типом электрических машин, в которых тесно сочетаются проблемы мощности, габаритов, электромагнитных характеристик, нагрева, охлаждения, статической и динамической прочности элементов конструкции. Обеспечение максимальной эксплуатационной надежности и экономичности ТГ является центральной научно-технической проблемой.

В отечественном турбогенераторостроении огромный вклад в развитие теории, разработку вопросов расчета, проектирования и эксплуатации ТГ внесли многие ученые, исследователи, конструкторы, среди которых в первую очередь следует отметить Алексеева А.Е., Лютера Р.А., Костенко М.П., Одингга А.И., Бергера А.Я., Комара Е.Г., Ефремова Д.В., Иванова Н.П., Глебова И.А., Казовского Е.Я., Еремина М.Я., Вольдека А.И., Жерве Г.К., Важнова А.И. Среди зарубежных специалистов следует отметить Видемана Е., Келленбергера В., Шуйского В.П., Готтера Г.

Вместе с тем, несмотря на огромное количество работ, выполненных за прошедшие десятилетия, вопросы дальнейшего развития теории, разработки более совершенных технологий и конструкций ТГ, методов расчета и исследований не теряют своей актуальности.

Турбогенератор- неявнополюсный синхронный генератор, основная функция которого состоит в конвертации механической энергии в работе от паровой или газовой турбины в электрическую при высоких скоростях вращения ротора (3000,1500об/мин).Механическая энергия от турбины конвертируется в электрическую при помощи вращающегося магнитного поля, которое создается током постоянного напряжения, протекающего в медной обмотке ротора, что в свою очередь приводит к возникновению трехфазного переменного тока и напряжения в обмотках статора. В зависимости от систем охлаждения турбогенераторы подразделяются на несколько видов: генераторы с воздушным охлаждением, генераторы с водородным охлаждением и генераторы с водяным охлаждением. Также существуют комбинированные типы, например, генератор с водородно-водяным охлаждением (ТВВ).Турбогенератор ТВВ-320-2 предназначен для выработки электрической энергии на тепловой электростанции при непосредственном соединении с паровой турбиной.

1 Описание основного оборудования блока РБМК-1000

1.1 Описание принципиальной тепловой схемы АЭС с реактором РБМК-1000

Курская атомная станция входит в первую четверку равных по мощности атомных станций страны и является важнейшим узлом Единой энергетической системы России. Основным потребителем – энергосистема «Центр», которая охватывает 19 областей Центрального федерального округа России.

Доля Курской АЭС в установленной мощности всех электростанций Черноземья составляет более 50 %. Она обеспечивает электроэнергией большинство промышленных предприятий Курской области.

Реактор РБМК-1000 водо-графитовый, канальный, гетерогенный, на тепловых нейтронах. Представляет собой систему металлоконструкций, окружающих графитовую кладку. Графитовая кладка цилиндрической формы, служащая замедлителем нейтронов, состоит из 2488 графитовых колонн, набранных из графитовых блоков. Каждая колонна набирается из 14 графитовых блоков, установленных друг на друга. Графитовый блок представляет собой прямоугольный параллелепипед квадратного поперечного сечения размером 250x250 мм и высотой 600, 500, 300 и 200 мм. Основное количество графитовых блоков имеет высоту 600 мм. Укороченные блоки устанавливаются только первыми и последними по порядку и обеспечивают общую высоту графитовой кладки 8 м. Этим же достигается смещение стыков между блоками соседних графитовых колонн по высоте, что обеспечивает защиту от прямого «прострела» нейтронов. Блоки имеют осевое отверстие диаметром 114 мм, образующее в колонне тракт для размещения топливного канала, канала СУЗ. В отверстия колонн бокового отражателя устанавливаются графитовые стержни или тракты каналов охлаждения отражателя. В топливные каналы загружаются

тепловыделяющие кассеты с ТВЭлами. Крепление графитовой кладки от перемещения в радиальном направлении осуществляется штангами, расположенными в периферийных колоннах бокового отражателя. Боковой отражатель, имеющий среднюю толщину 880 мм, состоит из графитовых колонн квадратного сечения. Нижний и верхний отражатели имеют толщину 500 мм. Масса графитовой кладки около 1700 т. Некоторые технические характеристики реактора РБМК-1000 приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные технические характеристики реактора РБМК-1000.

Характеристика	Размерность	Величина
Мощность электрическая	МВт	1000
Мощность тепловая	МВт	3200
Число технологических каналов	шт	1661/1693
Расход теплоносителя через реактор	кг/с	10440
Давление пара в сепараторах	МПа	6.87
Давление в напорных коллекторах ГЦН	МПа	8.1
Среднее паросодержание на выходе из реактора	масс. %	14.5
Температура теплоносителя, вход/выход	°С	270/285
Высота активной зоны	мм	7000
Диаметр активной зоны	мм	11800
Шаг решетки технологических каналов	мм	250

Реактор РБМК-1000 является реактором с неперегружаемыми каналами, в отличие от реакторов с перегружаемыми каналами, ТВС и технологический канал являются отдельными узлами. К установленным в реактор каналам с помощью неразъемных соединений подсоединены трубопроводы - индивидуальные тракты подвода и отвода теплоносителя. Загружаемые в каналы ТВС крепятся и уплотняются в верхней части стояка канала. Таким образом, при перегрузке

топлива не требуется размыкания тракта теплоносителя, что позволяет осуществлять ее с помощью соответствующих перегрузочных устройств без остановок реактора

В настоящее время на одноконтурных атомных электростанциях применяются два типа кипящих реакторов: корпусные и каналные. В России используются кипящие реакторы канального типа с графитовым замедлителем, а на зарубежных АЭС преимущественное распространение получили кипящие реакторы корпусного типа с водным замедлителем. На рисунке 1 представлена тепловая схема АЭС с реактором типа РБМК-1000

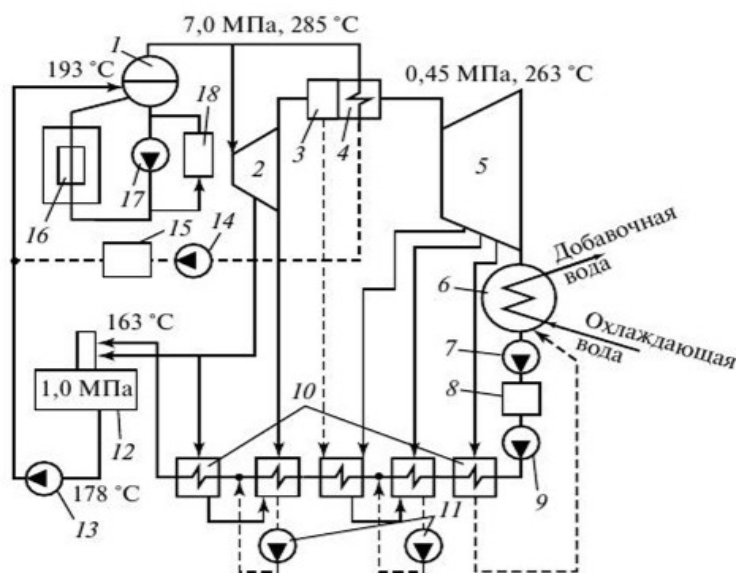


Рисунок 1. Принципиальная тепловая схема одноконтурной АЭС:

1 — барабан-сепаратор; 2 — цилиндр высокого давления турбины; 3 — промежуточный сепаратор; 4 — промежуточный пароперегреватель; 5 — цилиндр низкого давления турбины; 6 — конденсатор; 7 — конденсатный насос первого подъема; 8 — конденсатоочистка; 9 — конденсатный насос второго подъема; 10 — подогреватели низкого давления; 11 — сливные насосы; 12 — деаэратор; 13 — питательный насос; 14 — насос закачки конденсата греющего пара промежуточного пароперегревателя; 15 — высокотемпературный механический фильтр; 16 — активная зона реактора; 17 — главный

циркуляционный насос; 18 — очистная установка на реакторной воде (байпасная очистка) реактором РБМК (реактор большой мощности кипящий) канального типа.

Отличительными признаками реактора РБМК считаются:

- 1661 (или 1693) технологический канал с топливом и теплоносителем, что допускает поканальную перегрузку топлива;
- наличие графитового замедлителя, в котором установлены каналы;
- легководный кипящий теплоноситель в контуре многократной принудительной циркуляции с подачей отсепарированного пара в турбину.

Основными достоинствами реакторной установки этого типа является отсутствие толстостенного корпуса и парогенераторов, а также потенциально высокая способность контура работать в условиях естественной циркуляции теплоносителя, возможность регулировать расход теплоносителя в каждом канале, осуществлять индивидуальный контроль целостности каналов и контролировать параметры теплоносителя в каждом канале.

К недостаткам реакторных установок РБМК можно отнести большие размеры реактора, разветвленность системы подвода-отвода теплоносителя, значительное количество конструкционных материалов, радиоактивность пара, поступающего на турбину.

Реакторная установка включает в себя реактор РБМК-1000, контур многократной принудительной циркуляции (КМПЦ) и вспомогательные системы. Пароводяная смесь (со средним массовым паросодержанием около 15 %) из реактора поступает в барабан-сепаратор, в котором отделяется от влаги. Далее насыщенный пар давлением 7,0 МПа из четырех барабанов-сепараторов направляется в цилиндры высокого давления двух турбин К-500-65/3000, где он существенно увлажняется. Для предотвращения эрозионно-коррозионного износа лопаток турбин после ЦВД устанавливается промежуточный сепаратор. Влага, отделившаяся в сепараторе, направляется в систему регенерации, а осушенный пар — в промежуточный пароперегреватель, из которого он поступает в цилиндр

низкого давления турбины, где происходит конечное расширение пара, а затем в конденсатор.

После конденсатора конденсат пара с помощью конденсатного насоса первой ступени прокачивается через конденсатоочистку, которая служит для удаления из него примесей. За конденсатоочисткой установлен насос, с помощью которого конденсат прокачивается через систему регенеративных теплообменников, служащих для повышения его температуры. Далее конденсат поступает в деаэратор, в котором происходит удаление газов, в частности кислорода. Из деаэратора питательная вода забирается питательным насосом и подается в барабан-сепаратор, где смешивается с реакторной водой.

В реакторной установке осуществляется принудительная циркуляция посредством главного циркуляционного насоса. За счет теплоты, выделяющейся в активной зоне канального реактора, происходит испарение части циркулирующей реакторной воды и подача пароводяной смеси в барабан-сепаратор для отделения насыщенного пара от влаги и возврата влаги в циркуляционный контур реактора.

Для удаления примесей, содержащихся в реакторной воде, используется система очистки. Высокая радиоактивность реакторной воды требует организации очистки воды непосредственно у реактора в дополнительном замкнутом контуре специальной очистной установки. Тепловая схема одноконтурной АЭС, представленная на рисунке 1, замкнутая в связи с радиоактивностью пара и конденсата.

Основными конструкционными материалами на одноконтурных АЭС являются нержавеющие и углеродистые стали. Так, трубопроводы главного циркуляционного контура изготавливаются из стали 08X18H10T, трубопроводы свежего пара и питательной воды — из нержавеющих и легированных сталей. Корпус реактора изготавливается из углеродистой стали, но плакируется слоем нержавеющей стали, трубки конденсаторов выполняются из сплавов на основе меди или титана. В качестве конструкционного материала тепловыделяющих элементов, как правило, применяются сплавы циркония.

1.2 Назначение, параметры и характеристики основного оборудования АЭС с РБМК-1000

Реакторная установка РБМК-1000 представляет собой канальный реактор кипящего типа с графитовым замедлителем и водяным теплоносителем, топливом UO₂, предназначен для выработки насыщенного пара давлением 70 атм., который образуется в результате происходящей в нем цепной ядерной реакции деления (таблица 2).

Таблица 2. Основные характеристики реакторной установки РБМК-1000

Номинальная тепловая мощность, МВт	3200
Номинальная электрическая мощность, МВт	1000
Обогащение по U ²³⁵	2.8 %;
Давление в БС, кгс/см ² (изб)	69;
Температура на выходе из активной зоны, °С	284;
Температура на входе в активную зону, °С	270;
Расход теплоносителя, м ³ /час	48000;
Расход пара из БС, т/час	5600;
Каналы реактора	
- топливные каналы, шт.	1693;
- каналы системы управления и защиты, шт.	195;
- каналы охлаждения отражателя	156;
КПД блока, %	31,3
Размеры активной зоны:	
- высота	7
- диаметр	11,8
Загрузка урана, т	192

Контур многократной принудительной циркуляции является одной из основных систем блока и предназначен для:

1. Обеспечения непрерывной принудительной циркуляции теплоносителя через активную зону реактора с целью отвода тепла от ТВС и графитовой кладки реактора;

2. Сепарации генерируемого пара в реакторе с последующей подачей его в турбинное отделение;

3. Обеспечение необходимых условий разогрева и расхолаживания оборудования;

4. Охлаждения активной зоны реактора в режимах планового и аварийного расхолаживания блока за счёт принудительной или естественной циркуляции теплоносителя;

5. Отвода остаточных тепловыделений активной зоны реактора в период длительной остановки блока.

Контур МПЦ состоит из двух самостоятельных циркуляционных петель, каждая из которых осуществляет теплосъём с одной половины реактора и включает в себя:

1. Барабан-сепаратор -4шт (по 2 на одну петлю);
2. Главный циркуляционный насос - 8шт (по 4 на одну петлю);
3. Технологический канал - 1661 шт. (по 800 на одну петлю);
4. Запорная и регулирующая арматура;
5. Трубопроводы.

В тепловой схеме барабан сепаратор изображался как одно устройство, но на самом деле в установке РБМК-1000 используются четыре барабана-сепаратора, которые представляют собой металлические цилиндры, диаметром 2,6 и длиной 31м (таблица 3). Пароводяные коммуникации представляют собой сложную систему паропроводов. Барабан-сепаратор предназначен для:

- сбора, сепарирования и осушки генерируемого в ТК реактора пара;
- обеспечения бескавитационных условий работы ГЦН;
- смешения контурной и питательной воды;
- аккумуляирования воды, заполнения пароводяного тракта КМПЦ при резких снижениях мощности реактора в аварийных режимах работы блока.

Таблица 3 - Характеристики барабана-сепаратора

Параметр	Значение
Расход питательной воды в один БС, т\ч	1450
Давление насыщенного пара, атм	70

Влажность пара на выходе, %	0,01
Температура пароводяной смеси, °С	284,5
Температура питательной воды, °С	160
Расход пароводяной смеси, т\ч	8450
Расход контурной воды, т\ч	8000
Вес сухого сепаратора, т	280
Герметический объем, м ³	159
Минимальная толщина стенки корпуса, мм	110
Предельно допустимая разность температуры между верхом и низом корпуса БС, °С	40
Предельно допустимая разность температур между низом БС и питательной водой	130

ГЦН предназначен для обеспечения многократной принудительной циркуляции теплоносителя в контуре МПЦ установок РБМК. Тип насоса –(ЦВН-8) центробежный, вертикальный, одноступенчатый, с уплотнением вала, исключая выход теплоносителя в обслуживаемое помещение. Привод насоса - вертикальный, трёхфазный, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Мощность двигателя 5000 кВт. Соединение трубопроводов основного циркуляционного контура с патрубками бака насоса - сварное.

Во всех ГЦН применены нижние радиальные подшипники гидродинамического или гидростатического типа. В гидростатических подшипниках пара трения не изнашиваются при пуске и останове насоса, так как взвешивающая способность их осуществляется давлением смазывающей воды, подаваемой из постоянного источника водоснабжения, а толщина смазочной пленки значительно больше, чем у подшипника гидродинамического типа. Поэтому износ гидростатического подшипника сведен к минимуму.

В гидродинамических подшипниках при смазке водой толщина смазочной пленки составляет всего 5 - 6 мкм, а при пуске и остановке насоса подшипники работают в режиме граничного или полужидкого трения. По этим причинам износ пар трения гидродинамических подшипников неизбежен. В ГЦН в качестве привода используются асинхронные электродвигатели вертикального исполнения с радиально-осевым подшипником на масляной смазке (таблица 4). Крутящий

момент от электродвигателя к насосу передается при помощи соединительных муфт различных конструкций.

Таблица 4. Параметры нормальной эксплуатации ГЦН

Наименование параметра	Размерность	Величина
Расход теплоносителя через ГЦН	т/ч	6500-8000
Абсолютное давление на всасе ГЦН	Кгс/См ²	до 72
Температура масла на входе в подшипник	°С	40-50
Температура баббита вкладышей, направляющего и радиально-упорного подшипников	°С	70

В каждой из двух циркуляционных петель КМПЦ установлено по четыре ГЦН. При номинальном уровне мощности реактора, в работе находятся по три ГЦН на петлю. По одному в ремонте или в резерве.

Технологический канал предназначен для установки тепловыделяющей сборки и организации потока теплоносителя через реактор для снятия тепла с ТВС и графита реактора.

ТК представляет собой сварную трубную конструкцию, состоящую из корпуса канала с надетыми на него графитовыми втулками и кольцами. Корпус канала состоит из трёх частей: верхней, средней и нижней. Все элементы верхней и нижней части канала выполнены из коррозионностойкой стали. Центральная часть корпуса канала в пределах активной зоны представляет собой трубу диаметром 88 мм и толщиной стенки 4 мм, изготовленную из циркониевого сплава.

Соединение центральной части с верхней и нижней осуществляется с помощью переходников сталь-цирконий, изготовленных методом диффузионной сварки.

Технологический канал устанавливается в верхнем и нижнем трактах. В верхний тракт устанавливается запорная пробка, предназначенная для герметизации ТК в верхней части, а также позволяющая производить перегрузки топлива на работающем реакторе.

Турбина представляет собой одновальный пяти цилиндровый агрегат один цилиндр высокого давления (ЦВД) и четыре цилиндра низкого давления (ЦНД).

Турбина входит в состав дубль-блока: один реактор РБМК-1000 снабжает паром две турбины. Работа турбин не взаимосвязана – каждая может работать при отключении другой. Пар из барабана сепаратора поступает через паровые фильтры к двум сдвоенным блокам клапанов парораспределения.

Каждый блок состоит из двух комбинированных стопорно-регулирующих клапанов. После регулирующих клапанов пар поступает непосредственно в ЦВД, в среднюю его часть через два противоположно расположенных горизонтальных патрубка. ЦВД выполнен двухпоточным, двухсторонней конструкции. В каждом потоке имеется пять ступеней давления, две ступени каждого потока расположены во внутреннем цилиндре, две ступени - в обойме и одна непосредственно во внешнем корпусе. Применение двустенной конструкции обусловлено наличием значительных тепловых градиентов особенно при переменных режимах работы. Пар из ЦВД отводится четырьмя трубами на сепарацию и перегрев в четыре комбинированных сепаратора пароперегревателя (СПП).

Осушенный и перегретый пар из СПП по четырем ресиверным трубам направляется в ЦНД. Между СПП и ЦВД на каждом трубопроводе установлены поворотные заслонки, перекрывающие доступ пара к ЦНД при экстренном останове турбины. Каждый из четырех ЦНД выполнен двухпоточным с пятью ступенями давления в каждом потоке. Диафрагмы обоих потоков расположены в обойме, образующей внутренний цилиндр ЦНД. Пар подводится через переходный патрубок в нижнюю половину обоймы ЦНД.

После совершения работы в ЦНД пар направляется в отдельный (для каждого цилиндра) однопоточный конденсатор. Роторы ЦНД и ЦВД сварнокованные, жесткие и соединены между собой и ротором генератора жесткими муфтами. Каждый ротор опирается на два опорных подшипника скольжения. На роторе ЦВД со стороны регулятора расположен упорный подшипник. Турбина снабжена устройством гидравлического подъема роторов в режиме пуска, когда работает валоповоротное устройство.

Валоповоротное устройство, с автоматическим отключением при наборе частоты оборотов 250-300 об/мин, расположено между третьим и четвертым ЦНД. Турбина снабжена прямоточным и гладкими лабиринтными уплотнениями. В предпоследние отсеки уплотнений ЦНД и ЦВД во всех режимах работы турбины подается пар с давлением $P = 1,03 - 1.2$ атм вырабатываемый в испарительной установке. Из крайних отсеков уплотнений паровоздушная смесь отсасывается с помощью эжекторного уплотнения.

Таблица 5. Характеристики турбоустановки

Параметр	Значение
Мощность, МВт	500
Давление рабочее рабочего тела, ата	65
Оборотов	3000
Кол-во потоков	2
Температура пара перед СРК	280
Давление пара перед ЦНД, ата	3,0
Масса турбины, т	1523
Максимальный расход пара, т\ч	2914
Максимальная мощность, МВт	543
Расчетное давление в КНД, ата	0,04

ЦВД выполнен двух поточным, двухсторонней конструкции. В каждом потоке имеется пять ступеней давления, две ступени каждого потока расположены во внутреннем цилиндре, две ступени - в обойме и одна непосредственно во внешнем корпусе. Применение двустенной конструкции обусловлено наличием значительных тепловых градиентов особенно при переменных режимах работы. Пар из ЦВД отводится четырьмя трубами на сепарацию и перегрев в четыре комбинированных сепаратора пароперегревателя (СПП). Осушенный и перегретый пар из СПП по четырем ресиверным трубам направляется в ЦНД. Между СПП и ЦВД на каждом трубопроводе установлены поворотные заслонки, перекрывающие доступ пара к ЦНД при экстренном останове турбины. Сепаратор представляет собой цилиндрический сварной сосуд высотой 4367 мм с наружным диаметром 4170 мм. Корпус пароперегревателя

состоит из обечайки и приваренной к ней нижней опорной юбки. Нижняя часть опорной юбки представляет собой плиту толщиной 135 мм.

Турбина представляет собой одновальный пяти цилиндровый агрегат один цилиндр высокого давления (ЦВД) и четыре цилиндра низкого давления (ЦНД). Каждый из четырех ЦНД выполнен двухпоточным с пятью ступенями давления в каждом потоке. Диафрагмы обоих потоков расположены в обойме, образующей внутренний цилиндр ЦНД. Пар подводится через переходный патрубок в нижнюю половину обоймы ЦНД. После совершения работы в ЦНД пар направляется в отдельный (для каждого цилиндра) однопоточный конденсатор. Основными конструктивными элементами цилиндра низкого давления являются:

- корпус;
- обойма диафрагм;
- направляющий аппарат;
- диафрагмы 1-5 ступеней ЦНД;
- роторы;

Корпус ЦНД представляет собой крупногабаритную сварную конструкцию из листовой углеродистой стали. Обойма диафрагм ЦНД выполнена сварной из листов углеродистой стали, состоит из двух половин, соединяющихся по горизонтальному разьему при помощи шпилек. Направляющий аппарат ЦНД отлит из углеродистой стали, и состоит из двух половин. Он установлен в средней части обоймы диафрагм и разделяет поступающий из кольцевой полости обоймы пар на два потока. Диафрагмы 1-5 ступеней ЦНД сварные.

Каждая диафрагма ЦНД, также как ЦВД, состоит из тела, обода, надбандажного козырька, бандажей и направляющих лопаток. Роторы всех четырех ЦНД идентичны по своей конструкции. Роторы двухпоточные – пар подводится к центральной части ротора и растекается во взаимно противоположных направления, таким образом валопровод разгружается от осевых усилий.

2 Газовое охлаждение генератора

2.1 Описание системы газового охлаждения генератора ТВВ-500-2УЗ

Во время работы в генераторе возникают потери энергии, превращающиеся в теплоту и нагревающие его элементы. Предельный нагрев генератора лимитируется изоляцией обмоток статора и ротора.

Ясно, что изоляция должна работать при такой температуре, при длительном воздействии которой она сохранит свои изоляционные и механические свойства в течение времени, сравнимого со сроком службы генератора.

Для того чтобы температура генераторов во время работы оставалась в допустимых пределах, необходим интенсивный непрерывный отвод теплоты от них, который выполняется при помощи систем охлаждения.

Система газоохлаждения генератора предназначена для:

1 Охлаждения циркулирующего в корпусе генератора водорода в четырех встроенных газоохладителях.

2 Охлаждения циркулирующего в корпусе возбuditеля воздуха в четырех встроенных воздухоохладителях.

3 Охлаждение дистиллята системы охлаждения обмотки статора генератора в двух теплообменниках.

4 Охлаждение дистиллята, подаваемого на тиристорные преобразователи, в одном теплообменнике (только для блока 3).

Съем тепла в вышеперечисленных теплообменниках происходит за счет прокачки насосами газоохлаждения (НГО) хим.обессоленной воды, охлаждаемой циркуляцией водой в трех теплообменниках газоохлаждения (ТГО).

У генераторов с воздушным охлаждением единичная мощность ограничена 100МВт.

Мощные генераторы ТВВ-500 оснащаются эффективными системами охлаждения, где в качестве газовой среды вместо воздуха применен водород, а в возбудителе используется воздух.

При этом в самом генераторе (по сравнению с воздушной средой):

1 Потери на трение и вентиляцию уменьшаются в 10 раз, т. к. плотность водорода меньше плотности воздуха в 14 раз.

2 Водород имеет в 7 раз большую теплопроводность.

3 Удлиняется срок службы изоляции, т.к. при коронировании не возникает озона, вызывающего интенсивное окисление изоляции и вредные азотные соединения.

4 Снижается шум генератора из-за значительно меньшей вязкости водорода.

5 Снижена вероятность пожара внутри генератора при внутренних повреждениях, т.к. водород не поддерживает горения.

Значительно уменьшена поверхность газоохладителей.

Принцип работы и состав системы газового охлаждения генератора (рисунок 2)

Обмотка статора генератора выполнена с непосредственным охлаждением дистиллированной водой, а обмотка ротора и активной стали статора - водородом, циркулирующим внутри газонепроницаемого корпуса.

Нагретый газ из зазора отсасывается вентиляторами, установленными на торцах ротора, и нагнетается через газоохладители в радиальные каналы сердечника статора, а через них в зазор.

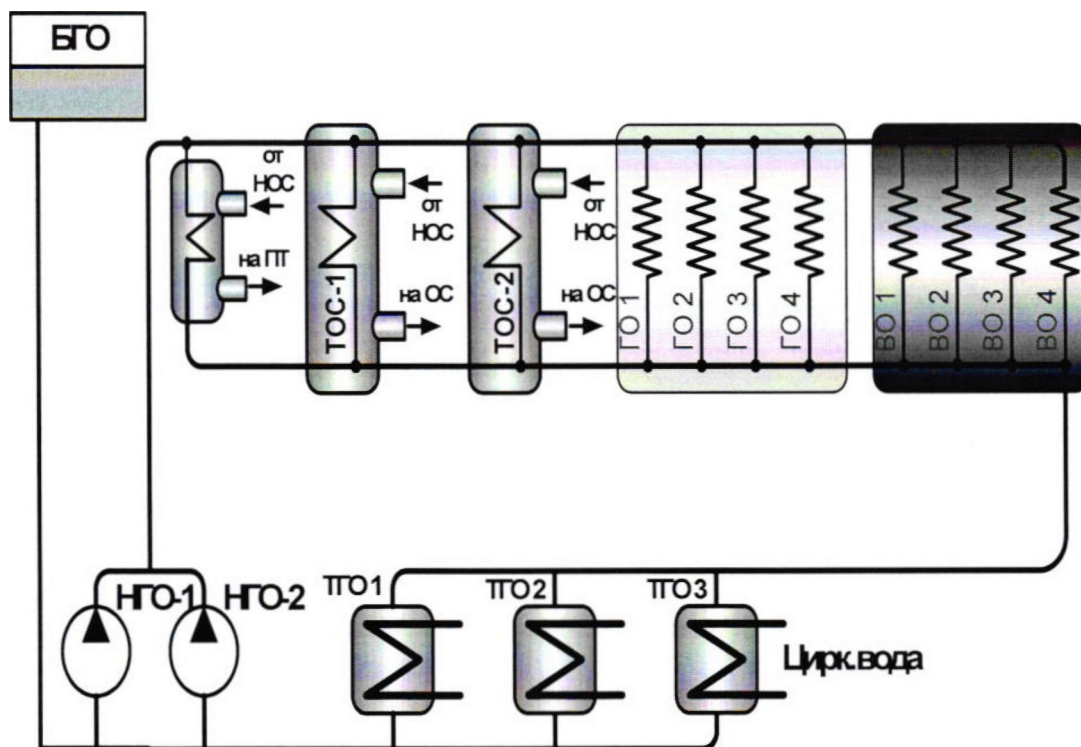


Рисунок 2. Схема газоохлаждения

Обмотка ротора охлаждается водородом по схеме самовентилиации, с забором газа из зазора через отверстия в пазовых клиньях и с возвращением нагретого газа в зазор через другие отверстия. Вентиляционные каналы, образованные вырезами в проводниках обмотки ротора, идут диагонально поверхности ротора к дну паза и обратно. Входные и выходные отверстия в пазовых клиньях снабжены дефлекторами такого профиля, при котором при вращении ротора на входе водорода создается напор, а на выходе разрежение.

Водород циркулирует в генераторе под действием вентиляторов, установленных на валу ротора, а охлаждается в газоохладителях, встроенных в корпус генератора. Циркуляция воды в газоохладителях осуществляется насосами НГО. Циркулирующий в корпусе возбuditеля воздух охлаждается в четырех встроенных воздухоохладителях, дистиллят системы охлаждения обмотки статора генератора охлаждается в двух теплообменниках, охлаждение дистиллята, подаваемого на тиристорные преобразователи, происходит в одном теплообменнике (только для блока 3).

Для восполнения утечек воды контура газоохлаждения предусмотрен бак БГО, установленный на всасе НГО, на отм +18,8, в котором уровень автоматически поддерживается поплавковым регулятором уровня.

Для глубокой осушки водорода, циркулирующего в корпусе, генератор оборудован холодильной машиной.

Осушка водорода осуществляется в испарителе в котором фреон движется по змеевику сверху вниз, а водород проходит омывая змеевик снизу вверх. Расход водорода через испаритель регулируется вентилем на выходе водорода из испарителя при полностью открытых вентилях на входе водорода в испаритель.

Холодильная машина оборудована технологической защитой от повышения давления и от понижения давления фреона в системе с уставками на ЭКМ, соответственно - 1,2мПа и 0,07мПа (12кГс/см^2 и $0,7\text{кГс/см}^2$).

Работа уплотняющего подшипника

Водород, заполняющий генератор в смеси с воздухом образует взрывоопасную смесь (от 4% до 74%), а в присутствии паров масла от 3,3% до 81,5%. Поэтому на генераторе обеспечена высокая газоплотность уплотнением токопроводов к обмоткам статора и ротора, уплотнением крышек газоохладителей, лючков, съемных торцевых щитов и масляным уплотнением вала генератора. На наружных щитах генератора установлены масляные уплотнения вала торцевого типа.

Корпус уплотнения с одной стороны жестко закреплен на наружном щите корпуса статора, с другой имеет по отношению к опорному подшипнику уплотнение сальникового типа.

На валу между опорным рабочим подшипником и щитом расположены упорные диски (упорные гребни). К диску вала прижат уплотняющий вкладыш прижимным маслом под давлением $1,8-2,2\text{кГс/см}^2$. Между вкладышем и диском уплотняющим маслом поддерживается масляный клин под давлением, превышающим давление газа в генераторе $0,7-0,9\text{кГс/см}^2$. Уплотняющее масло во вкладыше разделяется на два радиальных потока. Часть масла (незначительная),

идущая в сторону генератора, преграждает выход водороду из корпуса, основная часть масла направлена в сторону воздуха, к периферии диска и не дает возможности воздуху проникнуть в корпус генератора.

Этим же маслом отводится тепло, выделяемое при трении вкладыша по упорному диску ротора.

Для защиты внутренней полости генератора от попадания масла предусмотрены маслоуловители.

Теплообменник ВВТ-60 (ТОС)

Техническая характеристика:

- завод-изготовитель - Электросила;
- количество - 2шт;
- поверхность охлаждения - 60м^2 ;
- расход охлаждающей воды - $300\text{м}^3/\text{час}$;
- потери тепла, отводимые теплообменником - 1800кВт ;
- гидр. сопр. по охлаждающей воде - $0,2\text{кгс}/\text{см}^2$;
- давление охлаждающей воды (расчетное) - $10\text{кгс}/\text{см}^2$.

Теплообменник охлаждения статора ВВТ-60 конструкции завода «Электросила» представляет собой вертикальный, трубчатый, двухходовый по охлаждающей воде теплообменник. Трубный пучок ТОС образован гладкими прямыми медными трубками диаметром 18мм, завальцованными в двух трубных досках. К фланцам корпуса крепятся нижняя водяная камера с диаметральной перегородкой и верхняя крышка или перепускная камера. Патрубки Ду 250 входа и выхода ХОВ вварены в нижнюю камеру, патрубки Ду 100 входа и выхода дистиллята – в корпус ТОС.

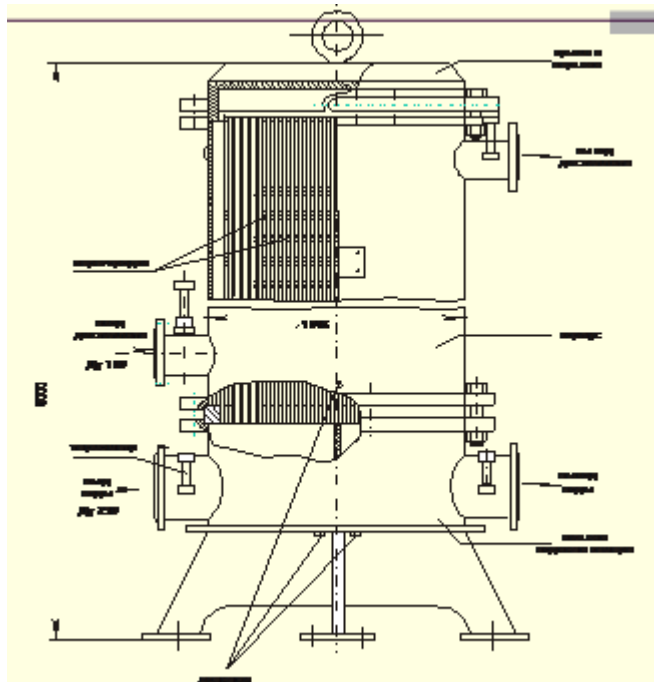


Рисунок 3. Теплообменник охлаждения статора ВВТ-60

Охлаждаемый дистиллят подается в межтрубное пространство ТОС через патрубок в нижней части корпуса. Благодаря наличию двенадцати поперечных перегородок с сегментными вырезами дистиллят движется снизу вверх с поперечно-продольным омытием теплообменных трубок и отводится через верхний патрубок корпуса. Охлаждающая вода по половине трубок поднимается вверх, а по другой половине трубного пучка опускается вниз, выходя через патрубок с противоположной стороны нижней крышки. Для выпуска воздуха на верхней крышке (по ХОВ) и на корпусе (для дистиллята) предусмотрены два воздушника. Опорожнение ТОС по дистилляту и ХОВ выполнено в приямок грунтовых вод. Устанавливаются теплообменники на фундаменте на отметке 0.0м четырьмя опорными лапами, приваренными к нижним крышкам ТОС.

Контроль температуры дистиллята на выходе из ТОС может осуществляться по ртутным термометрам, устанавливаемым в бобышки на патрубке выхода дистиллята. В эксплуатации постоянно контролируются температура дистиллята перед обмоткой статора и температура дистиллята, подаваемого на охлаждение тиристорных преобразователей (АСКДГ и МЩТ).

Насос системы охлаждения статора генератора, тип ЦНСК-60-99

Техническая характеристика:

- завод изготовитель – Ясногорский;
- подача - $60\text{м}^3/\text{час}$;
- напор на одну ступень - 33м.вод.ст. ;
- общий напор - 99м.вод.ст. ;
- скорость вращения - 2950об/мин ;
- количество ступеней – 3;
- КПД - 65 %;
- мощность на валу насоса - $24,9\text{кВт}$.

Насос центробежный, многоступенчатый, секционного типа, с закрытыми лопастными колесами одностороннего входа.

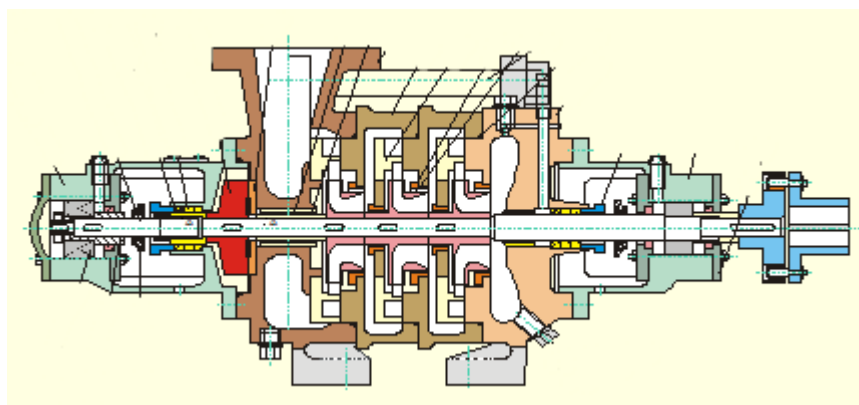


Рисунок 4. Насос системы охлаждения статора генератора, тип ЦНСК-60-99

Насос контура охлаждения статора типа ЦНСК-60-99 Ясногорского машиностроительного завода (Ц – центробежный, С - секционный, К - для перекачки кислотных вод) – горизонтальный трехступенчатый насос производительностью $60\text{м}^3/\text{ч}$ и развиваемым напором 99м.в.ст. Корпус НОС образуют всасывающая и напорная крышка и комплект двух секций стянутых между собой стяжными шпильками. Каждая секция насоса в свою очередь состоит из корпуса направляющего аппарата и самого направляющего аппарата с уплотнительными кольцами, внутри которого установлено рабочее колесо. Стыки корпусов направляющих аппаратов и крышек корпуса уплотняются резиновым

шнуром. К крышкам корпуса приболчены передний и задний кронштейны под установку в них опорных подшипников качения.

Ротор насоса состоит из вала, рабочих колес, дистанционной втулки и разгрузочного диска (диска гидравлической пяты). Все эти детали стянуты на валу гайкой вала. Опорами ротора служат два радиальных сферических подшипника, которые установлены в кронштейнах по скользящей посадке, допускающей осевое перемещение ротора вместе с подшипниками. Для смазки подшипников используется солидол (литол), места выхода вала из корпусов подшипников уплотняются резиновыми манжетами.

Подшипниковые камеры закрыты с обеих сторон крышками. Для исключения попадания воды в подшипники на валу установлены водоотбойные кольца. Вал в местах его выхода из корпуса насоса уплотняется сальниковой набивкой, пропитанной антифрикционным составом. Кольца набивки собираются на валу с относительным смещением разрезов на 120° и поджимаются втулками сальников (грундбуксами).

Компенсация осевого усилия, действующего на ротор в направлении от напора к всасу, производится с помощью автоматического уравнивающего устройства – гидравлической пяты. Принцип действия гидропяты заключается в том, что на разгрузочный диск в камере, соединенной с всасом, при работе насоса действует усилие равное по величине сумме осевых сил на рабочих колесах, но направленное в сторону нагнетания. При этом равенство усилий устанавливается автоматически благодаря возможности осевого перемещения ротора с соответствующим изменением компенсирующего усилия и восстановлением прежнего положения вала.

Все детали проточной части насосов типа ЦНСК выполнены из легированной или нержавеющей сталей. Всасывающая и напорная крышки, а также рабочие колеса НОС изготовлены из стали 2Х18Н4Г5Д (0,2% углерода, 18% хрома, 4% никеля, 5% марганца, 1% меди); вал, разгрузочный диск и кольца гидропяты – из стали 08Х18Н10Т, корпуса направляющих аппаратов,

направляющие аппараты, уплотняющие кольца и втулки сальников – из пресс - материала АГ-4В.

Приводом НОС являются асинхронные электродвигатели мощностью 30кВт с частотой вращения 2950об/мин. Передача вращения от вала электродвигателя на вал насоса производится через упругую втулочно-пальцевую муфту, состоящую из двух полумуфт, которые соединяются между собой через резиновые втулки, установленные на цилиндрические пальцы. Управление насосами производится с местного щита генератора. По месту установки контролируются давление на всасе и давление на напоре каждого НОС.

На каждый генератор устанавливается по два насоса: один – рабочий, другой – резервный. Выбор режима производится машинистом на МЩГ. Резервный насос автоматически включается при отключении работающего насоса или при падении давления перед обмоткой статора до 3,5кгс/см².

Бак водяной (БКС), тип: БВВ-2

Устанавливается по одному баку на каждый генератор. Бак служит для очистки химобессоленной воды от воздуха и возможно от водорода, которые появляются в контуре после обмотки статора. Вода, проходящая замкнутый цикл, загрязняется из-за неплотности БКС, находящегося под разряжением и системы охлаждения в самом генераторе.

Техническая характеристика:

- объем бака - 2м³;
- максимальное давление в баке - 1кгс/см².

Фильтр механический ФВ-35

Техническая характеристика:

- завод-изготовитель – Электросила;
- количество - 3шт;
- пропускная способность - 30м³/час;
- рабочее давление - 25кгс/см²;
- размер улавливаемых частиц - 0,23мм;

- гидр. сопр. фильтра при чистых сетках - $0,4 \text{ кгс/см}^2$;
- масса - 82кг.

Фильтрующий элемент ФВ-35 состоит из скрепленных вместе с помощью обойм наружной фильтрующей и внутренней каркасной сеток. Номинальный расход дистиллята в контуре охлаждения статора обеспечивается пропускной способностью двух ФОС (третий в резерве). Контроль за чистотой сеток ведется по двум манометрам, установленным до и после фильтров. Резервный фильтр подключается при необходимости очистки фильтров при увеличении перепада давлений на работающих ФОС до $1,0 \text{ кгс/см}^2$.

Фильтр магнитный УФ-36

Техническая характеристика:

- завод-изготовитель – Электросила;
- количество - 2шт;
- пропускная способность - $36 \text{ м}^3/\text{час}$;
- давление - 25 кгс/см^2 ;
- масса - 113кг.

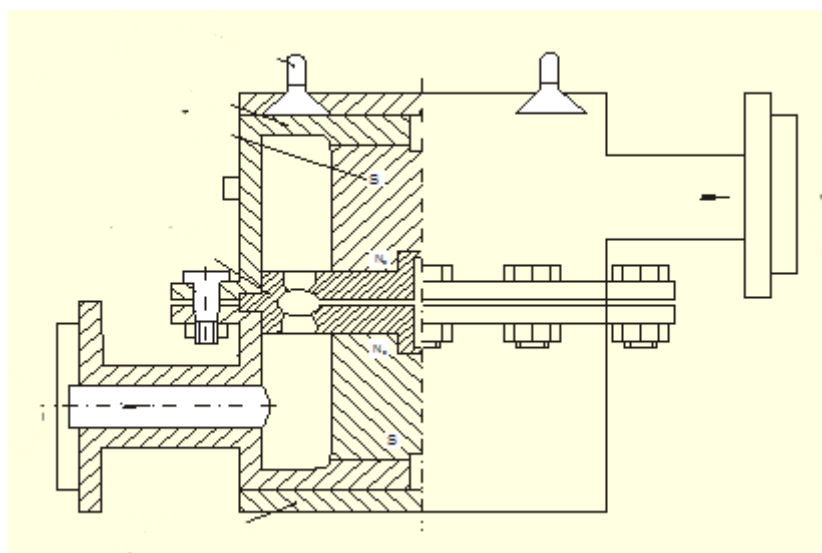


Рисунок 5. Фильтр магнитный УФ-36

Магнитные фильтры УФ-36 служат для очистки дистиллята от случайных ферромагнитных частиц и состоят из двух магнитов, между которыми установлено полюсное кольцо. Из кольцевого пространства между нижним

магнитом и корпусом дистиллят проходит через отверстия полюсного кольца, к верхнему магниту освобождаясь при этом от ферромагнитных частиц, и отводится к обмотке статора через патрубок на верхней половине корпуса. Разборка и очистка магнитных фильтров производится во время ППР не чаще одного раза в год.

2.2 Режимы и параметры работы оборудования

Система водородного охлаждения генератора ТВВ-500-2УЗ может находиться в следующих режимах:

Пусковой режим - включение системы водородного охлаждения генератора ТВВ-500-2УЗ в работу. Режим описан в разделе 4 настоящей инструкции.

Основной режим - работа система водородного охлаждения генератора ТВВ-500-2УЗ при номинальной мощности турбины:

В работе должны быть:

- один НГО;
- один-два ТГО;
- четыре ГО;
- четыре ВО;
- ФП-(π)1,(π)2.

В резерве должны быть:

- один НГО;
- один-два ТГО.

В ремонте могут быть:

- один НГО;
- один ТГО;
- один ФП.

Действия персонала по поддержанию работы системы водородного охлаждения генератора ТВВ-500-2УЗ в основном режиме указаны в разделе 7 настоящей инструкции.

Режим разгрузки и останова системы водородного охлаждения генератора ТВВ-500-2УЗ. Режим описан в разделе 8 настоящей инструкции.

Параметры системы, оборудования при нормальной эксплуатации Указаны в таблице 6.

Таблица 6. Основные параметры нормальной работы системы газоохлаждения генератора:

Расход воды контура по расходомеру поз. М(П)G-4112 м ³ /час	1500 ÷ 2200
Температура воды системы перед теплообменниками по термопарам поз. М(П)Т-4412, 4211 °С	20 — 33
Давление воды в напорном коллекторе НГО по ЭКМ поз. М(П)Р-4413, 4413-1 кгс/см ²	5,0 - 5,5
Давление воды на всасе НГО по манометрам поз. М(П)Р-4411, 4421 кгс/см ²	не менее 1,8
Уровень в БГО по уровнемеру поз. М(П)Н-4411 мм	1150
Температура холодного водорода в генераторе (АСКДГ) °С	20-40
Температура горячего водорода в генераторе (АСКДГ) °С	Не более 75
Давление водорода в генераторе поз. М(П)С-4611 кгс/см ²	4,5 ± 0,2
Чистота водорода не менее поз. М(П)С-4611 %	98
Содержание кислорода в водороде (ручной анализ) %	не более 0,8
Относительная влажность водорода при номинальной температуре холодного газа не более (ручной анализ) %	20
Температура обмотки статора (АСКДГ) °С	не более 75
Температура активной стали статора менее (АСКДГ) °С	не более 105

Основные данные охлаждающих сред

Водород в корпусе статора:

- Номинальное избыточное давление, Мпа (кгс/см²) 0,44 (4,5)
- Допустимое отклонение, Мпа (кгс/см²) ± 0,02 (± 0,2)
- Наибольшее допустимое избыточное давление, Мпа (кгс/см²) 0,49 (5,0)

- Номинальная температура холодного газа, °С	плюс 40
- Минимальная температура холодного газа, °С	плюс 20
- Чистота газа, %, не менее	98
- Содержание кислорода, %, не более	1,2
- Относительная влажность при номинальной температуре холодного газа, % не более	20

Для подачи в генератор должен использоваться водород с концентрацией водяных паров при температуре 20 °С и давлении 0,1 Мпа (760 мм 30Т.ст.) не более 0,5 г/м³.

Дистиллят в обмотке статора:

- Номинальный расход, м ³ /ч	70
- Допустимое отклонение, м ³ /ч	±5
- Номинальное избыточное давление на входе в обмотку, Мпа (кгс/см ²)	0,39(4,0)
- Номинальная температура поступающего дистиллята, °С	плюс 40
- Допустимое отклонение, °С	минус 10
- Номинальное удельное электрическое сопротивление, кОм-см	200
- Допустимое наименьшее удельное электрическое сопротивление, кОм см	75
-рН при 25 °С	от 7,5 до 9,2
- Допустимое отклонение	±0,5
- Наибольшее допустимое содержание меди, мкг/л	10
- Наибольшее допустимое содержание кислорода, мкг/л	400

Вода в газоохладителях:

- Номинальная температура поступающей воды, °С	плюс 32
- Наименьшая температура, °С	плюс 15
- Наибольшее давление, Мпа (кгс/см ²)	0,44 (4,5)
- Номинальный расход на 4 газоохладителя, м ³ /ч	750
- Гидравлическое сопротивление газоохладителя, Мпа (кгс/см ²)	0,098 (0,98)
- Количество газоохладителей, шт.	4

Таблица 7. Наибольшая допускаемая температура отдельных элементов генератора и охлаждающих сред

Наименование элементов генератора	Наибольшая температура, °С, измеренная	
	по сопротивлению	по термопреобразователям
Обмотка статора	-	75
Обмотка ротора	115	-
Активная сталь статора	-	105
Деминерализованная вода на выходе из обмотки статора	-	85
Горячий газ в корпусе статора	-	75
Баббит вкладышей опорных подшипников	-	80
Баббит вкладышей уплотнений	-	90
Масло на входе в подшипники и уплотнения	-	45
Масло на сливе из подшипников и уплотнений	-	65

Допустимые температуры

Изоляция обмоток статора и ротора генератора - класса F, на терморезистивных связующих.

Наибольшая допускаемая температура отдельных элементов генератора и охлаждающих сред указана в таблице 8.

Примечания:

1. Разница между показаниями наиболее и наименее нагретых термопреобразователей сопротивления, измеряющих температуру обмотки статора, не должна превышать 25 °С и может быть уточнена по согласованию с предприятием-изготовителем для каждой конкретной машины.

2. Превышение температуры обмотки ротора генератора над температурой входящего холодного водорода (40 °С и ниже) допускается не более 75 °С.

3. Допустимые температуры обмотки статора, обмотки ротора, активной стали статора и деминерализованной воды генератора могут быть уточнены по согласованию с предприятием-изготовителем для каждой конкретной машины

после проведения испытаний на нагревание, но не должны превышать температур, указанных в ГОСТ 533-2000.

4. Дополнительные технические данные генератора:

- Расход масла на подшипник генератора (без уплотнений вала), л/мин 400

- Наименьшая температура масла на входе в подшипники

и уплотнения, °С 35

- Расход масла на уплотнения вала с обеих сторон генератора, л/мин 300

- Расход масла на подшипник для гидropодъема ротора, л/мин 30

- Давление масла для гидropодъема ротора, МПа (кгс/см²) 4,9 (50)

Наибольшее давление масла на входе в уплотнения вала, МПа (кгс/см²) 0,58 (5,9)

Перепад давления "уплотняющее масло-водород", МПа (кгс/см²) 0,05-0,09 (0,5-0,9)

Примечание - Для подачи в подшипники и уплотнения вала используются органические нефтяные масла, например, марки Т-22, ТП-22.

- **Газовый объем собранного генератора, м³** 93

- Масса газоохладителя, кг 2240

- Масса ротора, кг 65000

- Масса статора обмотанного с рым-лапами без концевых частей, кг (наибольшая масса для монтажа) 227100

Режимы работы генератора

Зависимость мощности от коэффициента мощности

При работе генератора с коэффициентом мощности, отличающимся от номинального, следует руководствоваться диаграммой мощности (рисунок 2.1).

Зависимость мощности генератора от напряжения и частоты

При отклонениях напряжения в пределах $\pm 5\%$ от номинального номинальная и максимальная длительная полная мощность генератора сохраняются.

Мощность генератора при отклонении напряжения от номинального в диапазоне от $\pm 5\%$ до $+10\%$ указана в таблице 2.2 при значении коэффициента мощности не ниже номинального.

Таблица 8

Напряжение в % от номинального	110	109	108	107	106	105	100	95	90
Полная мощность в % от номинальной	88	91	94	96,5	98	100	100	100	94,5
Ток статора в % от номинального	80	83,5	87	90,1	92,5	95,2	100	105	105

При отклонениях частоты на $\pm 2,0\%$ от номинальной, номинальная мощность генератора сохраняется.

Генератор сохраняет номинальную мощность при одновременных отклонениях напряжения до $\pm 5\%$ и частоты до $\pm 2,0\%$ от номинальных значений, при условии, что в режимах работы с повышенным напряжением и пониженной частотой сумма абсолютных значений отклонений напряжения и частоты не превышает 5% . Диаграмма допустимых одновременных отклонений напряжения и частоты на рисунке 6.

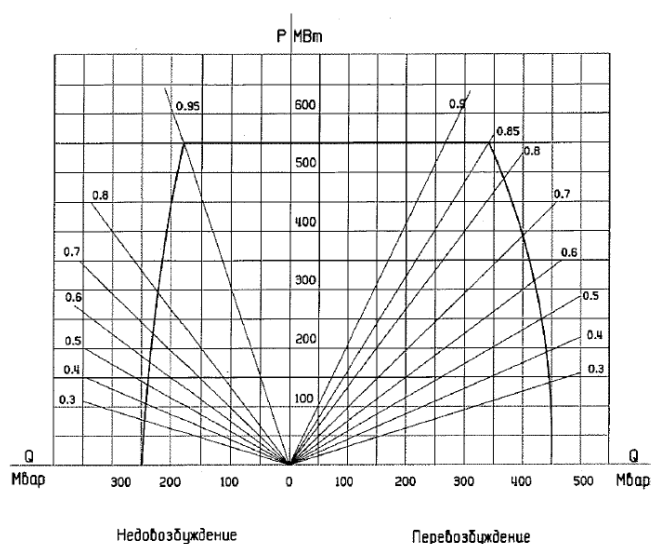


Рисунок 6. Диаграмма мощности

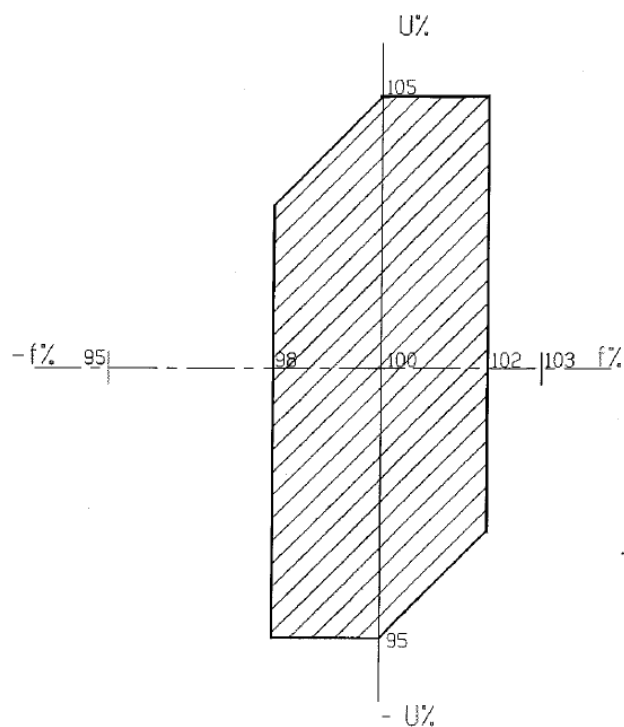


Рисунок 7. Диаграмма работы генератора при одновременных отклонениях напряжения и частоты

Зависимость мощности от температуры охлаждающих сред.

Не допускается повышать мощность генератора выше указанной при снижении температуры охлаждающего газа ниже 40°C .

Снижение температуры холодного газа ниже плюс 20°C не разрешается.

При повышении температуры холодного газа выше номинальной мощность генератора должна быть уменьшена до такой величины, при которой температуры обмотки ротора, статора и деминерализованной воды, выходящей из обмотки статора, не будут превышать наибольшие допустимые в эксплуатации температуры.

Наибольшие допустимые в эксплуатации температуры при работе с номинальной нагрузкой устанавливаются на основании тепловых испытаний, но не должны превышать указанных.

Мощность генератора при повышении температуры холодного газа должна быть снижена. Снижение нагрузки выполняется, исходя из следующих соотношений: при повышении температуры холодного газа сверх номинальной в

пределах от 40 до 45 °С допустимый ток статора снижается на 1,5 % на каждый градус повышения температуры; в пределах от 45 до 50 °С - на 2,5 % на каждый градус и в пределах от 50 до 55 °С - на 3,0 % на каждый градус.

Работа генератора при температуре холодного газа выше плюс 55 °С не разрешается. При достижении температуры холодного газа выше 55 °С генератор должен быть разгружен и отключен от сети не позднее, чем через 5 минут после поступления сигнала.

Температура горячего газа не должна превышать плюс 75 °С. При превышении температуры газа 75 °С по любому из термопреобразователей сопротивления нагрузка должна быть уменьшена до величины, обеспечивающей температуру 75 °С и ниже. Если уменьшение нагрузки не обеспечивает снижение температуры газа - генератор должен быть разгружен и отключен от сети в течение 10 минут после поступления сигнала.

Мощность генератора при отклонениях температуры холодного дистиллята, сохраняется.

Зависимость мощности от давления водорода.

Генератор должен эксплуатироваться при давлении водорода в его корпусе не ниже номинального.

Наибольшее допустимое избыточное давление водорода 0,49 МПа (5,0 кгс/см²) Нагрузка при этом не должна превышать указанной. Работа при более высоком, а также при пониженном, относительно номинального, давлениях водорода, может быть допущена только после проведения соответствующих испытаний по согласованию с предприятием-изготовителем.

Подача тока возбуждения в обмотку ротора при заполнении генератора воздухом не разрешается.

Аномальные эксплуатационные режимы

Несимметричная нагрузка

Допускается длительная работа генератора при несимметричной нагрузке, если токи в фазах не превышают номинального значения, а ток обратной

последовательности не превышает 8 % номинального значения тока статора. При этом допускается превышение температур активных частей до 5 °С относительно наибольших допустимых температур.

При токе обратной последовательности более 8 % от номинального генератор должен быть отключен защитой.

Несимметричные короткие замыкания

При несимметричных коротких замыканиях допустимый ток обратной последовательности в зависимости от продолжительности короткого замыкания не должен превышать значения, указанного в таблице 9.

Таблица 9

Продолжительность короткого замыкания, с	1,2	5	10
Допустимый ток обратной последовательности, в	2,5	1,25	0,9

Допустимые асинхронные режимы

Генератор допускает в аварийных условиях кратковременную работу без возбуждения в асинхронном режиме. Длительность работы без возбуждения не должна быть более 15 мин, допустимая нагрузка при этом - не более 40 % номинальной. Нагрузка должна быть снижена до 60 % номинальной мощности в течение 30 с после потери возбуждения, а в последующие 1,5 мин до 40 % номинальной.

Перегрузки по токам статора и ротора

В аварийных условиях разрешаются кратковременные перегрузки по току статора и ротора, указанные в таблицах 10 и 11.

Кратности перегрузок отнесены к номинальным токам статора и ротора, соответственно, и допускаются только при номинальных параметрах водорода и дистиллята.

Примечание - Фактическая продолжительность перегрузок кратностью более 1,3 должна быть минимальной, и, как правило, не превышать времени срабатывания

релейных защит генератора. Указанные в таблице длительности допускаются как предельные в исключительных случаях при отказе защит

Таблица 10 Перегрузки по току статора

Продолжительность, мин	1	2	4	6	15	60
Допустимая перегрузка,	1,5	1,4	1,3	1,2	1,15	1,1

Таблица 11 Перегрузки по току ротора

Продолжительность, с	20	60	240	600
Допустимая перегрузка,	2	1,5	1,2	1,1

Для автоматического снятия перегрузки ротора должна быть предусмотрена защита с характеристикой в соответствии с таблицей 3.6.5.4-2. Перегрузки сверх указанных в таблицах не разрешаются.

Указанные в таблицах 10 и 11 перегрузки разрешаются с интервалом времени не менее 20 мин.

Запрещается применять указанные перегрузки при номинальных условиях работы энергосистемы.

Работа при отключении газоохладителей

Работа генератора при одном отключенном газоохладителе допускается при нагрузке не более 0,6 номинальной длительностью не более 24 ч.

Работа при отключении более одного газоохладителя не допускается.

Работа генератора на воздухе не допускается.

Работа на выпрямительную нагрузку

Длительная работа генератора в симметричном режиме на сеть с выпрямительной нагрузкой при номинальной мощности допускается при условии, что значения высших гармонических токов пятого и седьмого порядков не превосходят 4 % и 3 %, соответственно, номинального тока генератора.

2.3 Проблемы возникшие при эксплуатации и пути их устранения на Курской АЭС

На Курской АЭС было несколько отказов, связанных с нарушением режима по системе охлаждения обмотки статора генератора:

06.02.2000г. Разгрузка 3-го блока до 50% Нном. из-за отключения ТГ-6 вследствие повышения концентрации водорода в газовой ловушке.

На БЩУ-О появился ПС «концентрация водорода в газовой ловушке» (уставка 1% по прибору МПС-4614). При осмотре по месту – усиленное выделение пузырьков газа в газовой ловушке. Ручной замер – 17,1%. ТГ-6 разгружен и отключен в ремонт. При вскрытии генератора обнаружена течь воды из нижней водо-соединительной трубки в районе подсоединения трубки к штуцеру наконечника вывода обмотки С5 фазы В через трещину в сварном шве, соединяющем медную трубку с наконечником из нержавеющей стали.

25.04.2002г. Разгрузка 3-го блока до 50% Нном. из-за отключения ТГ-6 персоналом вследствие повышения концентрации водорода в газовой ловушке.

Описание события почти такое же, только $C_{H_2}=26\%$.

Ранее аналогичные отказы были на:

- ТГ-1 (отчет №1КУР-0-18-12/88 от 25.12.88г, отчет №1КУР-П08-5-3/92 от 19.03.92г);
- ТГ-8 (отчет №4КУР-0-16-11/88 от 25.11.88г);
- ТГ-6 (отчет №3КУР-П08-11-12-95 от 25.12.95г).

Возможные причины возникновения трещин в месте сварных швов «медь-сталь 08ХН10Т»:

- нарушение технологии аргоно-дуговой сварки;
- вибрационные нагрузки, которые вызывают в зоне концентрации напряжений (граница сварного шва ниппеля) усталостное разрушение металла;
- недостаток конструкции (недостаточная гибкость компенсатора).

Корректирующие меры:

– заменить медные водо-соединительные трубки на фторопластовые (заменены на всех генераторах);

– ввести в карту уставок ТЦ значение уставки ПС $R_{\text{дист.}}=4,3 \text{ кгс/см}^2$ на входе в обмотку статора генератора (выполнено, блинкер на МЦГ «высокое давление дистиллята» и ПС на МТО БЩУ-О «водородное охлаждение»);

– установить регистратор Сн_2 в газовой ловушке со шкалой $0 \div 30\%$ (выполнено, на стойке рядом с генератором);

– завести в ДРЕГ сигнализацию по Сн_2 в газовых ловушках ТГ-5 ÷ 8 (выполнено);

– в инструкцию по эксплуатации СОС ввести пункт при $\text{Сн}_2 \geq 20\%$ в газовой ловушке немедленно отключить генератор.

С точки зрения безопасности эти отказы могли бы стать более тяжелыми в случае усиления течи воды через трещины в водо-соединительных трубках (при определенных условиях, когда давление водорода снижается ниже давления дистиллята), что могло бы привести к снижению сопротивления изоляции обмотки статора генератора. Поэтому вопросы эксплуатации СОС и включены в тематику поддержания квалификации персонала БЩУ и ТЦ.

Касаясь коммуникативности, необходимо напомнить персоналу об останове турбины на ЛАЭС 11.05.2010г.

11.05.10 в 14:43 произошла автоматическая разгрузка бл. №2 по сигналу БУСМ-1Т (снижение мощности реактора до 50% номинальной мощности) с мощности 1000МВт до 500МВт эл. по факту останова одного из двух работающих ТГ (ТГ-3).

Останов ТГ-3 по сигналу «Снижение уровня в демпферном баке системы уплотнения вала генератора (ДБУ)» явилось следствием кратковременного прекращения циркуляции в системе маслоснабжения уплотнений вала генератора.

Кратковременное прекращение циркуляции в системе маслоснабжения уплотнений вала генератора явилось следствием ошибочных (неправильных) действий персонала (ВИУТа и МОТО), а именно:

– МОТО ошибочно закрыл задвижку на напоре работающего маслонасоса генератора (МНУ-31), вместо закрытия по команде ВИУТа задвижки на напоре насоса МНУ-32, включившегося по АВР;

– ВИУТ перед остановкой МНУ-32 отключил АВР аварийного маслонасоса генератора (АМНУ).

Событие произошло при заполнении масляного фильтра ФМУ-31 после его чистки. МНУ-31 находился в работе, МНУ-32 – в резерве. АВР АМНУ был отключён ВИУТом. При заполнении ФМУ-31 по сигналу снижения давления в напорной части системы маслоснабжения уплотнений вала генератора до 8 кгс/см^2 сработал АВР и запустился МНУ-32. ВИУТ дал команду МОТО осмотреть МНУ-32 и закрыть задвижку на напоре МНУ-32. МОТО при выполнении команды ошибочно закрыл задвижку на напоре МНУ-31, после чего произвёл доклад о выполнении команды ВИУТу. После получения доклада от МОТО, ВИУТ остановил МНУ-32. В соответствии с проектным алгоритмом при снижении давления в напорной части системы маслоснабжения уплотнений вала генератора до 7 кгс/см^2 по АВР должен запускаться АМНУ, который не запустился по причине отключения АВР ВИУТом.

Отработка режима БУСМ-1-Т прошла по проектному алгоритму без замечаний.

По состоянию на момент составления справки состоялся разбор события с причастным к событию персоналом, оформлены объяснительные записки, подготовлен приказ о создании комиссии по расследованию нарушения, оформляется описание (блок-схема) нарушения для направления в Генеральную инспекцию.

В 20:47 11.05.10 ТГ-3 включён в сеть.

Некачественное проведение переключений в схеме СОС также могут привести к останову генератора и турбины.

15.07.2014 Курская АЭС

Энергоблок №2 разгружен до 50% номинальной мощности в результате отключения ТГ-4 защитой по снижению расхода воды через обмотку статора из-за отключения работающего НОС-41 и не включения резервного насоса НОС-42 по АВР.

Причиной отключения ТГ-4 явилось объединение цепей управления насосов НОС-41 и НОС-42 из-за снижения изоляции кабелей «НОС-41-332» и «НОС-42-332».

При объединении жилы А1 кабеля НОС-42 и жилы А3 кабеля НОС-41 сформировался сигнал на отключение насоса НОС-41. Насос НОС-41 отключился. При этом насос НОС-42 по АВР не включился, вследствие отключения автомата питания цепей управления НОС-42 из-за снижения сопротивления изоляции жилы А1 кабеля НОС-42 относительно «земли». Это привело к снижению расхода воды через обмотку статора и как следствие к отключению ТГ-4 защитой по снижению расхода воды через обмотку статора.

26.11.2018 Курская АЭС.

Отключение от сети ТГ-4 из-за роста содержания водорода в газовой ловушке (более 3%) вследствие разгерметизации фторопластового шланга водопровода на сливе. Возможная причина – воздействие давления водорода на фторопластовый шланг при снижении давления дистиллята на выходе из обмотки статора ниже допустимых значений из-за вакуума в БКС.

2.4 Система очистки воды

Вода – самое распространенное химическое соединение. Угол связи в молекуле воды НОН равен 105° ; межъядерное расстояние $O \leftrightarrow H$ составляет $0,97 \text{ \AA}$; $H \leftrightarrow H$ – $1,63 \text{ \AA}$ дипольный момент равен $1,87 \times 10^{-18}$ эл. ст. ед. Сильный

дипольный характер молекул воды обуславливает особую склонность воды образовывать продукты присоединения.

Химически чистая вода является очень слабым электролитом и диссоциирует на ионы H^+ и OH^- в незначительном количестве $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$. Вода может проявлять и кислые и основные свойства. Одним из основных показателей качества воды является водородный показатель. Растворы, в которых концентрация водородных и гидроксильных ионов одинаковы и каждая из них равна 10^{-7} г-ион /кг называется нейтральными. В кислых растворах преобладает концентрация водородных ионов, в щелочных – гидроксильных, то есть степень кислотности или щелочности можно характеризовать концентрацией водородных ионов. Для выражения кислотности или щелочности пользуется водородным показателем.

Являясь слабым электролитом, вода способна проводить электрический ток. Удельная электропроводимость водорода характеризует содержание в воде различных примесей, находящихся в ионном состоянии и зависит от температуры.

Другим показателем, характеризующим свойства водных растворов является окислительно-восстановительный потенциал. Он характеризует окислительно-восстановительное равновесие в водном теплоносителе, влияет на ряд процессов, в частности на режим образования и растворение оксидной пленки (или железо-окисных отложений) при постоянном значении рН. Абсолютно чистой воды практически не существует. Вода является различных веществ неорганического и органического характера, которые попадают в тракт электростанции и создают среду, оказывающую влияние на работу элементов оборудования.

Наличие в воде различных примесей может приводить к образованию в тепловых агрегатах накипных отложений и коррозии.

Исходной водой для ХВО является вода из водохранилища. На ХВО вода поступает из насосной пруда охладителя.

Таблица 12. Химический состав исходной воды

Параметры	Концентрация,	Параметры	Концентрация, мг/л
pH, ед.	7,66	нитриты	1,3
щелочность, мг-экв/л	2,55	оксид кремния	0,98
хлориды, мг/ л	5,5	солесодержание	479,95
сульфаты, мг/л	125,0	окисляемость	6,08
жесткость кальциевая, мг – экв/л	2,6	Цинк	-
жесткость магния, мг – экв/л	1,4	Фосфаты	0,05
жесткость общая мг- экв/л	4,0	взвешенные вещества	4,0
железо, мг/л	0,39	нефтепродукты	< 0,05
медь, мг/л	0,0091	нитраты	0,11
натрий, мг/л	77,0	калий, мг/л	4,0

В режиме обессоливания достигается следующее качество обессоленной воды:

- 1) удельная электропроводимость Н-катионитовой пробы (при температуре 25⁰С);
- 2) соединения натрия – 5 мкг/кг (в пересчете на натрий);
- 3) кремниевая кислота – 15 мкг/кг (в пересчете кремниевой кислоты);
- 4) соединения железа – 15 мкг/кг (в пересчете на железо);
- 5) соединения меди – 5 мкг/кг (в пересчете на медь).

Вспомогательные материалы.

В качестве фильтрующего материала во всех ионообменных фильтрах используются ионообменные смолы: катиониты и аниониты. Они представляют собой высокомолекулярные органические вещества трехмерной структуры, практически нерастворимые в воде и обратимо обменивающие ионы, входящие в

их состав, на эквивалентное количество других ионов того же знака, находящиеся в растворе. При существенных различиях в химическом составе и структуре для всех ионитов характерен один и тот же принцип построения: они имеют каркас, несущий избыточный заряд, и подвижные противоионы. У ионообменных смол каркас, называемый матрицей, состоит из высокополимерной пространственной сетки углеводородных цепей в отдельных местах, которой закреплены функционально-активные гидрофильные группы. Между углеводородными цепями есть поперечные связи (мостики), препятствующие разъединению цепей, но допускающие их деформацию.

С течением времени в слое работающего материала в результате его постепенного разрушения может накапливаться все больше и больше мелкой фракции, от которой слой ионита частично освобождается при взрыхлении. Основной причиной разрушения товарных фракций ионитов являются знакопеременные напряжения, возникающие в зерне ионита при его работе. В рабочем цикле зерна ионитов сжимаются. При проведении регенерации зерна ионитов расширяются. И набухание, и сжатие происходят под действием осмотического давления воды. Это в свою очередь приводит к появлению в зерне микротрещин, которые в конечном результате приводят к раскалыванию зерна ионита. К раскалыванию треснувшего зерна ведут также и механические нагрузки, происходящие в процессе трения зерен друг о друга или о стенки аппаратов или трубопроводов, а также имеющие место при взрыхлении или гидравлических перегрузках ионитов.

Способность ионитов сохранять неизменным товарный фракционный состав принято характеризовать двумя показателями: осмотической стабильностью и механической прочностью. Оба эти показателя являются крайне важными, поскольку измельчение ионитов и последующий постоянный вынос мелких фракций при взрыхлении слоя сокращают срок их использования и повышают стоимость очищаемой воды.

Способность к ионному обмену обусловлена наличием в ионитах функциональных групп. У катионов эти группы носят кислотный характер, у анионитов – основной. По сродству функциональных групп катионы и анионы делятся на сильные и слабые. Катионы, содержащие сульфогруппы, являются сильнокислотными, называются универсальными и маркируются буквами КУ. Катиониты, содержащие карбоксильные группы, являются слабокислотными, называются буферными и маркируются буквами КБ. Сильнокислотные катиониты осуществляют обмен ионов в широкой области значений рН, тогда как слабокислотные в кислой области резко уменьшают способность ионов к обмену. Анионы, содержащие аминогруппы, являются слабоосновными и маркируются буквами АВ. Слабоосновные аниониты успешно осуществляют ионный обмен лишь в кислых средах, тогда как у высокоосновных обмен анионов происходит в широкой области значений рН.

2.5 Контроль и обслуживание охлаждающих сред

Во время эксплуатации оперативный персонал обязан:

- следить по контрольно-измерительным приборам за работой системы и температурным режимом генератора;
- путем регулярных обходов, не реже одного раза в два часа, проверять состояние работающего и резервного оборудования;
- в случае работы аварийно-предупредительной сигнализации, а также при выявлении во время обходов неполадок в работе оборудования, немедленно принимать меры к восстановлению нормального режима, руководствуясь противоаварийными указаниями настоящей инструкции и приобретенным опытом эксплуатации.

При приемке смены проверять исправность светозвуковой аварийно-предупредительной сигнализации, чистоту закрепленного оборудования.

Через каждые два часа производить осмотр оборудования системы, записывая при этом показания приборов в суточную ведомость.

Об обнаруженных дефектах сообщать НСТЦ, СМТО, для принятия мер к их устранению. Все дефекты должны быть записаны в журнале дефектов.

При обходах кратковременным открытием вентилей воздушников резервного и работающего оборудования проверять наличие или отсутствие в нем газов и обезвоздушивать оборудование.

В случае останова генератора в зимнее время, когда есть опасение понижения температуры воздуха в машзале до 0°С и ниже, систему необходимо опорожнить открытием дренажей и воздушников, по согласованию с НСЭЦ.

Строго выполнять график профилактических работ и график работы оборудования системы, содержать в чистоте оборудование и трубопроводы системы.

В соответствии с «Графиком профилактических работ» производить проверку плотности системы газоохлаждения, ТГО.

При работе генератора поддерживать вокруг него чистоту, не допуская загрязнения маслом и пылью изоляции подшипника и уплотнений вала.

Показания измерительных приборов, характеризующих состояние генератора при эксплуатации, должны регистрироваться.

При этом показания активной мощности, напряжения статора и ротора, температуры обмотки и сердечника статора, водорода, дистиллята, вкладышей подшипников и уплотнений, масла на сливе из подшипников и на входе в уплотнения, технической воды на входе и выходе из газоохладителей, давления водорода в корпусе генератора, перепада давления масло-водород, расхода дистиллята и вибрации подшипников должны быть выведены на автоматические регистрирующие и показывающие приборы.

Остальные величины должны периодически записываться в соответствующие ведомости.

Отклонения от нормальной работы

Если регистрируемые температуры превышают допустимые, то нагрузка генератора должна быть снижена до значения, при котором температуры не превышают допустимых, и при первой возможности генератор должен быть остановлен для выявления и устранения причин повышенного нагрева.

В случае, если уменьшением нагрузки снизить нагрев не удастся, генератор должен быть немедленно разгружен и отключен от сети оператором или защитой. При резком отклонении теплового режима от установившегося необходимо немедленно выявить и устранить причину ненормальности.

При выходе из строя термопреобразователя сопротивления следует в кратчайший срок подключить резервный.

При выходе из строя в трех пазах термопреобразователей сопротивления, включая резервные, установленных под клинья обмотки статора, генератор должен быть при первой возможности выведен в ремонт для восстановления термопреобразователей сопротивления.

При появлении в генераторе небольшого количества воды (примерно до 50.0 см³ в смену) следует слить воду и установить наблюдение за генератором.

Если вода продолжает скапливаться, то необходимо с помощью дренажных отводов определить источник появления воды.

Если таким источником является газоохладитель, то следует при ближайшем останове устранить течь газоохладителя. При больших, чем 500 см³ в смену, утечках воды из газоохладителя, отключить его от трубопроводов, а нагрузку генератора снизить до такой величины, при которой температуры активных частей генератора (обмотка статора и ротора, сердечник статора) и охлаждающих сред (водорода и дистиллята) не превышали бы допустимых. В течение 24 ч генератор остановить, течь в газоохладителе устранить, или заменить его.

Если выяснено, что вода в корпус генератора попадает из системы водяного охлаждения обмотки статора, генератор должен быть немедленно разгружен и отключен от сети.

Газовое состояние и расход охлаждающей воды

При нормальной работе генератора должны поддерживаться основные параметры водорода.

Избыточное давление водорода в корпусе генератора не должно отличаться от номинального больше, чем на $\pm 0,02$ МПа ($\pm 0,2$ кгс/см²).

Водород, поступающий в генератор, должен соответствовать требованиям.

Влажность подаваемого в генератор водорода должна измеряться перед заполнением генератора водородом, и перед каждой подпиткой и продувкой.

Для предотвращения повышенных концентраций водяных паров в корпусе статора, вредно влияющих на изоляцию обмоток, механическую прочность бандажного узла ротора и т.д., относительная влажность водорода во время эксплуатации, приведенная к температуре холодного газа, должна составлять не более 20 %. Это значение должно поддерживаться во всех режимах. При неподвижном роторе для уменьшения влажности необходимо периодически продувать корпус машины сухим газом.

Температура точки росы (влажность) водорода в корпусе генератора при рабочем давлении должна быть ниже, чем температура воды на входе в газоохладитель, но не выше +15 °С.

В соответствии с этим должен быть настроен режим работы холодильной установки в схеме водородного охлаждения генератора. Температура водорода, выходящего из холодильной установки, должна поддерживаться в пределах от 0 до + 5 °С.

Для нормальной эксплуатации рекомендуется поддерживать относительную влажность водорода не выше 15 %.

При повышении влажности до 20 % необходимо установить причину и принять меры по ее устранению, при необходимости прибегая к более частым

продувкам генератора сухим водородом, относительная влажность которого должна быть не более 10 %. При достижении влажности водорода в генераторе 20 % измерение влажности производить через каждые 4 ч.

Эксплуатация генератора с влажностью водорода более 20 %, но не более 30 %, допускается не более трех периодов в году при длительности каждого периода не более трех суток.

Давление технической воды в газоохладителях при нормальной эксплуатации генератора для предотвращения попадания влаги внутрь корпуса статора должно поддерживаться на уровне, не превышающем давление водорода.

Температура холодной технической воды, поступающей в газоохладители, должна быть не ниже 15 °С.

При большом снижении или сбросах нагрузки для предотвращения резкого охлаждения генератора необходимо включить устройство рециркуляции охлаждающей воды или снизить расход первичной охлаждающей воды через охладители внешнего контура при наличии замкнутого контура охлаждения газоохладителей генератора.

Таким же образом следует действовать при снижении температуры холодного водорода внутри генератора ниже + 20 °С. Эксплуатация генератора при температуре холодного водорода ниже + 20 °С не разрешается.

Расход водорода и допустимые утечки

Максимальный эксплуатационный суточный расход водорода с учетом продувок не должен превышать 10 % (42 м³) общего количества газа в генераторе при рабочем давлении. При этом суточная утечка водорода, вычисленная по формуле (2) и (3), не должна превышать 5 % (21 м³) общего количества водорода в корпусе генератора при рабочем давлении

$$S = \frac{V_r \cdot P_2}{V_z \cdot P_1} \cdot 100 \quad (1)$$

где суточная утечка определяется по формуле

$$V_y = 2690 \frac{V_g \cdot 24}{t} \left(\frac{P_1}{273 + \vartheta_1} - \frac{P_2}{273 + \vartheta_2} \right) \quad (2)$$

где: S - суточная утечка водорода в % количества газа в генераторе при рабочем давлении;

V_y - суточная утечка водорода в m^3 , приведенная к нормальным атмосферным условиям: $P_0 = 0,1$ МПа (760 мм.рт.ст.) и температуре 20 °С;

V_g - газовый объем генератора совместно с газовой системой, m^3 ;

P_0 - абсолютное давление водорода в нормальных условиях (0,1 МПа);

P_1 и P_2 — абсолютное давление водорода в машине в начале и в конце испытания, МПа;

t — продолжительность испытания, ч (не менее 8 ч)

Требования к системе водяного охлаждения обмотки статора

Система водяного охлаждения обмотки статора заполняется дистиллятом (обессоленным конденсатом турбины) с номинальными параметрами.

Поддержание требуемого водно-химического режима обмотки статора является обязательным условием для обеспечения чистоты поверхностей системы водяного охлаждения, предотвращения засорения элементарных проводников стержней обмотки статора и, следовательно, предотвращения нежелательных перегревов обмотки.

При снижении удельного сопротивления дистиллята до 100 кОм-см должна срабатывать сигнализация. По получении сигнала необходимо поднять удельное сопротивление дистиллята путем замены части его свежим.

Если поднять удельное сопротивление дистиллята не удастся, и оно продолжает снижаться, то при значении удельного сопротивления 50 кОмсм генератор должен быть разгружен и отключен от сети.

Величина показателя дистиллята рН должна поддерживаться в пределах от 8,0 до 9,0 при температуре 25 °С. При повышении показателя рН более 9,0 и снижении менее 8,0 должны быть приняты меры в системе обеспечения водяного

охлаждения обмотки статора по приведению показателя рН в норму: устранить протечки технической воды и т.д. Содержание ионов меди в системе охлаждения обмотки статора должно поддерживаться не выше 100 мкг/л. При повышении этой величины сверх нормы необходимо сообщить об этом заводу-изготовителю генератора. В случае достижения содержания ионов меди до 200 мкг/л осуществлять замену дистиллята для приведения содержания ионов меди до нормы.

Подпитку и заполнение системы охлаждения обмотки статора осуществлять от нагнетательного трубопровода конденсатных насосов, а в периоды пусков энергетического оборудования - из баков запаса чистого конденсата. Конкретные меры по поддержанию требуемого водно-химического режима указаны в технической документации на систему водяного охлаждения обмотки статора, поставляемой с генератором. Чтобы вытеснить воздух из системы охлаждения обмотки статора, заполнение ее следует производить при открытых дренажных трубках напорного и сливного коллекторов обмотки, теплообменников, фильтров и открытых воздушных пробках в высших точках трубопроводов водяного тракта. Считать систему заполненной при отсутствии выделения пузырьков воздуха из контрольных дренажных трубок.

В период работы водяной системы необходимо поддерживать непрерывный минимальный слив охлаждающего дистиллята через контрольные дренажные трубки и газовую ловушку

При снижении расхода дистиллята через обмотку должна действовать предупредительная сигнализация и защита.

Работа генератора при отсутствии циркуляции дистиллята запрещается во всех режимах, кроме холостого хода без возбуждения.

Регулировку температуры дистиллята на входе в обмотку следует производить путем изменения расхода охлаждающей воды в теплообменниках дистиллята задвижкой на выходе из теплообменников или путем перепуска части дистиллята помимо теплообменника.

При повышении температуры дистиллята на сливе из обмотки выше предельно допустимой нагрузка генератора должна быть снижена до значения, при котором температуры дистиллята и обмотки будут в допустимых пределах. При повышении температуры дистиллята на входе и сливе выше аварийной уставки генератор должен быть разгружен оператором или защитой.

Давление дистиллята на входе в обмотку статора во всех режимах не должно превышать давление водорода в корпусе статора.

При отсутствии водорода в генераторе насосы системы водяного охлаждения обмотки статора должны быть отключены.

При эксплуатации генератора допускается содержание водорода в газовой ловушке до 3 %. Измерение регистрируется автоматически с помощью постоянно включенного газоанализатора, а при его временной неисправности, - не реже, чем 1 раз в сутки по химическому анализу. Контрольный химический анализ для проверки правильности работы газоанализатора следует производить не реже 1 раза в неделю.

При содержании водорода в газовой ловушке более 3 % следует установить тщательное наблюдение за генератором: измерения следует производить по газоанализатору каждый час с внеочередной проверкой правильности его показаний по контрольному химическому анализу, а в случае "зашкаливания" газоанализатора или его неисправности - каждый час по химическому анализу; следить за температурой стержней и наличием воды в корпусе статора, а также за обеспечением превышения давления водорода в корпусе статора над давлением дистиллята на входе в обмотку не менее 0,02 МПа (0,2 кгс/см²). Генератор следует остановить при первой возможности, но не позднее, чем через 5 дней для выяснения и устранения причин появления водорода. Если при ежечасном отборе проб содержание водорода в газовой ловушке превысит 20 %, генератор должен быть немедленно разгружен, отключен от сети и выведен в ремонт.

Отыскание мест негерметичности в обмотке во время ремонта выполнять в соответствии с Руководством по ремонту генератора.

2.6 Модернизация системы охлаждения генератора

ТВВ-500-2УЗ на ТГ-7,8

Система охлаждения генератора комбинированная, с применением в качестве охлаждающих агентов: дистиллят - для охлаждения обмотки статора; водород - для охлаждения обмотки ротора, активной стали и конструктивных элементов торцевой зоны статора.

Система водородного охлаждения генератора предназначена для:

- охлаждения циркулирующего в корпусе генератора водорода в четырех встроенных газоохладителях;
- охлаждения ротора и стали статора генератора циркулирующим в корпусе генератора водородом;
- охлаждения циркулирующего в корпусе возбуждителя воздуха в четырех встроенных воздухоохладителях;
- охлаждения дистиллята системы охлаждения обмотки статора генератора в двух теплообменниках типа ВВТ-60;
- охлаждения дистиллята, подаваемого на охлаждение тиристорных преобразователей, в теплообменнике типа ВВТ-2 для 3-го энергоблока.

Примечание - Съем тепла в вышеперечисленных теплообменниках происходит за счет прокачки насосами газоохлаждения (НГО) химобессоленной воды, охлаждаемой циркуляцией в трех теплообменниках газоохлаждения (ТГО).

Оборудование системы водородного охлаждения генератора по степени влияния на безопасность атомной энергетической установки относится к системе нормальной эксплуатации, класс безопасности 3 по НП-001-15, по НП-089-15 не классифицируется.

Состав системы на один ТГ:

- бак газоохлаждения: ЕГО - (п)1;
- два центробежных насоса газоохлаждения двустороннего входа НГО√(П)1, (п)2 - типа Д 2000-62 (подача - 2000 м³/ч, напор- 62 м. вод. ст.) с электродвигателем типа А-400Х-8УЗ - для 3- го блока, А4-400Х-8МУЗ -для 4-го блока (мощность 250 кВт, ток-32 А, число оборотов-750 об/мин);
- два теплообменника газоохлаждения ТГО - (п) 1, (п)2 типа 1000 ТНВ, реконструированные на одноходовые по циркуляционной воде, кол-во трубок 1138, диаметр 20Х2, длина 4000мм, материал Ст.20;
- один теплообменник газоохлаждения ТГО-(П)3, дополнительный (горизонтальный): на 3-м блоке кол-во трубок 1606, диаметр 20Х2, длина 4000мм, материал НЖ; на 4-м блоке горизонтально установлен один теплообменник (п)3 типа 1000 ТНВ, количество трубок 1138, диаметр 20Х2, длина 4000мм, материал ст20.
- четыре газоохладителя генератора: ГО - (π)1, (π)2, (π)3, (π)4;
- четыре воздухоохладителя возбuditеля: ВО - (π)1, (π)2, (π)3, (π)4;
- по одному фильтру предочистки группы теплообменников газоохлаждения ТГО-(П)1, (π)2 -ФП-(π)2;
- по одному фильтру предочистки теплообменников газоохлаждения ТГО-(П)3 -ФП-(π)1.

Фильтр предочистки состоит из:

- вращающегося ротора с лотком для приёма загрязнений;
- привода ротора: Т(π)-(π)22, (п)12;
- дифманометров для измерения перепада давления на ФП-(π)1, (п)2;
- трубопровода Ду-80 с мембранным клапаном для сброса загрязнений из ФП в трубопроводы слива циркуляционной воды из ТГО-(П)1, (п)2; (п)3.

Примечание - Теплообменники типа ВВТ-60, ВВТ-2 включены в схему охлаждения обмотки статора. Подробные технические данные оборудования системы приведены в документе «Техническое описание генератора и его вспомогательных систем».

Принцип работы системы

Необходимость создания рассматриваемой системы диктуется следующими физическими явлениями. При прохождении электрического тока по проводнику часть его по закону Джоуля-Ленца, превращается в тепло, вызывающее нагрев проводника. В обмотках электрических машин протекают токи, величина которых достигает тысяч ампер. Эти токи образуют вокруг проводников переменное магнитное поле, индуцирующее в металлических частях электромашин токи Фуко, вызывающие их нагрев.

С ростом единичной мощности генераторов и возбuditелей задача их надежного и экономичного охлаждения стала одной из важнейших. В качестве одного из охлаждающих реагентов для генераторов типа ТВВ-500-2УЗ завода "Электросила" выбран водород, обладающий значительной теплоемкостью, возрастающей с ростом давления, неагрессивный к изоляции и конструкционным деталям генератора, имеющий малый удельный вес, что резко снижает расход энергии на его перекачку вентиляторами в корпусе генератора и имеющий сравнительно низкую стоимость при его производстве на электростанции в электролизной установке за счет электролиза (разложения) воды на кислород и водород. Водород после ГО омывает ротор, обмотку и активную сталь генератора, отбирает тепло, и вентиляторы, насаженные по концам ротора генератора, прокачивают нагретый водород из средней части генератора через межтрубное пространство ГО, в которых за счет расхода воды от НГО водород охлаждается и проходит по нагретым частям генератора на всас вентиляторов. Таким образом, осуществляется замкнутая циркуляция водорода в корпусе генератора.

В качестве охлаждающего реагента возбuditеля применяется воздух, циркуляция которого в замкнутом объеме возбuditеля осуществляется вентиляторами ротора, прокачивающими нагретый воздух через воздухоохладители, охлаждаемые за счет расхода воды от НГО.

Для охлаждения дистиллята системы охлаждения обмотки статора применены поверхностные теплообменники, в которых охлаждающая вода от

НГО проходит по трубкам, а охлаждаемый дистиллят по межтрубному пространству.

Нагретая в газоохладителях генератора, воздухоохладителях возбuditеля и теплообменниках системы охлаждения обмотки статора охлаждающая вода поступает в ТГО, в которых охлаждается циркуляционной водой из напорных циркуляционных конденсаторов турбин и поступает на всас НГО.

Для восполнения утечек воды контура газоохлаждения предусмотрен бак БГО, установленный на отм. +18,8 м для создания подпора на всасе НГО. Уровень в БГО автоматически поддерживается поплавковым регулятором уровня. Вода на подпитку БГО поступает из БНОВ-2. Для удаления из верхней части корпуса БГО неконденсирующихся газов, предусмотрен постоянно открытый вентиль воздушника.

Автоматическое регулирование

В рассматриваемой системе наиболее переменной величиной является уровень в БГО. Для его автоматического регулирования на величине 850-1150 мм применен автоматически действующий поплавковый регулятор уровня, который при снижении уровня ниже нормального открывается, производя подпитку БГО, а при увеличении уровня до нормального закрывается.

Основным режимом эксплуатации ФП является «Автоматический». При этом на оперативной панели щита управления ФП отображается величина разности давлений на очищающей вставке в мБар. Если разность давлений достигает первого предела 150 мБар, то автоматически начинается промывка ФП в течение 30 секунд. При дальнейшем росте перепада давления на фильтре предочистки до второго предела (аварийного) 200 мБар автоматически включается установка промывки ФП на 300 секунд, появляется световой сигнал на панели и сообщение на мониторе «АР крайне высок», а так же срабатывает сигнализация «ФП-(п)1 ÷ (п)3 вызов» на панелях 17 (20) БЩУ-О.

Система водородного охлаждения генератора расположена в помещениях:

- Г 076 (отм. -4,2 М. 3.);

- Г 190 (отм. 0,0М. 3.);
- Г438 (отм.+12,0 М. 3.).

Система водородного охлаждения генератора граничит со следующими системами:

- системой водяного охлаждения статора генератора;
- системой циркуляционного водоснабжения;
- системой химически обессоленной воды.

В декабре 2017 года во время проведения самооценки были внесены корректирующие мероприятия.

Во время длительной эксплуатации теплообменников систем газоохлаждения генераторов ст.№№7,8 ТГО-73 и ТГО-83 произошли значительные повреждения их трубных систем. На основании данных переданных персоналом ЦРТОиС «АЭР», проведен анализ состояния теплообменного оборудования: количество отглушенных дефектных трубок.

В результате осмотра трубной системы ТГО-73 установлено, что при ремонте теплообменника, из-за не плотности трубной системы были отглушены 826 теплообменных труб, что составляет >25 % от общего количества -1801шт.

В результате осмотра трубной системы ТГО-83 установлено, что при ремонте теплообменника из-за неплотности трубной системы были отглушены 813 теплообменных труб, что составляет >25 % от общего количества -1801шт.

В соответствии с требованиями ТУ № 95.28.046-92 «Теплообменные аппараты и сосуды АЭС. Общие технические условия на капитальный ремонт», при отглушении более 10% теплообменных трубок требуется замена теплообменника.

В состав систем водородного охлаждения генератора входят (для каждого ТГ-7(8):

- два теплообменника газоохлаждения ТГО-71,72(81,82) типа 1000ТНВ-16М/20Г4-2, количество трубок 1138, материал трубок Ст20;

-один теплообменник газоохлаждения ТГО-73(83), типа 1200ТНГ-1-10-М1/20Г4-2, дополнительный (горизонтальный) с количеством трубок 1801 и материалом трубок Ст.20.

Изучены и проработаны материалы:

- ИЭ «Система водородного охлаждения генератора ТВВ-500-2У3» 2-ИЭ-44-ТЦ, инв. № 209-ТЦ- 2017;

- ИЭ «Турбогенератор типа ТВВ-500-2У3 стационарные №№5-8 » 2-ИЭ-97-ЭЦ, инв. №131-ЭЦ.

- Технологические схемы: «Схема трубопроводов охлаждения генератора ТВВ-500-2 ТГ-7 (8)» 2Сх-03-ТЦ-1,2 (2Сх-04-ТЦ-1,2).

-«Техническая справка» ОИТПЭ от 14.12.2017г. о возможных причинах повышенного содержания железа в системе водородного охлаждения генератора ТГ-7 энергоблока №4.

Выявленные недостатки:

При достижении температуры воды в водоёме-охладителе в летний период максимальных значений, ТГО-73 и ТГО-83 не обеспечивают оптимальный температурный режим системы газоохлаждения генератора.

Непосредственные причины: Коррозия трубок в теплообменниках и установленных пробок в отглушенных трубках. Непринятие мер или несвоевременное их принятие, по замене ТГО-73,83 исчерпавших свой ресурс.

3 Безопасность и экологичность проектных решений

3.1 Анализ опасных и вредных факторов при работе оборудования и систем АЭС

В процессе труда человек вступает во взаимодействие с предметами труда. В ходе этого взаимодействия человек подвергается следующим воздействиям; радиационным, тепловым, химическим, электрическим, электромагнитным.

Наиболее вероятными и значимыми вредными факторами в машзале АЭС являются; шум, вибрация и тепловые излучения.

1) Шум – это беспорядочное сочетание звуков различной частоты и интенсивности.

Источником шума является турбоустановка. Шум отрицательно влияет на весь организм, а особенно на центральную нервную и сердечно – сосудистую системы. Длительное воздействие шума на организм человека вызывает нежелательные явления; снижает остроту слуха и зрения, повышает кровяное давление, утомляет центральную нервную систему, в результате чего ослабляется внимание, увеличивается количество ошибок, снижается производительность труда.

По характеру спектра шумы разделяются на: широкополосные, локальные, импульсные.

2) Вибрация – колебание твердых тел, вызываемая динамической неуравновешенностью вращающихся деталей.

Основными параметрами, характеризующими вибрацию, являются; частота, амплитуда вибросмещения, колебательная скорость, колебательное ускорение.

Вибрация близка к шуму и часто является его причиной. В производственных условиях вибрация может воздействовать на человека косвенным путем (через пол и другие части здания).

Вибрация вызывает в организме реакции, которые являются причинами функциональных расстройств различных органов. Опасность вибрации состоит в том, что большинство внутренних органов человека имеет собственную частоту колебаний, в диапазоне 6-10 Гц. Воздействие внешних колебаний с такими же частотами может вызвать резонансные явления в органах тела человека. При длительном воздействии вибрации может возникнуть профессиональное заболевание – вибрационная болезнь.

1) Тепловое излучение – это воздействие повышенных температур на организм человека. Вызывает утомляемость, головную боль, заторможенность внимания. В машзале находится большое количество оборудования с высокой температурой поверхности. Поэтому необходима тепловая изоляция для снижения температурного воздействия на персонал.

3.2 Мероприятия по безопасности труда

Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт оборудования зданий и сооружений АС должны осуществляться с учетом требований правил охраны труда.

На АС и в организациях, непосредственно обеспечивающих эксплуатацию атомных станций, на основании РД «Положение о системе управления охраной труда предприятия, организации концерна «Росэнергоатом» должны быть разработаны Положения о системе управления охраной труда, учитывающие особенности и специфику конкретных АС и организаций.

На руководителей АС и организаций, непосредственно обеспечивающих эксплуатацию атомных станций, возлагается персональная ответственность и общее руководство, а на главных инженеров - организация работы по охране труда и радиационной безопасности.

Начальники подразделений, смен и мастера обязаны обеспечить проведение организационных и технических мероприятий по созданию

безопасных условий труда, обучение и инструктаж безопасным приемам выполнения работы и осуществление контроля за соблюдением требований охраны труда и радиационной безопасности.

На АС и в организациях, непосредственно обеспечивающих эксплуатацию атомных станций, должны быть обеспечены в установленном порядке:

- безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и приспособлений;
- применение сертифицированных средств индивидуальной и коллективной защиты работников;
- режим труда и отдыха работников в соответствии с трудовым законодательством, иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права и локальными нормативными актами, содержащими нормы трудового права;
- обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте, обучение и проверка знаний требований охраны труда;
- проведение аттестации рабочих мест по условиям труда с последующей сертификацией организации работ по охране труда;
- обязательные предварительные, при поступлении на работу, и периодические медицинские осмотры (обследования);
- психофизиологические обследования работников для установления физиологической и психофизиологической пригодности к безопасному выполнению работ по отдельным операциям и видам работ;
- предсменные медицинские осмотры оперативного персонала атомных станций;
- предрейсовые медицинские осмотры водителей автотранспортных средств;

- лечебно-профилактическое питание и санитарно-бытовое обслуживание;

- разработка и утверждение правил и инструкций по охране труда для работников с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации или иного уполномоченного работниками органа в установленном порядке.

Тепломеханическое оборудование, приспособления, другое оборудование и установки, на которые распространяются правила и нормы органа государственного регулирования безопасности, должны быть зарегистрированы с оформлением паспорта и подвергаться испытаниям в соответствии с требованиями указанных норм и правил.

Средства индивидуальной защиты, приспособления и инструмент, применяемые при ремонте и техническом обслуживании оборудования, зданий и сооружений объектов атомной энергетики, должны подвергаться осмотру и испытаниям в соответствии с действующими нормами и правилами.

Ответственность за несчастные случаи, профессиональные заболевания (отравления) и случаи незапланированного облучения персонала, происшедшие на производстве, несет работодатель.

Каждый несчастный случай, каждый случай повышенного облучения персонала, а также все другие нарушения правил техники безопасности и радиационной безопасности должны быть расследованы, выявлены причины их возникновения и приняты меры по предотвращению повторения подобных случаев.

Сообщения о несчастных случаях, их расследование и учет должны производиться в соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации .

Сообщения о случаях повышенного облучения персонала их расследование и учет должны производиться в соответствии с Трудовым кодексом Российской Федерации и РД «Положение о расследовании

незапланированного или аварийного облучения персонала филиалов концерна «Росэнергоатом».

Каждый случай профессионального заболевания персонала должен быть расследован, выявлены причины и виновники их возникновения, приняты меры по предотвращению повторения подобных случаев в соответствии с [12] «Положение о расследовании и учете профессиональных заболеваний».

Материалы расследования несчастных случаев, случаев незапланированного облучения персонала и профессиональных заболеваний на производстве должны прорабатываться с персоналом, а также использоваться при разработке мероприятий по предупреждению аналогичных случаев.

Весь производственный персонал АС и организаций, непосредственно обеспечивающих эксплуатацию атомных станций, должен быть обучен практическим приемам освобождения работника, попавшего под действие электрического тока, и оказания первой помощи, а также приемам оказания первой помощи при других несчастных случаях.

При проведении строительного-монтажных, наладочных, и ремонтных работ, технического обслуживания оборудования на действующих атомных станциях прикомандированным персоналом должны быть разработаны согласованные мероприятия по охране труда, радиационной, взрыво- и пожаро-безопасности, учитывающие взаимодействие с АС и ответственность подразделений, выполняющих работы.

Ответственность за выполнение указанных мероприятий несут руководители соответствующих организаций.

Допуск прикомандированного персонала к работам на действующих станциях осуществляется по нарядам-допускам, общим нарядам-допускам и дозиметрическим нарядам в установленном порядке.

Допуск строительного-монтажных организаций к работам на действующих АС должен осуществляться после оформления акта-допуска согласно СНиП «Безопасность труда в строительстве. Общие требования».

Прикомандированный на АС персонал для выполнения работ в зоне контролируемого доступа должен пройти в установленном порядке медицинский осмотр и обучение безопасности труда в соответствии с действующими правилами и нормами.

На каждой АС должны быть обеспечены санитарно-бытовое и лечебно-профилактическое обслуживание работников в соответствии с требованиями охраны труда, а также доставка работников, заболевших на рабочем месте, в медицинскую организацию в случае необходимости оказания им неотложной медицинской помощи.

На каждой АС должны быть определены места размещения медицинских аптечек для оказания первой помощи, а также средств для транспортировки пострадавших; определена по согласованию с МСЧ номенклатура постоянного запаса медикаментов и перевязочных средств в аптечках.

Персонал, находящийся в помещениях с действующим энергооборудованием (за исключением щитов управления, релейных и им подобных), в закрытых и открытых распределительных устройствах, колодцах, камерах, каналах и туннелях АС, тепловых сетей, на строительной площадке и в ремонтной зоне должен надевать защитные каски.

3.3. Требования к безопасной эксплуатации

Анализируемое предприятие кроме производственных потенциально опасных факторов, воздействующих на персонал, имеет специфический фактор воздействия как на персонал так и на жителей примыкающих территорий, а также на окружающую среду – это ионизирующее излучение.

Мероприятия и средства по обеспечению безопасности труда.

Защита от ионизирующих излучений.

Технические мероприятия и средства защиты.

Для предотвращения выхода продуктов деления в помещениях АЭС и за ее пределы проектом предусмотрена система защитных барьеров: топливная матрица, оболочки твэлов, герметичный контур первичного теплоносителя, герметичные ограждения реакторной установки, разграничивающие радиоактивные среды.

Для защиты от интенсивных потоков нейтронов и γ -излучений, а также γ -излучений оборудования технических контуров и системы предусмотрено:

- размещение реактора в бетонной шахте со стенами толщиной 20 мм стали + 70 см. железосерпентинового бетона;
- защита из армированного бетона, служащая одновременно фундаментом реактора с наполнителем из серпентита;
- защита при помощи стальных экранов и крышки реактора в верхнем направлении от активной зоны;
- кольцевой бак с водой для защиты в радиальном направлениях от оси реактора около 1,2м;
- железобетонные конструкции с металлическими дверьми и люками стен и перекрытий помещений, стен бассейнов выдержки, шахт ревизии оборудования.

С целью уменьшения радиоактивного загрязнения производственных помещений предусмотрены:

- система спецканализации с промежуточными емкостями;
- система спецводоочистки;
- хранилища жидких отходов;
- пункты временного хранения, сортировки;
- хранилища твердых отходов.

Для улучшения радиационных условий предусмотрены технологические способы защиты:

- организация и поддержание водно-химических режимов, способствующих уменьшению скорости коррозии;

- повышение эффективности очистки теплоносителя от активных продуктов коррозии и деления;

деактивация отдельных видов оборудования (турбогенератор, трубопроводы, насосы, барабан-сепаратор и др.).

Электробезопасность.

Защита от прикосновения к токоведущим частям.

Проектом предусмотрено:

- малое напряжение для ручных и переносимых электрических светильников – 12 В;

- в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных – 12 В;

- разделительные трансформаторы со вторичным напряжением 36 В – для электроинструмента классов I и II, 36 В – для инструмента класса III (ПУЭ, 1.7.31, 1.7.32, 1.7.44; ПТЭ и ПТБ гл. Б.3.8

- комплект электрозщитных средств, для распределительных устройств, всех напряжений в соответствии с ПТЭ и ПТБ;

- контроль изоляции в сети до 1 кВ с изолированной нейтралью с действием на сигнал и с последующим контролем асимметрии напряжения (ПУЭ, 1.6.12).

Защита от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением.

Проектом предусмотрено (ПУЭ, гл. 1.7):

- защитное заземление в электроустановках напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью и свыше 1 кВ с любым режимом нейтрали;

- зануление – в электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью;

- выравнивание потенциалов – путем устройства контуров заземления ОРУ, ЗРУ, КРУ, ТП.

Нормализация воздушной среды производственных помещений.

Согласно СТО 1.1.1.02.009.0873-2017 объем производственных помещений на одного работающего не менее 15 м³, а площадь не менее 4,5 м².

Предусмотрено проектом:

- поддержание допустимых (оптимальных) параметров микроклимата путем применения отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха;

- поддержание чистоты воздуха рабочей зоны за счет применения герметичности технологического оборудования, местной вытяжной вентиляции, кондиционирования воздуха, размещения пылящих и загазованных производств в отдельных помещениях;

- спецвентиляция на АЭС применяется для сбора воздушной смеси и ее дезактивации через УПАК.

Снижение температуры на поверхности оборудования.

Для предотвращения потерь тепла в окружающую среду и предохранение персонала от ожогов при соприкосновении с поверхностью тепломеханического оборудования и трубопроводов в обслуживаемых помещениях с температурой теплоносителя 50 °С, а необслуживаемых помещениях с температурой теплоносителя до 60 °С предусматриваем теплоизоляцию:

1. Маты из стеклянной или минеральной ваты.
2. Асбестовые блоки и полотна.

Теплоизоляцию предусматриваем быстроръемную для возможности ее снять при выполнении ремонтов и осмотров.

Кроме этого предусматриваем следующие меры:

1. Защита теплоизоляции от попадания масла металлическими кожухами.
2. Герметизацию оборудования.
3. Периодический контроль за состоянием изоляции.
4. Обслуживание оборудования в соответствии с ПТЭ.

Оборудование и трубопроводы, имеющие температуру более 45 С, к которым возможен доступ работающих, покрываются тепловой изоляцией таким образом, чтобы температура на поверхности была не более 45 С.

Предотвращение падений с высоты.

С целью предотвращения падений с высоты предусматриваем:

1. Установку ограждений на площадках обслуживания и лестницах на высоте 1,3 м и более: ограждения высотой 1,25 м с поперечным элементом и отбортовкой по низу высотой 15 см.

2. Применение средств индивидуальной защиты при работе на высоте (пояса, страховочные канаты). ГОСТ 12.4.107-2012 определяет страховочный пояс как средство индивидуальной защиты от падений с высоты. страховочный канат применяется в тех случаях, когда место работы находится на расстоянии, не позволяющем закрепиться поясом за конструкцию или оборудование. Разрывная статическая нагрузка каната должна быть не менее 1000Н.

Нормализация производственного освещения.

Предусмотрено проектом(СП 52.13330.2016):

- естественное освещение с к. е. о. =3,5 % за счет применения остеклованных боковых проемов;

- искусственное освещение (общее, местное, комбинированное);

- аварийное освещение с применением ламп накаливания, питаемых от независимых источников (общешлюпочный щит постоянного тока, категория В по пожаровзрывоопасности);

- очистка остеклованных проемов и светильников не реже раза в год;

Защита от вибрации:

Предусмотрено проектом (ГОСТ Р 52892-2007):

- акустические разрывы, заполненные пористым материалом между фундаментами вибрирующих агрегатов и рабочими площадками;

- акустические швы, расположенные в нижних частях фундаментов;

- виброизолирующие опоры (стальные пружины, резина, пробка) под станинами и корпусами оборудования;

- виброизолирующие эластичные вставки на воздуховодах в местах соединения их с вентиляторами и в местах прохождения их через стены;

- облицовка листов покрытия пола рабочих площадок вибродемпфирующими материалами;

- применение рабочими средств индивидуальной защиты от вибрации (рукавицы, перчатки, с амортизирующими прокладками, виброгасящая обувь);
- поддержание в условиях эксплуатации технического состояния оборудования на уровне, предусмотренном нормативно-технической документацией;
- применение режимов труда, регулирующих продолжительность воздействия вибрации на рабочих.

Защита от шума.

Предусмотрено проектом (СП 51.13330.2011):

- группировка агрегатов и оборудования по степени шумности и размещения их в отдельных помещениях и зонах (машзал, насосные станции, компрессорные и др.);
- удаление внешних источников шума (трансформаторы, турбогенераторы, насосные станции, парогазопроводы и др.) от помещений дежурного персонала;
- создание свободной зоны между шумными цехами (компрессорная собственных нужд и азотно-кислородная станция) шириной до 50 м и озеленением;
- ограждение зон с уровнем звука более 85 дБа знаками безопасности;
- установка насосов, вентиляторов, компрессоров и других агрегатов производится на отдельные фундаменты, не связанные между собой;
- установка звукоизолирующих прокладок между агрегатами и фундаментами;
- создание акустических разрывов в конструкциях, заполнение звукоизолирующим материалом. Например, помещение дежурных смен не имеют общих фундаментов и стен с помещениями турбинного цеха;
- эластичные вставки между насосами и трубопроводами, вентиляторами и воздуховодами;

- звукоизоляция помещений с большим шумом выполняется с помощью массивных бетонных стен;
- герметизация, уплотнения по периметру притворов окон, дверей и ворот;
- покрытие стен и потолков помещений звукопоглощающими облицовочными материалами;
- применение объемных звукопоглотителей на участке;
- звукопоглощающая облицовка внутренних поверхностей газоздушных трактов вентиляционных систем;
- применение рабочими средств индивидуальной защиты (наушники, беруши и т. п.).

3.4 Мероприятия по радиационной безопасности

Радиационная защита осуществляется персоналом ОРБ. В состав этого отдела входят:

- группа технологического радиационного контроля;
- лаборатория индивидуального дозиметрического контроля;
- лаборатория спектрометрии и контроля герметичности оболочек;
- лаборатория внешнего радиационного контроля.

Задачей группы технологического радиационного контроля является оперативный контроль за радиационной обстановкой в помещениях и на территории станции, газо-аэрозольных выбросов и жидких сбросов.

Задачей лаборатории индивидуального дозиметрического контроля является контроль доз облучения, получаемых сотрудниками станции.

Задачей лаборатории спектрометрии и контроля герметичности оболочек является контроль радионуклидного состава выбросов в венттрубы, контроль активности теплоносителя первого контура, а также контроль герметичности оболочек ТВЭЛ.

Задачей лаборатории внешнего радиационного контроля является контроль за радиационной обстановкой на территории, окружающей станцию в пределах зоны наблюдения.

Объем и характер радиационной защиты определен проектом АЭС, а периодичность контроля устанавливается "Регламентом радиационного контроля Курской АЭС", согласованным с органами Госсаннадзора. Все возможные изменения проектных данных по характеру и объему радиационного контроля должны быть согласованы с органами Госсаннадзора.

Для получения оперативной информации о состоянии радиационной обстановки на КуАЭС и в пределах зоны наблюдения радиационный контроль делится на:

- радиационный технологический контроль;
- радиационный дозиметрический контроль;
- радиационный контроль помещений и промплощадки;
- радиационный контроль за нераспространением радиоактивных загрязнений;
- радиационный контроль окружающей среды.

Для осуществления надежной и эффективной радиационной защиты атомная станция оснащается комплексом радиометрической аппаратуры, включая стационарные, переносные, лабораторные приборы и приборы индивидуального контроля.

Территория, здания и помещения КуАЭС по радиационным параметрам разделены на две зоны:

- зону контролируемого доступа, где при нормальной эксплуатации энергоблоков возможно воздействие на персонал радиационных факторов;
- зону свободного доступа, где при нормальной эксплуатации энергоблоков практически исключается воздействие на персонал радиационных факторов.

- Помещения в зданиях и сооружениях, относящихся к зоне контролируемого доступа, разделяются на три категории:

- необслуживаемые помещения – помещения 1 категории - боксы, камеры, помещения, где размещены технологическое оборудование и коммуникации, являющиеся основными источниками излучения и радиоактивного загрязнения. Пребывание персонала в необслуживаемых помещениях при работающем технологическом оборудовании не допускается;

- периодически обслуживаемые – помещения 2 категории, предназначенные для ремонта оборудования, и других работ, связанных со вскрытием технологического оборудования, размещения узлов загрузки и выгрузки радиоактивных материалов, временного хранения радиоактивных отходов, в которых допускается ограниченное по времени пребывание персонала;

- помещения постоянного пребывания персонала - помещения 3 категории, где персонал может находиться в течение всей смены.

При организации производства работ в зоне контролируемого доступа в условиях повышенной радиационной опасности выполняются организационные мероприятия.

Организационными мероприятиями, обеспечивающими радиационную безопасность при производстве работ, являются:

- оформление работы дозиметрическим нарядом или распоряжением;
- допуск к работе;
- надзор во время работы;
- оформление перерывов в работе;
- оформление окончания работы.

По нарядам выполняются радиационно-опасные работы, требующие подготовки рабочего места и ограничения их продолжительности, при выполнении которых индивидуальные дозы могут превысить 0,2 мЗв.

По распоряжениям выполняются небольшие по объему работы, не требующие подготовки рабочего места (снятие показаний с приборов, осмотр

оборудования, производство переключения, выполнение измерений, отбор проб и т.д.) при выполнении которых индивидуальные дозы облучения не превышают 0,2 мЗв.

Объем и периодичность контроля доз облучения работников изложены в производственной инструкции "Контроль индивидуальных доз облучения персонала".

Данные всех видов индивидуального дозиметрического контроля фиксируются в картотеке учета индивидуальных доз.

Хранение данных об эффективных дозах внешнего и внутреннего облучения персонала АЭС осуществляется на надежных носителях информации, которые хранятся не менее 50 лет со дня увольнения работника. Копии данных по облучаемости работников, в случае их перехода в другие учреждения, в которых проводятся работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений, представляются по запросу на новое место работы. Оригиналы хранятся на прежнем месте работы.

Для повышения оперативности и достоверности учета и контроля индивидуальных дозовых нагрузок на Курской АЭС разработан и введен в эксплуатацию программный комплекс "Дозовый контроль" предназначен для сбора, хранения, контроля и визуального отображения индивидуальных дозовых нагрузок персонала.

На АЭС для индивидуального дозиметрического контроля персонала используются приборы типа RAD-51S, ДКС-04, КДТ-02М с дозиметрами ДТУ с детекторами типа ТЛД-500К.

3.5 Влияние оборудования и систем на ядерную безопасность

Влияние АЭС на ядерную безопасность оценивают по следующим видам воздействий: расход природных ресурсов (земельных площадей, воды, разного рода материалов и т.д.), химическое, тепловое, радиационное. Ни по одному из

этих видов воздействий АЭС не является уникальным объектом. Все они, в той или иной мере, присущи также и энергетике на органическом топливе (в том числе и радиоактивное загрязнение). Однако важнейшей особенностью АЭС является то, что в процессе выработки энергии образуется большое количество опасных искусственных радиоактивных веществ.

3.6 Противопожарные мероприятия на Курской АЭС

Система противопожарной защиты АЭС — это совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на борьбу с пожарами.

Обращение с источниками возгорания на Курской АЭС выполняется в соответствии с производственной инструкцией «Порядок организации и проведения пожароопасных работ на Курской АЭС».

Инструкция определяет основные организационные и технические мероприятия, обеспечивающие пожарную безопасность при проведении огневых и других пожароопасных работ на территории и в помещениях КуАЭС.

Обучение персонала АЭС мерам пожарной безопасности осуществляется в соответствии с ППБ-АС-2011 «Организация обучения безопасности труда», «Правилами организации работы с персоналом на атомных станциях концерна «Росэнергоатом» и «Типовой программой подготовки персонала атомных станций по пожарной безопасности».

Одной из форм подготовки персонала по пожарной безопасности являются противопожарные тренировки, проведение которых на Курской АЭС организовано в соответствии с «Правилами организации работы с персоналом...» и «Инструкцией по организации противопожарных тренировок персонала на атомных станциях концерна «Росэнергоатом».

На Курской АЭС составлен график проведения противопожарных тренировок. Он утвержден ГИС АЭС и согласован с руководством пожарной

части по охране АЭС. В графике указывается, в каком месяце, с какой сменой и какого вида должны проводиться тренировки.

Основным документом, устанавливающим порядок организации тушения пожара на Курской АЭС, взаимодействия персонала объекта и личного состава пожарных подразделений, прибывших на место пожара, а также применения средств тушения пожара с учетом необходимых мер безопасности является «План пожаротушения Курской АЭС».

Наряду с планом пожаротушения, рабочие места оперативного персонала укомплектованы карточками, определяющими действия по тушению пожара и обеспечению условий для безопасного функционирования АЭС при возникновении пожара на конкретном оборудовании.

Техническое обслуживание, ремонт и проверка работоспособности систем противопожарной защиты проводится в установленные сроки в соответствии годовым графиком ремонта и обслуживания систем автоматического пожаротушения и нормативной документацией.

С установленной графиками периодичностью, проводятся проверки работоспособности узлов и агрегатов установок, а также их комплексные проверки с участием представителей объектовой пожарной части. Результаты проверок оформляются актами. Определенные в ходе проводимых проверок значения параметров, характеризующих работоспособное состояние установок, подтверждают их соответствие проектной и нормативной документации.

Подразделения Курской АЭС укомплектованы индивидуальными средствами защиты в соответствии с требованиями нормативной документации.

При наличии радиационных факторов в месте очага и на пути следования персонала и подразделений пожарной охраны, привлеченных к тушению пожара.

НСОРБ, (а в его отсутствие, старший дозиметрист), встретив пожарные подразделения, проводит личному составу инструктаж по РБ, назначает разрешенное время работы, СИЗ и, при необходимости, организует выдачу индивидуальных дозиметров и индивидуальных средств защиты от радиации.

Дежурные дозиметристы в ходе тушения пожара контролируют имеющимися у них средствами радиационную обстановку, дозы индивидуального облучения персонала; определяют границы радиационно-опасной зоны; следят за порядком применения средств индивидуальной защиты; уточняют разрешенное время работы по месту; докладывают о значениях радиационных параметров вышестоящим сотрудникам ОРБ. Оперативно-служебная деятельность по пожарной охране Курской АЭС осуществляет пожарно-спасательная часть № 8 ФГКУ "1 Отряд противопожарной службы по Курской области, организованная в соответствии с договором и требованиями руководящих документов МВД РФ.

Пожарно-профилактическая работа 8ПЧ ведется в соответствии с требованиями «Наставления по организации деятельности объектовых подразделений ГПС МВД Российской Федерации». Профилактическая работа проводится круглосуточно инженерно-инспекторским составом и личным составом дежурных караулов ПЧ-8. Личный состав ПЧ-8 обеспечивает проверку состояния пожарной безопасности охраняемого объекта, контроль за своевременным выполнением предлагаемых мероприятий, техническим состоянием установок противопожарной защиты, контроль за соблюдением правил пожарной безопасности при проведении огневых и других пожароопасных работ, проведение вводных инструктажей и занятий по пожарно-техническому минимуму.

Подготовка и переподготовка персонала ПЧ-8 проводится в соответствии с руководящими документами по работе с личным составом подразделений ГПС Российской Федерации.

Правила вызова и структура подчинения в случае пожаров приведена в «Плане пожаротушения Курской АЭС».

Согласно «Расписанию выезда пожарных частей» УГПС Курской области, с момента получения сигнала о пожаре, в течение одного часа на АЭС вводятся, в случае необходимости, противопожарные части г.г. Курчатова, Курска, Льгова, п.п. Прямыцыно и К.Либкнехта.

Для отработки действия всего пожарного гарнизона области, задействованного по мероприятиям привлечения сил и средств в условиях крупного пожара на АЭС проводятся гарнизонные учения. Учения проводятся в соответствии с запланированными проверками гарнизона и станции областным управлением ГПС, по результатам учений составляется справка, в которой дается оценка проведенным учениям и действиям гарнизона.

По фактам реальных пожаров в подразделении заполняется карточка боевых действий караула (отделения) на пожаре в которой подробно разбирается ситуация, начиная с оперативно-тактической характеристики места боевой работы, обстановки на пожаре, особенностей тушения, взаимодействия с другими службами, неисправностями техники, имевшими место, до оценки действий караула (отделения) и выводов и предложений, направленных на устранение недостатков. Разбор пожара производится в течение 5 дней со всеми дежурными караулами пожарной части.

3.7 Экологический аспект

В разделе "Экологический аспект" рассмотрена природная деятельность АЭС его влияние на окружающую экологию, рассмотрены нормы выбросов в атмосферу и в водные ресурсы, размещение и утилизация вредных веществ.

Природная деятельность на АЭС связана с соблюдением требований экологической безопасности и обеспечивается за счёт контроля за эффективностью газоочистных и водоочистных сооружений, соблюдения установленных нормативов выбросов в атмосферу, сбросов сточных вод в водные объекты, образования и размещение опасных отходов, повышение экологической культуры персонала и проведения других организационно-технических мероприятий. Рациональное природопользование на АЭС достигается благодаря применению ресурсосберегающих технологий и снижению объёмов потребления природных ресурсов.

Для обеспечения экологической безопасности требуется достоверная, полная и своевременная информация о состоянии природных ресурсов, окружающей среды и уровне их загрязнения в районных расположениях АЭС. Производственный экологический мониторинг, выполняемый экологическими службами АЭС, позволяет получать, обрабатывать и анализировать информацию для оценки и экономически эффективных решений.

Доля АЭС в объёме загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу воздух всеми предприятиями России, составляет менее 0,009%. Объём выбросов загрязняющих веществ атомными станциями постоянно снижаются и составляют всего около 30% от установленного контролирующими предохранительными органами лимита.

Атомные станции являются крупными водопользователями. Забор воды производится в соответствии с утверждёнными в природоохранных органах лимита. Забранная вода используется в основном для охлаждения конденсаторов турбин. Контроль содержания загрязняющих веществ, поступающих в поверхностные водные объекты со сточными водами АЭС, проводится в соответствии с требованиями согласованных регламентов химического контроля сбросных вод АЭС и природных вод в зоне контролируемой АЭС, а также утверждённых норм предельно допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты.

Все опасные отходы (нерадиоактивные) размещаются на оборудованных площадках, в специальных помещениях (хранилищах), и их утилизация контролируется экологическими службами АЭС.

Отсутствие на российских АЭС инцидентов и аварий, сопровождающихся загрязнением и негативными изменениями окружающей среды, позволяет считать, что атомные станции являются экологически чистыми предприятиями высокого уровня безопасности, а их производственно-хозяйственная деятельность характеризуется как стабильная.

Заключение

Эволюционный путь совершенствования реакторных установок характеризуется существенным изменением основных параметров и характеристик реакторов: повышением средней энергонапряженности топлива от 19,5 до 45,5 кВт/кг U, электрической мощности от 210 до 1255 МВт, возрастанием давления теплоносителя в корпусе реактора от 10 до 15,7 МПа; увеличением скорости теплоносителя для охлаждения твэлов от 2 до 5 м/с. Выгорание топлива увеличено с 12 до 50 МВт сут/кг U (в перспективе среднее выгорание по ТВС будет увеличено до 70 МВт сут/кг U). Важным является создание высоконадежных корпусов реактора из материалов повышенной радиационной стойкости.

В результате планомерной работы ресурс оборудования и срок эксплуатации станций увеличен от 20 до 60 лет.

Список литературы

1. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-88/97. ПНАЭ Г-01-011-97. М., 2007. – [С. 20-21].
2. Самойлов О.Б. Безопасность ядерных энергетических установок: учебное пособие для вузов / Усынин Г. Б., сБахметьев А. М. – М., Энергоатом- издат, 2000. – 280 с.
3. Курская Атомная Станция / Центр подготовки персонала. Основное оборудование реакторного отделения: учеб. пособие / 2012. – 101 с.
4. Курская АЭС. Блок № 1. / Отчет по углубленной оценке безопасности: учеб. пособие / 2013. – 47 с.
5. Курская АЭС. Энергоблок № 2. / Техническое обеспечение безопасности сооружения и эксплуатации. Корректировка 2. Книга 2 / 2013. – 75 с.
6. Безопасность атомных станций: справочник. М., – Париж: EDF – Росэнергоатом, 2014. – [С. 98-100].
7. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций (ПБЯ РУ АС-89). ПНАЭ Г-1-024-90. М., 2001. – [С. 45-48].
8. Тепловыделяющая сборка ТВСА ВВЭР-1200: направления развития и результаты эксплуатации Кандалов В. Б., Преображенский Д. Г., Романов А. И., Самойлов О. Б., Фальков А. А., Шишкин А. А. – М., Энергоатомиздат, 2014. – 318 с.
9. ВВЭР – 1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / Аль Афров А. М., Андрушенко С. А., Украинцев В. Ф., Васильев Б. Ю., Косоуков К. Б., Семченков Ю. М., Кокосадзе Э. Л., Иванов Е. А.. – М., Университетская книга, Логос, 2006. – 488 с.

10. Таблетка ядерного топлива с покрытием (ее варианты), способ нанесения покрытия и установка для осуществления способа: патент Рос. Федерация № 2131626, заявл. 20.04.2017, опубл. 13.03.2006, Бюл. № 3 – 4 с.

11. Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций. 3-е изд. – М., 2002. [С. 11-12].

12. Свойства материалов оболочки и топливных таблеток реактора ВВЭР-1200, отчет ВНИИНМ. 312-0-001. М., ГКАЭю 1983 (инв. № 211351 ОКБ «Гидропресс»).

13. Национальная Академия наук Беларуси Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований [Электронный ресурс] / Url: http://sosny.bas-net.by/wp-content/uploads/2012/09/bul_2012_1.pdf – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения: 23.04.2017 г.

14. Острейкин В. А. Эксплуатация атомных станций: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 928 с.

15. Конышин В. А. Ядерно-физические константы делящихся ядер: Справочник. – М., Энергоатомиздат, 2003. с. 457.

16. Научные статьи и журналы [Электронный ресурс] URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-inzhektionsii-i-zahvata-elektronov-puchka-v-malogabaritnyh-betatronah-metodom-makrochastits> – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения: 25.04.2017 г.

17. . Нейтронно-физический и теплогидравлический расчет реактора на тепловых нейтронах: Учебное пособие / Бойко В. И., Кошелев Ф. П., Шаманин И. В., Колпаков Г. Н – Томск: Томский политехнический университет, 2015. – 192 с.

18. Электронная библиотека диссертаций [Электронный ресурс] / URL: <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-magnitnoi-sistemy-tsilindricheskogo-betatrona-i-eksperimentalnaya-proverka-ego-ra#ixzz4AvLСa9Hn> – макрочастицы – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения:

02.05.2017 г.

19. Колпаков Г. Н. Конструкции твэлов, каналов и активных зон энергетических реакторов: учебное пособие / Селиваникова О. В. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 118 с.

20. Основы теории и методы расчета ядерных энергетических реакторов: учебное пособие для вузов / Бартоломей Г. Г., Бать Г. А., Байбаков В. Д., Алхутов М. С – М., Энергоатомиздат, 2000. – 512 с.

21. Групповые константы для расчёта ядерных реакторов / Абагян Л. П., Базазянц Н. О., Бондаренко И. И., Николаев М. Н. – М., Атомиздат, 2000. – 137 с.

22. Учебные курсы по работе с технологическим оборудованием [Электронный ресурс] / URL: http://www.eurointech.ru/cst_makrochastits – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения: 04.05.2017 г.

23. Сааду Д. Использование выгорающих поглотителей в реакторах типа ВВЭР – М., Атомиздат, 2012. – 137 с.

24. Альдавахра С. Методика расчета и анализ применения гранулированных поглотителей в ВВЭР / Савандер В. И., Белоусов Н. И. – Атомная энергия. – 2006. [С. 8-12].

25. Широков С. В. Глубина выгорания ядерного топлива ВВЭР с различными выгорающими поглотителями /. Заец В. В – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина, 2013. – 254 с.

26. Конотоп Ю. Современное состояние проблемы поглощающих нейтроны материалов и изделий на их основе для реакторов типа ВВЭР-1200: Аналитический обзор / Ф., Одейчук Н. П., Красноруцкий В. С. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 2000. – С. 68-78.

27. WIMSD-IAEA Library [Электронный ресурс] / Url: <http://nucleus.iaea.org/CIR/CIR/WIMSDLibrary.pdf> – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения: 06.05.2017 г.

28. Наймушин А. Г. Методические указания к лабораторно практической работе / Ю. Б. Чертков. – Томск.: НИ ТПУ, 2011. – 77 с.
29. Юркевич Г. П. Системы управления энергетическими установками / под ред. академика РАН Хлопкина Н. С. – М., Изд-во ЭЛЕКС-КМ, 2001. - 344 с.
30. Кипин Дж. Р. Физические основы кинетики ядерных реакторов. – М., Атомиздат, 2007. – 358 с.
31. Кузьмина Е. А. Методы поиска новых идей и решений / Кузьмин А.М. – «Методы менеджмента качества» № 1 2003 г.
32. Сущность методики FAST в области ФСА [Электронный ресурс] / URL: <http://humeur.ru/page/sushhnost-metodiki-fast-v-oblasti-fsa>. – свободный. – Загл. с экрана. – Яз рус., англ. Дата обращения: 18.05.2017 г.
33. Основы функционально-стоимостного анализа: Учебное пособие / Под ред. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. – М.: Энергия, 2000. – 175 с.
34. Кузьмина Е.А. Функционально-стоимостный анализ. Экскурс в историю / Кузьмин А.М. – «Методы менеджмента качества» № 7 2002 г.
35. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2006. –399 с.
36. Кукин П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. Пособие / П.П. Кукин, В.Л. Лапин – М., Высшая школа, 2000. – 318с.
37. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 № 181 – ФЗ // Российская газ. – 2000. – 24.07. – [С. 4]
38. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы» [Текст]. – Взамен СанПиН 2.2.2.542-96; введ. 2003-06-30. – М: Российская газета, 2003. – 3 с.
39. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность [Текст]. – Введ. 1983-01-07. – М.: Издательство стандартов, 2000. – 2 с.

