Министерство образования Украины

Севастопольский институт ядерной энергии и промышленности

Электротехнический факультет

Кафедра эксплуатации электрических станций

#### КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

По дисциплине:

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ПОДСТАНЦИИ

###### Разработал: Бойко В.П.

Проверил: Сиротенко Б.Г.

2002

# Cодержание

Cодержание

1. Выбор схемы выдачи мощности электростанции типа АЭС

1.1 Исходные данные задания:

1.2 Распределение генераторов между РУ ВН и РУ СН

1.3 Выбор генераторов и блочных трансформаторов

1.4 Выбор АТ

1.5 Определение потерь в трансформаторах блоков и АТ

1.6 Выбор проводников для ЛЭП на РУ-330 кВ и РУ-750 кВ

1.7 Кол-во соединений на РУ-330 кВ и РУ-750 кВ

1.8 Выбор вариантов схем РУ всех напряжений

1.9 Технико-экономический анализ вариантов схем

1.9.1 Определение потерь электроэнергии от потоков отказов элементов схем РУ СН

1.9.2 Технико-экономическое сопоставление вариантов рассматриваемых схем

2. Проектирование электроснабжения собственных нужд блока АЭС

2.1 Схемы электроснабжения потребителей собственных нужд

2.1.1 Принципы построения схемы

2.1.2 Классификация потребителей по надежности питания

2.1.3 Сети и питающие напряжения

2.1.4 Источники питания

2.1.5 Присоединение трансформаторов собственных нужд

2.1.6 Питание потребителей III группы секций нормальной эксплуатации

2.1.7 Питание потребителей II группы надежности общеблочных секций

2.1.8 Питание потребителей I группы надежного питания 0,4 кВ

2.1.9 Схема постоянного тока

2.2 Выбор трансформаторов собственных нужд

2.2.1 Общие положения

2.2.2 Выбор трансформаторов 6/0.4

2.2.3 Выбор трансформаторов 24/6,3-6,3 кВ

2.2.4 Выбор резервных трансформаторов собственных нужд 330/6,3-6,3 кВ

2.3 Расчет самозапуска электродвигателей собственных нужд на 6 кВ блока

2.3.1 Основные положения

2.3.2 Расчетные и допустимые условия режима самозапуска

2.3.3. Расчет начального напряжения режима самозапуска

2.4 Расчет токов КЗ на шинах собственных нужд

2.4.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 6 кВ

2.4.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ

2.5 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей РУ собственных нужд

2.5.1 Элементы КРУ 6 кВ

2.5.2 Расчётные условия для выбора проводников и аппаратов по продолжительным режимам работы

2.5.3 Выбор КРУ-6 кВ

2.5.4 Выбор выключателей КРУ-6 кВ

2.5.5 Выбор измерительных трансформаторов

2.5.6 Выбор токоведущих частей в цепи трансформатора ТРДНС-63000/35

2.5.7 Выбор кабелей 6 кВ

2.5.8 Выбор элементов КРУ 0,4 кВ

3. Определение мощности дизель-генераторов систем надежного питания

3.1 Определение мощности дизель-генераторов систем надежного питания

3.2 Особенности определения мощности дизель генераторов систем надежного питания блоков с ВВЭР-1000

4. Расчет токов короткого замыкания и выбор высоковольтного оборудования и токоведущих частей главной схемы

4.1 Расчет токов короткого замыкания

4.2 Выбор высоковольтного оборудования и токоведущих частей главной схемы

4.2.1 Выбор выключателей и разъединителей 750 кВ

4.2.2 Выбор выключателей и разъединителей 330 кВ

4.2.3 Выбор выключателя нагрузки

4.2.4 Выбор токопровода генератор-трансформатор (24 кВ)

4.2.5 Выбор трансформатора напряжения (750 кВ)

4.2.6 Выбор трансформатора напряжения (330кв)

4.2.7 Выбор трансформатора тока (750 Кв)

4.2.8 Выбор трансформатора тока (330кВ)

4.2.9 Выбор сталеалюминевых гибких сборных шин ОРУ-750 кВ

4.2.10 Выбор сталеалюминевых гибких шин для ячеек ОРУ-750 кВ

4.2.11 Выбор сталеалюминевых гибких сборных шин ОРУ-330 кВ

4.2.12 Выбор сталеалюминевых гибких шин для ячеек ОРУ-330 кВ

#

# 1. Выбор схемы выдачи мощности электростанции типа АЭС

##

## 1.1 Исходные данные задания:

Выполнить проект изменения электрической части Запорожской АЭС.

исходные данные задания сведены в таблицу №1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Тип электростанции и число установленных на ней генераторов | Данные РУ высшего напряжения | Данные РУ среднего напряжения |
| напряжение, кВ | мощность к.з. от системы, МВА | Напряжение, кВ | нагрузка, МВт | мощность к.з. от системы, МВА |
| АЭС 7×1000 МВт | 750 | 14000 | 330 | 3800/3200 | 12000 |

Количество ЛЭП на напряжение 750 кВ − 4, длиной 300 км.

Количество ЛЭП на напряжение 330 кВ − 5, длиной 30 км.

Время использования максимальной нагрузки Тнагр.мах=6000 часов.

Время использования установленной мощности генераторов Тг.уст.=7200 часов.

Максимальная активная мощность, отдаваемая в энергосистему − 7000 МВт.

##

## 1.2 Распределение генераторов между РУ ВН и РУ СН

Схема выдачи мощности определяет распределение генераторов между РУ разных напряжений, трансформаторную и автотрансформаторную связь между РУ, способ соединения генераторов с блочными: трансформаторами, точки подключения пускорезервных и резервных трансформаторов собственных нужд.

Обычно к РУ среднего напряжения (СН) подключается столько генераторов, сколько необходимо, чтобы покрыть нагрузку в максимальном режиме. Остальные подключаются к РУ высшего напряжения (ВН), т.е.:

nг-сн = Рнг max / Рг = 3800/1000 ≈ 4

где:Рнг max - максимальная нагрузка РУ СН;

Рг - мощность одного генератора;

nг-сн - число генераторов, подключенных к РУ СН.

##

## 1.3 Выбор генераторов и блочных трансформаторов

Согласно задания выбираем генераторы проектируемой станции (выбираются по активной мощности):

Выбираем по (Л.3) генератор ТВВ-1000-4

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Генератор | Ном. частота вращения, об/мин | Номинальная мощность | Ном. напряжение, кВ | Cos ϕном. | Ном. ток, кА | х” | Та |
| S, МВА | Р, МВт |
| ТВВ-1000-4 | 1500 | 1111 | 1000 | 24 | 0,9 | 26,73 | 0,324 | 0,25 |

Согласно задания выбираем по (Л.3) блочные трансформаторы:

Sбл. расч. = 1,05 Sг = 1,05 × 1111 = 1166,55 МВА

По литературе (3) выбираем ОРЦ-417000/750 и ТЦ-1250000/330

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип трансформатора | Sн,МВА | Рхх, кВт | Рк, кВт | НН, кВ | uкВН-НН, % | uкСН-НН, % | Iхх |
| ОРЦ 417000/750 | 3 × 417 | 3 × 320 | 3 × 800 | 24 | 14 | 45 | 0,35 |
| ТЦ 1250000/330 | 1250 | 500 | 2800 | 24 | 14,5 | — | 0,55 |

##

## 1.4 Выбор АТ

Исходные данные для расчета приведены в таблице №1.

Полная мощность генератора Sг равна:

Sг = Рг / cosϕ = 1000 / 0,9 = 1111 МВА

Так как нагрузка собственных нужд (с.н.) Sсн не задана, то задаем ее сами из расчета 4-6% от мощности генератора:

Sсн = Sг × 5% / 100% = 1111 × 5% / 100% = 55,55 МВА

Максимальная полная мощность РУ СН:

Sн max = Р Снmax / cosϕ = 3800 / 0,85 = 4470,59 МВА

Минимальная полная мощность РУ СН:

Sнг min = Р Сн min / cosϕ = 3200 / 0,85 = 3764,7 МВА

Рассмотрим два варианта схем:

Рис.1 3 блока на СН и 4 блока на ВН

Рассматриваем 1-й вариант: 3 блока на СН и 4 блока на ВН.

SП min = ΣSГсн - Sнг min - Sсн = 3333 - 3764,7 - 166,65 = -598,35 МВА

SП max = Sн max - ΣSГсн + Sсн = 4470,59 - 3333 + 166,65 = 1304,24 МВА

Sпа = Sн max - (ΣSГсн - Sг1)+ Sсн = 4470,59 - (3333 - 1111)+ 166,65 = 2415,24

МВА

где:

Sсн— мощность собственных нужд;

Sг1— мощность одного генератора;

SП min— минимальная мощность перетоков РУ СН → РУ ВН;

SП max— максимальная мощность перетоков РУ СН → РУ ВН;

Sпа— мощность перетоков РУ СН → РУ ВН при отключении одного блока;

ΣSГсн— суммарная мощность генераторов на СН;

Sнг min— минимальная мощность нагрузки на генераторы СН;

Sн max— максимальная мощность нагрузки на генераторы СН.

Рассматриваем 2-й вариант: 4 блока на СН и 3 блока на ВН.

SП min = ΣSГсн - Sнг min - Sсн = 4444 - 3764,7 – 222,2 = 457,1 МВА

SП max = Sн max - ΣSГсн + Sсн = 4470,59 - 4444 + 222,2 = 248,79 МВА

Sпа = Sн max - (ΣSГсн - Sг1)+ Sсн = 4470,59 - (4444 - 1111)+ 222,2 = 1359,79

МВА

Рис.1 4 блока на СН и 3 блока на ВН

Выбираем 2-й вариант: 4 блока на СН и 3 блока на ВН, т.к. согласно расчета во втором варианте максимальные мощности перетоков РУ СН ↔ РУ ВН в аварийном режиме (отключение одного блока) оказались ниже почти вдвое по значению по отношению к первому варианту, что обуславливает выбор АТ из Л.3.

Рассчитываем мощность АТ:

SаТ расч. = 1359,79 МВА

По литературе (3) выбираем 1 группу однофазных АТ: АОДЦТН-417000/750/330

Sн = 3 × 417 МВА;ВН = 750/ кВ;СН = 330/ кВ

##

## 1.5 Определение потерь в трансформаторах блоков и АТ

Определяем потери в автотрансформаторе.

Величина потерь в трехфазной группе однофазных двухобмоточных трансформаторов определяется по формуле:



МВт⋅ч/год

где:

n — число параллельно работающих трансформаторов;

Sn — номинальная мощность трансформатора;

Snmax — максимальная нагрузка трансформатора по графику;

Рхх, Ркз — потери мощности одного трансформатора мощностью Sn;

ТГ — число часов использования мощности (7200 часов);

τmax — время наибольших потерь (1% от ТГ).

Определяем потери в трансформаторах блока:

Величина потерь в трехфазном двухобмоточном трансформаторе определяется по формуле:

на напряжение 330 кВ:



МВт⋅ч/год

на напряжение 750 кВ:



МВт⋅ч/год

##

## 1.6 Выбор проводников для ЛЭП на РУ-330 кВ и РУ-750 кВ

Выбор проводников для ЛЭП на РУ-330 кВ:



где: n – количество линий.

По Л.3 выбираем сталеалюминевый проводник АС 400/51

Iдоп. = 835 А.

Выбор проводников для ЛЭП на РУ-750 кВ:



где: n – количество линий.

По Л.3 выбираем сталеалюминевый проводник АС 400/51

Iдоп. = 835 А.

## 1.7 Кол-во соединений на РУ-330 кВ и РУ-750 кВ

В виду того, что группы РТСН питаются от ОРУ-330 и 150 кВ Запорожской ТЭС, находящейся в 2-х км от АЭС, то на РУ-330 кВ и РУ-750 кВ АЭС мы их не учитываем.

Кол-во соединений на **РУ 750 кВ**:

n = nЛЭП + nг + nпртсн + nсекц. + nат = 4 + 3 + 0 + 0 + 1 = 8

Кол-во соединений на **РУ 330 кВ**:

n = nЛЭП + nг + nпртсн + nсекц. + nат = 5 + 4 + 0 + 0 + 1 = 10

##

## 1.8 Выбор вариантов схем РУ всех напряжений

Схемы распределительных устройств (РУ) повышенных напряжений электрических станций выбираются по номинальному напряжению, числу присоединений, назначению и ответственности РУ в энергосистеме, а также с учетом схемы прилегающей сети, очередности и перспективы расширения.

Схемы РУ напряжением 35 - 750 кВ должны выполнятся с учетом требований и норм технологического проектирования.

При наличии нескольких вариантов схем удовлетворяющих перечисленным выше требованиям предпочтение отдается:

* более простому и экономичному варианту;
* варианту, по которому требуется наименьшее количество операций с выключателями а разъединителями РУ повышенного напряжения при режимных переключениях вывода в ремонт отдельных цепей и при отключении поврежденных участков в аварийных режимах.

Рассмотрим основные виды схем, применяемые в схемах РУ330/750 кВ.

Схема №1. Схема с двумя системами шин и тремя выключателями на две цепи (3/2).

Схема с двумя системами шин и тремя выключателями на две цепи (сх.1). В распределительных устройствах 330 - 750 кВ применяется схема с двумя системами шин и тремя выключателями на две цепи. Каждое присоединение включено через два выключателя В нормальном режиме все выключатели включены, обе системы шин находятся под напряжением Для ревизии любого выключателя отключают его и разъединители, установленные по обе стороны выключателя Количество операций для вывода в ревизию - минимальное, разъединители служат только для отделения выключателя при ремонте, никаких оперативных переключении ими не производят Достоинства рассматриваемой схемы:

* при ревизии любого выключателя все присоединения остаются в работе;
* высокая надежность схемы;
* опробование выключателей производится без операций с разъединителями. Ремонт шин, очистка изоляторов, ревизия шинных разъединителей производятся без нарушения работы цепей;
* количество необходимых операций разъединителями в течении года для вывода в ревизию поочередно всех выключателей, разъединителей и сборных шин значительно меньше, чем в схеме с двумя рабочими и обходной системами шин.

Недостатки рассматриваемой схемы:

* отключение КЗ на линии двумя выключателями, что увеличивает общее количество ревизий выключателей;
* удорожание конструкции РУ при нечетном числе присоединений, так как одна цепь должна присоединяться через два выключателя;
* снижение надежности схемы, если количество линий не соответствует числу трансформаторов. В данном случае к одной цепочке из трех выключателей присоединяются два одноименных элемента, поэтому возможно аварийное отключение одновременно двух линий;
* усложнение релейной защиты;
* увеличение количества выключателей в схеме.

Схема №2. Схема с двумя системами шин и четырьмя выключателями на три цепи.

Схема с двумя системами шин и с четырьмя выключателями на три присоединения (сх.2). Наилучшие показатели схема имеет, если число линий в 2 раза меньше или больше числа трансформаторов.

Достоинства схемы:

* схема 4/3 выключателя на присоединение имеет все достоинства присущие полуторной схеме;
* схема более экономична по сравнению с полуторной схемой (1,33 выключателя на присоединение вместо 1,5);
* секционирование сборных шин требуется только при 15 присоединениях и более;
* надежность схемы практически не снижается, если к одной цепочке будут присоединены две линии и один трансформатор вместо двух трансформаторов и одной линии;
* конструкция ОРУ по рассмотренной схеме достаточно экономична и удобна в обслуживании.

##

## 1.9 Технико-экономический анализ вариантов схем

###

### 1.9.1 Определение потерь электроэнергии от потоков отказов элементов схем РУ СН

Расчет производим с помощью компьютерной программы, разработанной выпускником УИПА 2000 года Путилиным А.М.

Расчет показателей надежности главной схемы РУ СН (3/2)

Тип станции - АЭС; Uном, кВ – 330; Топ, ч - 2,0

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Оборудование | Параметр потока отказов , 1/год | Время восст. после отказа Тв, ч. | Время на пл. ремонт Тр, ч/год |
| Выключатели | 0,2500 | 75 | 271 |
| Система шин | 0,0130 | 5 | 3 |

Получены результаты для выключателей и систем шин:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Отказ | В период ремонта | W, 1/год | ОП/Тв | ОВ | Wнед, МВт ч |
| B1 |  | 0,13000 | l1/0,5 | B2 B4 B7 B10 B13 | 52,9 |
| B2 |  | 0,13000 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 2116,4 |
| B3 |  | 0,13000 | b1/16 | B2 B6 B9 B12 B15 | 2116,4 |
| B4 |  | 0,13000 | b2/16 | B5 B1 B7 B10 B13 | 2116,4 |
| B5 |  | 0,13000 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 2116,4 |
| B6 |  | 0,13000 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B12 B15 | 52,9 |
| B7 |  | 0,13000 | l3/0,5 | B8 B1 B4 B10 B13 | 52,9 |
| B8 |  | 0,13000 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 2116,4 |
| B9 |  | 0,13000 | b3/16 | B8 B3 B6 B12 B15 | 2116,4 |
| B10 |  | 0,13000 | b4/16 | B11 B1 B4 B7 B13 | 2116,4 |
| B11 |  | 0,13000 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 2116,4 |
| B12 |  | 0,13000 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B9 B15 | 52,9 |
| B13 |  | 0,13000 | l5/0,5 | B14 B1 B4 B7 B10 | 52,9 |
| B14 |  | 0,13000 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 52,9 |
| B15 |  | 0,13000 | (a1) | B14 B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ |  | 0,03500 |  | B1 B4 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ |  | 0,03500 |  | B3 B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| B1 | B2 | 0,00770 | l1/75 | B4 B7 B10 B13 | 464,0 |
| B1 | B3 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B2 B4 B7 B10 B13 | 123,7 |
| B1 | B4 | 0,00770 | l1/0,5 | B2 B7 B10 B13 | 3,1 |
| B1 | B5 | 0,00770 | (l1) b2/25 | B2 B4 B7 B10 B13 | 193,4 |
| B1 | B6 | 0,00770 | l1/0,5 | B2 B4 B7 B10 B13 | 3,1 |
| B1 | B7 | 0,00770 | l1/0,5 | B2 B4 B10 B13 | 3,1 |
| B1 | B8 | 0,00770 | l1/0,5 l3/25 | B2 B4 B7 B10 B13 | 157,8 |
| B1 | B9 | 0,00770 | l1/0,5 | B2 B4 B7 B10 B13 | 3,1 |
| B1 | B10 | 0,00770 | l1/0,5 | B2 B4 B7 B13 | 3,1 |
| B1 | B11 | 0,00770 | (l1) b4/25 | B2 B4 B7 B10 B13 | 193,4 |
| B1 | B12 | 0,00770 | l1/0,5 | B2 B4 B7 B10 B13 | 3,1 |
| B1 | B13 | 0,00770 | l1/0,5 | B2 B4 B7 B10 | 3,1 |
| B1 | B14 | 0,00770 | l1/0,5 l5/25 | B2 B4 B7 B10 B13 | 157,8 |
| B1 | B15 | 0,00770 | l1/0,5 | B2 B4 B7 B10 B13 | 3,1 |
| B2 | B1 | 0,00770 | b1/16 l1/59 | B3 | 488,8 |
| B2 | B3 | 0,00770 | (l1) b1/75 | B1 | 580,1 |
| B2 | B4 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B5 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B6 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B7 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B8 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B9 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B10 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B11 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B12 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B13 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B14 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B2 | B15 | 0,00770 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 123,7 |
| B3 | B1 | 0,00770 | b1/16 | B2 B6 B9 B12 B15 | 123,7 |
| B3 | B2 | 0,00770 | b1/75 | B6 B9 B12 B15 | 580,1 |
| B3 | B4 | 0,00770 | b1/16 | B2 B6 B9 B12 B15 | 123,7 |
| B3 | B5 | 0,00770 | b1/16 l2/9 | B2 B6 B9 B12 B15 | 179,4 |
| B3 | B6 | 0,00770 | b1/16 | B2 B9 B12 B15 | 123,7 |
| B3 | B7 | 0,00770 | b1/16 | B2 B6 B9 B12 B15 | 123,7 |
| B3 | B8 | 0,00770 | b1/16 b3/25 | B2 B6 B9 B12 B15 | 317,1 |
| B3 | B9 | 0,00770 | b1/16 | B2 B6 B12 B15 | 123,7 |
| B3 | B10 | 0,00770 | b1/16 | B2 B6 B9 B12 B15 | 123,7 |
| B3 | B11 | 0,00770 | b1/16 l4/9 | B2 B6 B9 B12 B15 | 179,4 |
| B3 | B12 | 0,00770 | b1/16 | B2 B6 B9 B15 | 123,7 |
| B3 | B13 | 0,00770 | b1/16 | B2 B6 B9 B12 B15 | 123,7 |
| B3 | B14 | 0,00770 | b1/16 (a1) | B2 B6 B9 B12 B15 | 123,7 |
| B3 | B15 | 0,00770 | b1/16 | B2 B6 B9 B12 | 123,7 |
| B4 | B1 | 0,00770 | b2/16 | B5 B7 B10 B13 | 123,7 |
| B4 | B2 | 0,00770 | b2/16 l1/9 | B5 B1 B7 B10 B13 | 179,4 |
| B4 | B3 | 0,00770 | b2/16 | B5 B1 B7 B10 B13 | 123,7 |
| B4 | B5 | 0,00770 | b2/75 | B1 B7 B10 B13 | 580,1 |
| B4 | B6 | 0,00770 | b2/16 (l2) | B5 B1 B7 B10 B13 | 123,7 |
| B4 | B7 | 0,00770 | b2/16 | B5 B1 B10 B13 | 123,7 |
| B4 | B8 | 0,00770 | b2/16 l3/9 | B5 B1 B7 B10 B13 | 179,4 |
| B4 | B9 | 0,00770 | b2/16 | B5 B1 B7 B10 B13 | 123,7 |
| B4 | B10 | 0,00770 | b2/16 | B5 B1 B7 B13 | 123,7 |
| B4 | B11 | 0,00770 | b2/16 b4/25 | B5 B1 B7 B10 B13 | 317,1 |
| B4 | B12 | 0,00770 | b2/16 | B5 B1 B7 B10 B13 | 123,7 |
| B4 | B13 | 0,00770 | b2/16 | B5 B1 B7 B10 | 123,7 |
| B4 | B14 | 0,00770 | b2/16 l5/9 | B5 B1 B7 B10 B13 | 179,4 |
| B4 | B15 | 0,00770 | b2/16 | B5 B1 B7 B10 B13 | 123,7 |
| B5 | B1 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B2 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B3 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B4 | 0,00770 | (l2) b2/75 | B6 | 580,1 |
| B5 | B6 | 0,00770 | b2/16 l2/59 | B4 | 488,8 |
| B5 | B7 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B8 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B9 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B10 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B11 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B12 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B13 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B14 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B5 | B15 | 0,00770 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 123,7 |
| B6 | B1 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B12 B15 | 3,1 |
| B6 | B2 | 0,00770 | (l2) b1/25 | B5 B3 B9 B12 B15 | 193,4 |
| B6 | B3 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B9 B12 B15 | 3,1 |
| B6 | B4 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B12 B15 | 3,1 |
| B6 | B5 | 0,00770 | l2/75 | B3 B9 B12 B15 | 464,0 |
| B6 | B7 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B12 B15 | 3,1 |
| B6 | B8 | 0,00770 | (l2) b3/25 | B5 B3 B9 B12 B15 | 193,4 |
| B6 | B9 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B3 B12 B15 | 3,1 |
| B6 | B10 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B12 B15 | 3,1 |
| B6 | B11 | 0,00770 | l2/0,5 l4/25 | B5 B3 B9 B12 B15 | 157,8 |
| B6 | B12 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B15 | 3,1 |
| B6 | B13 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B12 B15 | 3,1 |
| B6 | B14 | 0,00770 | l2/0,5 a1/0,5 | B5 B3 B9 B12 B15 | 3,1 |
| B6 | B15 | 0,00770 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B12 | 3,1 |
| B7 | B1 | 0,00770 | l3/0,5 | B8 B4 B10 B13 | 3,1 |
| B7 | B2 | 0,00770 | l3/0,5 l1/25 | B8 B1 B4 B10 B13 | 157,8 |
| B7 | B3 | 0,00770 | l3/0,5 | B8 B1 B4 B10 B13 | 3,1 |
| B7 | B4 | 0,00770 | l3/0,5 | B8 B1 B10 B13 | 3,1 |
| B7 | B5 | 0,00770 | (l3) b2/25 | B8 B1 B4 B10 B13 | 193,4 |
| B7 | B6 | 0,00770 | l3/0,5 | B8 B1 B4 B10 B13 | 3,1 |
| B7 | B8 | 0,00770 | l3/75 | B1 B4 B10 B13 | 464,0 |
| B7 | B9 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B8 B1 B4 B10 B13 | 123,7 |
| B7 | B10 | 0,00770 | l3/0,5 | B8 B1 B4 B13 | 3,1 |
| B7 | B11 | 0,00770 | (l3) b4/25 | B8 B1 B4 B10 B13 | 193,4 |
| B7 | B12 | 0,00770 | l3/0,5 | B8 B1 B4 B10 B13 | 3,1 |
| B7 | B13 | 0,00770 | l3/0,5 | B8 B1 B4 B10 | 3,1 |
| B7 | B14 | 0,00770 | l3/0,5 l5/25 | B8 B1 B4 B10 B13 | 157,8 |
| B7 | B15 | 0,00770 | l3/0,5 | B8 B1 B4 B10 B13 | 3,1 |
| B8 | B1 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B2 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B3 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B4 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B5 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B6 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B7 | 0,00770 | b3/16 l3/59 | B9 | 488,8 |
| B8 | B9 | 0,00770 | (l3) b3/75 | B7 | 580,1 |
| B8 | B10 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B11 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B12 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B13 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B14 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B8 | B15 | 0,00770 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 123,7 |
| B9 | B1 | 0,00770 | b3/16 | B8 B3 B6 B12 B15 | 123,7 |
| B9 | B2 | 0,00770 | b3/16 b1/25 | B8 B3 B6 B12 B15 | 317,1 |
| B9 | B3 | 0,00770 | b3/16 | B8 B6 B12 B15 | 123,7 |
| B9 | B4 | 0,00770 | b3/16 | B8 B3 B6 B12 B15 | 123,7 |
| B9 | B5 | 0,00770 | b3/16 l2/9 | B8 B3 B6 B12 B15 | 179,4 |
| B9 | B6 | 0,00770 | b3/16 | B8 B3 B12 B15 | 123,7 |
| B9 | B7 | 0,00770 | b3/16 | B8 B3 B6 B12 B15 | 123,7 |
| B9 | B8 | 0,00770 | b3/75 | B3 B6 B12 B15 | 580,1 |
| B9 | B10 | 0,00770 | b3/16 | B8 B3 B6 B12 B15 | 123,7 |
| B9 | B11 | 0,00770 | b3/16 l4/9 | B8 B3 B6 B12 B15 | 179,4 |
| B9 | B12 | 0,00770 | b3/16 | B8 B3 B6 B15 | 123,7 |
| B9 | B13 | 0,00770 | b3/16 | B8 B3 B6 B12 B15 | 123,7 |
| B9 | B14 | 0,00770 | b3/16 (a1) | B8 B3 B6 B12 B15 | 123,7 |
| B9 | B15 | 0,00770 | b3/16 | B8 B3 B6 B12 | 123,7 |
| B10 | B1 | 0,00770 | b4/16 | B11 B4 B7 B13 | 123,7 |
| B10 | B2 | 0,00770 | b4/16 l1/9 | B11 B1 B4 B7 B13 | 179,4 |
| B10 | B3 | 0,00770 | b4/16 | B11 B1 B4 B7 B13 | 123,7 |
| B10 | B4 | 0,00770 | b4/16 | B11 B1 B7 B13 | 123,7 |
| B10 | B5 | 0,00770 | b4/16 b2/25 | B11 B1 B4 B7 B13 | 317,1 |
| B10 | B6 | 0,00770 | b4/16 | B11 B1 B4 B7 B13 | 123,7 |
| B10 | B7 | 0,00770 | b4/16 | B11 B1 B4 B13 | 123,7 |
| B10 | B8 | 0,00770 | b4/16 l3/9 | B11 B1 B4 B7 B13 | 179,4 |
| B10 | B9 | 0,00770 | b4/16 | B11 B1 B4 B7 B13 | 123,7 |
| B10 | B11 | 0,00770 | b4/75 | B1 B4 B7 B13 | 580,1 |
| B10 | B12 | 0,00770 | b4/16 (l4) | B11 B1 B4 B7 B13 | 123,7 |
| B10 | B13 | 0,00770 | b4/16 | B11 B1 B4 B7 | 123,7 |
| B10 | B14 | 0,00770 | b4/16 l5/9 | B11 B1 B4 B7 B13 | 179,4 |
| B10 | B15 | 0,00770 | b4/16 | B11 B1 B4 B7 B13 | 123,7 |
| B11 | B1 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B2 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B3 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B4 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B5 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B6 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B7 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B8 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B9 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B10 | 0,00770 | (l4) b4/75 | B12 | 580,1 |
| B11 | B12 | 0,00770 | b4/16 l4/59 | B10 | 488,8 |
| B11 | B13 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B14 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B11 | B15 | 0,00770 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 123,7 |
| B12 | B1 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B9 B15 | 3,1 |
| B12 | B2 | 0,00770 | (l4) b1/25 | B11 B3 B6 B9 B15 | 193,4 |
| B12 | B3 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B6 B9 B15 | 3,1 |
| B12 | B4 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B9 B15 | 3,1 |
| B12 | B5 | 0,00770 | l4/0,5 l2/25 | B11 B3 B6 B9 B15 | 157,8 |
| B12 | B6 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B3 B9 B15 | 3,1 |
| B12 | B7 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B9 B15 | 3,1 |
| B12 | B8 | 0,00770 | (l4) b3/25 | B11 B3 B6 B9 B15 | 193,4 |
| B12 | B9 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B15 | 3,1 |
| B12 | B10 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B9 B15 | 3,1 |
| B12 | B11 | 0,00770 | l4/75 | B3 B6 B9 B15 | 464,0 |
| B12 | B13 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B9 B15 | 3,1 |
| B12 | B14 | 0,00770 | l4/0,5 a1/0,5 | B11 B3 B6 B9 B15 | 3,1 |
| B12 | B15 | 0,00770 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B9 | 3,1 |
| B13 | B1 | 0,00770 | l5/0,5 | B14 B4 B7 B10 | 3,1 |
| B13 | B2 | 0,00770 | l5/0,5 l1/25 | B14 B1 B4 B7 B10 | 157,8 |
| B13 | B3 | 0,00770 | l5/0,5 | B14 B1 B4 B7 B10 | 3,1 |
| B13 | B4 | 0,00770 | l5/0,5 | B14 B1 B7 B10 | 3,1 |
| B13 | B5 | 0,00770 | (l5) b2/25 | B14 B1 B4 B7 B10 | 193,4 |
| B13 | B6 | 0,00770 | l5/0,5 | B14 B1 B4 B7 B10 | 3,1 |
| B13 | B7 | 0,00770 | l5/0,5 | B14 B1 B4 B10 | 3,1 |
| B13 | B8 | 0,00770 | l5/0,5 l3/25 | B14 B1 B4 B7 B10 | 157,8 |
| B13 | B9 | 0,00770 | l5/0,5 | B14 B1 B4 B7 B10 | 3,1 |
| B13 | B10 | 0,00770 | l5/0,5 | B14 B1 B4 B7 | 3,1 |
| B13 | B11 | 0,00770 | (l5) b4/25 | B14 B1 B4 B7 B10 | 193,4 |
| B13 | B12 | 0,00770 | l5/0,5 | B14 B1 B4 B7 B10 | 3,1 |
| B13 | B14 | 0,00770 | l5/75 | B1 B4 B7 B10 | 464,0 |
| B13 | B15 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B14 B1 B4 B7 B10 | 3,1 |
| B14 | B1 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B2 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B3 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B4 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B5 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B6 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B7 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B8 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B9 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B10 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B11 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B12 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 3,1 |
| B14 | B13 | 0,00770 | a1/0,5 l5/75 | B15 | 464,0 |
| B14 | B15 | 0,00770 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 | 3,1 |
| B15 | B1 | 0,00770 | (a1) | B14 B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| B15 | B2 | 0,00770 | (a1) b1/25 | B14 B3 B6 B9 B12 | 193,4 |
| B15 | B3 | 0,00770 | (a1) | B14 B6 B9 B12 | 0,0 |
| B15 | B4 | 0,00770 | (a1) | B14 B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| B15 | B5 | 0,00770 | a1/0,5 l2/25 | B14 B3 B6 B9 B12 | 154,7 |
| B15 | B6 | 0,00770 | (a1) | B14 B3 B9 B12 | 0,0 |
| B15 | B7 | 0,00770 | (a1) | B14 B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| B15 | B8 | 0,00770 | (a1) b3/25 | B14 B3 B6 B9 B12 | 193,4 |
| B15 | B9 | 0,00770 | (a1) | B14 B3 B6 B12 | 0,0 |
| B15 | B10 | 0,00770 | (a1) | B14 B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| B15 | B11 | 0,00770 | a1/0,5 l4/25 | B14 B3 B6 B9 B12 | 154,7 |
| B15 | B12 | 0,00770 | (a1) | B14 B3 B6 B9 | 0,0 |
| B15 | B13 | 0,00770 | (a1) | B14 B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| B15 | B14 | 0,00770 | (a1) | B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| B1 | 1СШ | 0,00043 | l1/0,5 | B2 | 0,2 |
| B1 | 2СШ | 0,00043 | (l1) b1/16 | B2 B4 B7 B10 B13 | 6,8 |
| B2 | 1СШ | 0,00043 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 6,8 |
| B2 | 2СШ | 0,00043 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 6,8 |
| B3 | 1СШ | 0,00043 | (l1) b1/16 | B2 B6 B9 B12 B15 | 6,8 |
| B3 | 2СШ | 0,00043 | b1/16 | B2 | 6,8 |
| B4 | 1СШ | 0,00043 | b2/16 | B5 | 6,8 |
| B4 | 2СШ | 0,00043 | (l2) b2/16 | B5 B1 B7 B10 B13 | 6,8 |
| B5 | 1СШ | 0,00043 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 6,8 |
| B5 | 2СШ | 0,00043 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 6,8 |
| B6 | 1СШ | 0,00043 | (l2) b2/16 | B5 B3 B9 B12 B15 | 6,8 |
| B6 | 2СШ | 0,00043 | l2/0,5 | B5 | 0,2 |
| B7 | 1СШ | 0,00043 | l3/0,5 | B8 | 0,2 |
| B7 | 2СШ | 0,00043 | (l3) b3/16 | B8 B1 B4 B10 B13 | 6,8 |
| B8 | 1СШ | 0,00043 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 6,8 |
| B8 | 2СШ | 0,00043 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 6,8 |
| B9 | 1СШ | 0,00043 | (l3) b3/16 | B8 B3 B6 B12 B15 | 6,8 |
| B9 | 2СШ | 0,00043 | b3/16 | B8 | 6,8 |
| B10 | 1СШ | 0,00043 | b4/16 | B11 | 6,8 |
| B10 | 2СШ | 0,00043 | (l4) b4/16 | B11 B1 B4 B7 B13 | 6,8 |
| B11 | 1СШ | 0,00043 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 6,8 |
| B11 | 2СШ | 0,00043 | (l4) b4/16 | B10 B12 | 6,8 |
| B12 | 1СШ | 0,00043 | (l4) b4/16 | B11 B3 B6 B9 B15 | 6,8 |
| B12 | 2СШ | 0,00043 | l4/0,5 | B11 | 0,2 |
| B13 | 1СШ | 0,00043 | l5/0,5 | B14 | 0,2 |
| B13 | 2СШ | 0,00043 | l5/0,5 a1/0,5 | B14 B1 B4 B7 B10 | 0,2 |
| B14 | 1СШ | 0,00043 | a1/0,5 l5/15 | B13 B15 | 5,1 |
| B14 | 2СШ | 0,00043 | l5/0,5 a1/0,5 | B13 B15 | 0,2 |
| B15 | 1СШ | 0,00043 | a1/0,5 l5/0,5 | B14 B3 B6 B9 B12 | 0,2 |
| B15 | 2СШ | 0,00043 | (a1) | B14 | 0,0 |
| 1СШ | B1 | 0,03000 |  | B4 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B1 | 0,03000 |  | B3 B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B2 | 0,03000 | l1/25 | B1 B4 B7 B10 B13 | 603,3 |
| 2СШ | B2 | 0,03000 | b1/25 | B3 B6 B9 B12 B15 | 754,1 |
| 1СШ | B3 | 0,03000 |  | B1 B4 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B3 | 0,03000 |  | B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B4 | 0,03000 |  | B1 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B4 | 0,03000 |  | B3 B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B5 | 0,03000 | b2/25 | B1 B4 B7 B10 B13 | 754,1 |
| 2СШ | B5 | 0,03000 | l2/25 | B3 B6 B9 B12 B15 | 603,3 |
| 1СШ | B6 | 0,03000 |  | B1 B4 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B6 | 0,03000 |  | B3 B9 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B7 | 0,03000 |  | B1 B4 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B7 | 0,03000 |  | B3 B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B8 | 0,03000 | l3/25 | B1 B4 B7 B10 B13 | 603,3 |
| 2СШ | B8 | 0,03000 | b3/25 | B3 B6 B9 B12 B15 | 754,1 |
| 1СШ | B9 | 0,03000 |  | B1 B4 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B9 | 0,03000 |  | B3 B6 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B10 | 0,03000 |  | B1 B4 B7 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B10 | 0,03000 |  | B3 B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B11 | 0,03000 | b4/25 | B1 B4 B7 B10 B13 | 754,1 |
| 2СШ | B11 | 0,03000 | l4/25 | B3 B6 B9 B12 B15 | 603,3 |
| 1СШ | B12 | 0,03000 |  | B1 B4 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B12 | 0,03000 |  | B3 B6 B9 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B13 | 0,03000 |  | B1 B4 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ | B13 | 0,03000 |  | B3 B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B14 | 0,03000 | l5/25 | B1 B4 B7 B10 B13 | 603,3 |
| 2СШ | B14 | 0,03000 | (a1) | B3 B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| 1СШ | B15 | 0,03000 |  | B1 B4 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B15 | 0,03000 |  | B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ | 2СШ | 0,00011 |  | B1 B4 B7 B10 B13 | 0,0 |
| 2СШ | 1СШ | 0,00011 |  | B3 B6 B9 B12 B15 | 0,0 |
| Всего | 50828,1736404471 |

Дальнейший расчет производим аналогично.

Расчет показателей надежности главной схемы РУ СН (4/3)

Тип станции - АЭС; Uном, кВ – 330; Топ, ч - 2,0

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Оборудование | Параметр потока отказов 1/год | Время восст. после отказа Тв, ч. | Время на пл. ремонт Тр, ч/год |
| Выключатели | 0,2500 | 75 | 271 |
| Система шин | 0,0130 | 5 | 3 |

Получены результаты для выключателей и систем шин:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Отказ | В период ремонта | W, 1/год | ОП/Тв | ОВ | Wнед, МВт ч |
| B1 |  | 0,14000 | l1/0,5 | B2 B5 B9 B13 | 56,1 |
| B2 |  | 0,14000 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 2245,7 |
| B3 |  | 0,14000 | (l2) b1/16 | B2 B4 | 2245,7 |
| B4 |  | 0,14000 | l2/0,5 | B3 B8 B12 B14 | 56,1 |
| B5 |  | 0,14000 | b2/16 | B6 B1 B9 B13 | 2245,7 |
| B6 |  | 0,14000 | (l3) b2/16 | B5 B7 | 2245,7 |
| B7 |  | 0,14000 | (l3) b3/16 | B6 B8 | 2245,7 |
| B8 |  | 0,14000 | b3/16 | B7 B4 B12 B14 | 2245,7 |
| B9 |  | 0,14000 | l4/0,5 | B10 B1 B5 B13 | 56,1 |
| B10 |  | 0,14000 | (l4) b4/16 | B9 B11 | 2245,7 |
| B11 |  | 0,14000 | (l5) b4/16 | B10 B12 | 2245,7 |
| B12 |  | 0,14000 | l5/0,5 | B11 B4 B8 B14 | 56,1 |
| B13 |  | 0,14000 | (a1) | B14 B1 B5 B9 | 0,0 |
| B14 |  | 0,14000 | (a1) | B13 B4 B8 B12 | 0,0 |
| 1СШ |  | 0,02900 |  | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ |  | 0,02900 |  | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B1 | 0,02300 |  | B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B1 | 0,02300 |  | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B2 | 0,02300 | l1/20 | B1 B5 B9 B13 | 360,3 |
| 2СШ | B2 | 0,02300 |  | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B3 | 0,02300 |  | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B3 | 0,02300 | l2/20 | B4 B8 B12 B14 | 360,3 |
| 1СШ | B4 | 0,02300 |  | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B4 | 0,02300 |  | B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B5 | 0,02300 |  | B1 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B5 | 0,02300 |  | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B6 | 0,02300 | b2/20 | B1 B5 B9 B13 | 450,4 |
| 2СШ | B6 | 0,02300 |  | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B7 | 0,02300 |  | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B7 | 0,02300 | b3/20 | B4 B8 B12 B14 | 450,4 |
| 1СШ | B8 | 0,02300 |  | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B8 | 0,02300 |  | B4 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B9 | 0,02300 |  | B1 B5 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B9 | 0,02300 |  | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B10 | 0,02300 | l4/20 | B1 B5 B9 B13 | 360,3 |
| 2СШ | B10 | 0,02300 |  | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B11 | 0,02300 |  | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B11 | 0,02300 | l5/20 | B4 B8 B12 B14 | 360,3 |
| 1СШ | B12 | 0,02300 |  | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B12 | 0,02300 |  | B4 B8 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B13 | 0,02300 |  | B1 B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ | B13 | 0,02300 | (a1) | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| 1СШ | B14 | 0,02300 | (a1) | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | B14 | 0,02300 |  | B4 B8 B12 | 0,0 |
| 1СШ | 2СШ | 0,00007 |  | B1 B5 B9 B13 | 0,0 |
| 2СШ | 1СШ | 0,00007 |  | B4 B8 B12 B14 | 0,0 |
| Всего | 44091,0562127092 |

Расчет показателей надежности главной схемы РУ ВН (3/2)

Тип станции - АЭС; Uном, кВ – 750; Топ, ч - 2,0

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Оборудование | Параметр потока отказов , 1/год | Время восст. после отказа Тв, ч. | Время на пл. ремонт Тр, ч/год |
| Выключатели | 0,2500 | 75 | 271 |
| Система шин | 0,0100 | 6 | 5 |

Получены результаты для выключателей и систем шин:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Отказ | В период ремонта | W, 1/год | ОП/Тв | ОВ | Wнед, МВт ч |
| B1 |  | 0,15000 | l1/0,5 | B2 B4 B7 B10 | 62,0 |
| B2 |  | 0,15000 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 2478,5 |
| B3 |  | 0,15000 | b1/16 | B2 B6 B9 B12 | 2478,5 |
| B4 |  | 0,15000 | b2/16 | B5 B1 B7 B10 | 2478,5 |
| B5 |  | 0,15000 | (l2) b2/16 | B4 B6 | 2478,5 |
| B6 |  | 0,15000 | l2/0,5 | B5 B3 B9 B12 | 62,0 |
| B7 |  | 0,15000 | l3/0,5 | B8 B1 B4 B10 | 62,0 |
| B8 |  | 0,15000 | (l3) b3/16 | B7 B9 | 2478,5 |
| B9 |  | 0,15000 | b3/16 | B8 B3 B6 B12 | 2478,5 |
| B10 |  | 0,15000 | a1/0,5 | B11 B1 B4 B7 | 15,5 |
| B11 |  | 0,15000 | a1/0,5 l4/0,5 | B10 B12 | 77,5 |
| B12 |  | 0,15000 | l4/0,5 | B11 B3 B6 B9 | 62,0 |
| 1СШ |  | 0,02500 |  | B1 B4 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ |  | 0,02500 |  | B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ | B1 | 0,01500 |  | B4 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ | B1 | 0,01500 |  | B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ | B2 | 0,01500 | l1/24 | B1 B4 B7 B10 | 285,1 |
| 2СШ | B2 | 0,01500 | b1/24 | B3 B6 B9 B12 | 356,4 |
| 1СШ | B3 | 0,01500 |  | B1 B4 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ | B3 | 0,01500 |  | B6 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ | B4 | 0,01500 |  | B1 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ | B4 | 0,01500 |  | B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ | B5 | 0,01500 | b2/24 | B1 B4 B7 B10 | 356,4 |
| 2СШ | B5 | 0,01500 | l2/24 | B3 B6 B9 B12 | 285,1 |
| 1СШ | B6 | 0,01500 |  | B1 B4 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ | B6 | 0,01500 |  | B3 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ | B7 | 0,01500 |  | B1 B4 B10 | 0,0 |
| 2СШ | B7 | 0,01500 |  | B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ | B8 | 0,01500 | l3/24 | B1 B4 B7 B10 | 285,1 |
| 2СШ | B8 | 0,01500 | b3/24 | B3 B6 B9 B12 | 356,4 |
| 1СШ | B9 | 0,01500 |  | B1 B4 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ | B9 | 0,01500 |  | B3 B6 B12 | 0,0 |
| 1СШ | B10 | 0,01500 |  | B1 B4 B7 | 0,0 |
| 2СШ | B10 | 0,01500 |  | B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| 1СШ | B11 | 0,01500 | a1/24 | B1 B4 B7 B10 | 71,3 |
| 2СШ | B11 | 0,01500 | l4/24 | B3 B6 B9 B12 | 285,1 |
| 1СШ | B12 | 0,01500 |  | B1 B4 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ | B12 | 0,01500 |  | B3 B6 B9 | 0,0 |
| 1СШ | 2СШ | 0,00009 |  | B1 B4 B7 B10 | 0,0 |
| 2СШ | 1СШ | 0,00009 |  | B3 B6 B9 B12 | 0,0 |
| Всего | 35548,0950403431 |

Расчет показателей надежности главной схемы РУ ВН (4/3)

Тип станции - АЭС; Uном, кВ – 750; Топ, ч - 2,0

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Оборудование | Параметр потока отказов , 1/год | Время восст. после отказа Тв, ч. | Время на пл. ремонт Тр, ч/год |
| Выключатели | 0,2500 | 75 | 271 |
| Система шин | 0,0100 | 6 | 5 |

Получены результаты для выключателей и систем шин:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Отказ |  | W, 1/год | ОП/Тв | ОВ | Wнед, МВт ч |
| B1 |  | 0,16000 | l1/0,5 | B2 B5 B9 | 65,3 |
| B2 |  | 0,16000 | (l1) b1/16 | B1 B3 | 2611,4 |
| B3 |  | 0,16000 | (l2) b1/16 | B2 B4 | 2611,4 |
| B4 |  | 0,16000 | l2/0,5 | B3 B8 B11 | 65,3 |
| B5 |  | 0,16000 | l3/0,5 | B6 B1 B9 | 65,3 |
| B6 |  | 0,16000 | (l3) b2/16 | B5 B7 | 2611,4 |
| B7 |  | 0,16000 | (l4) b2/16 | B6 B8 | 2611,4 |
| B8 |  | 0,16000 | l4/0,5 | B7 B4 B11 | 65,3 |
| B9 |  | 0,16000 | b3/16 | B10 B1 B5 | 2611,4 |
| B10 |  | 0,16000 | (a1) b3/16 | B9 B11 | 2611,4 |
| B11 |  | 0,16000 | a1/0,5 | B10 B4 B8 | 16,3 |
| 1СШ |  | 0,02000 |  | B1 B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ |  | 0,02000 |  | B4 B8 B11 | 0,0 |
| 1СШ | B1 | 0,01000 |  | B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ | B1 | 0,01000 |  | B4 B8 B11 | 0,0 |
| 1СШ | B2 | 0,01000 | l1/18 | B1 B5 B9 | 147,0 |
| 2СШ | B2 | 0,01000 |  | B4 B8 B11 | 0,0 |
| 1СШ | B3 | 0,01000 |  | B1 B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ | B3 | 0,01000 | l2/18 | B4 B8 B11 | 147,0 |
| 1СШ | B4 | 0,01000 |  | B1 B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ | B4 | 0,01000 |  | B8 B11 | 0,0 |
| 1СШ | B5 | 0,01000 |  | B1 B9 | 0,0 |
| 2СШ | B5 | 0,01000 |  | B4 B8 B11 | 0,0 |
| 1СШ | B6 | 0,01000 | l3/18 | B1 B5 B9 | 147,0 |
| 2СШ | B6 | 0,01000 |  | B4 B8 B11 | 0,0 |
| 1СШ | B7 | 0,01000 |  | B1 B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ | B7 | 0,01000 | l4/18 | B4 B8 B11 | 147,0 |
| 1СШ | B8 | 0,01000 |  | B1 B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ | B8 | 0,01000 |  | B4 B11 | 0,0 |
| 1СШ | B9 | 0,01000 |  | B1 B5 | 0,0 |
| 2СШ | B9 | 0,01000 |  | B4 B8 B11 | 0,0 |
| 1СШ | B10 | 0,01000 | b3/18 | B1 B5 B9 | 183,8 |
| 2СШ | B10 | 0,01000 | a1/18 | B4 B8 B11 | 36,8 |
| 1СШ | B11 | 0,01000 |  | B1 B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ | B11 | 0,01000 |  | B4 B8 | 0,0 |
| 1СШ | 2СШ | 0,00005 |  | B1 B5 B9 | 0,0 |
| 2СШ | 1СШ | 0,00005 |  | B4 B8 B11 | 0,0 |
| Всего | 32285,6627673157 |

### 1.9.2 Технико-экономическое сопоставление вариантов рассматриваемых схем.

Основным критерием оптимальности выбранного варианта является минимум приведенных затрат Зmin.

Зmin = Рн × К + И + У, (руб./год)

где: Рн = 1/Тн = 0,12 — нормативный коэффициент технической эффективности;

Тн — нормативный срок окупаемости;

К — капитальные вложения, необходимые для осуществления схемы, определяемые по укрупненным показателям стоимости оборудования (укрупненная стоимость ячеек РУ);

И — ежегодные эксплуатационные издержки;

И = 0,063 К + 0,025 К + Ипот. (руб./год)

0,063 К — ежегодные амортизационные отчисления, принимаемые равными 6,3% от капитальных вложений (руб./год);

0,025 К — ежегодные годовые издержки на текущие ремонты и зарплату эксплуатационного персонала, принимаемые равными 2,5% от капитальных вложений (руб./год);

Ипот. — годовые издержки, вызванные потерями электроэнергии в электроустановках (руб./год);

У — ущерб от недовыработки электроэнергии.

У = Wнед × Снед,

Снед — стоимость недовыработки (= 0,12 грн/кВт ч)

**РУ-330 кВ (3/2)**

Зmin = Рн × К + И + У=

=(0.12\*287200\*15)+0.063\*287200\*15+0.025\*287200\*15+50828173\*0.12

=6530180 грн

**РУ-330 кВ (4/3)**

Зmin = Рн × К + И + У=

=(0.12\*287200\*14)+0.063\*287200\*14+0.025\*287200\*14+44091056\*0.12

=6127253 грн

**РУ-750 кВ (3/2)**

Зmin = Рн × К + И + У=

=(0.12\*452000\*12)+0.063\*452000\*12+0.025\*452000\*12+35548095\*0.12

=5393963 грн

**РУ-750 кВ (4/3)**

Зmin = Рн × К + И + У=

=(0.12\*452000\*11)+0.063\*452000\*11+0.025\*452000\*11+32285663\*0.12

=4908455 грн

На основании расчетных данных по приведенным затратам выбираем:

1. для ОРУ-330 кВ схема 4/3;
2. для ОРУ-750 кВ схема 4/3.

# 2. Проектирование электроснабжения собственных нужд блока АЭС

##

## 2.1 Схемы электроснабжения потребителей собственных нужд

###

### 2.1.1 Принципы построения схемы

Принципиально новой, присущей только ядерной энергетике проблемой обеспечения расхолаживания, при эксплуатации АЭС в особенности в условиях аварийного обеспечения и нарушения связи с энергосистемой. При этом надежное функционирование всего комплекса устройств нормальной эксплуатации, защитных и локализующих устройств существенно зависит от построения электрической части АЭС и надежности используемого электрооборудования.

Характерной особенностью АЭС, оказывающей первостепенное влияние на принцип построения схем электроснабжения потребителей с.н., выбор источников питания и кратности их резервирования, является наличие остаточных тепловыделений в активной зоне после срабатывания даже самой быстродействующей аварийной защиты. Эти тепловыделения обусловлены наличием запаздывающих нейтронов, радиоактивным расходом продуктов деления, накопившихся в процессе работы реактора, и энергией, аккумулированной в ядерном горючем, теплоносителе, замедлителе и в элементах конструкции. Вне зависимости от причины аварийной остановки реактора его расхолаживание должно осуществляться безотказно, включая и случаи исчезновения напряжения в сети с.н. от основных и резервных источников электроснабжения, связанных с сетью энергосистемы.

###

### 2.1.2 Классификация потребителей по надежности питания

По требованиям, предъявленным к надежности электроснабжения, потребители собственных нужд АЭС разделяются на три группы:

Первая группа - потребители, предъявляющие повышенные требования к надежности электроснабжения, не допускающие по условиям безопасности перерывов питания более чем на доли секунды во всех режимах, включая режим полного исчезновения напряжения переменного тока от рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд. Потребители первой группы требуют обязательного питания после срабатывания аварийной защиты (АЗ) реактора.

К потребителям первой группы относятся системы контрольно-измерительных приборов и автоматики; приборы технологического контроля реактора и его систем; система центрального контроля за технологическим процессом блока; некоторые системы радиационного контроля; электроприводы быстродействующих каналов и отсечной аппаратуры, обеспечивающих вступление в работу систем расхолаживания и локализации аварии, а также часть аварийного освещения; оперативные цепи управления, защиты и сигнализации; аварийные маслонасосы турбогенератора и уплотнения вала генератора.

Вторая группа - потребители, не предъявляющие повышенных требований к надежности электроснабжения, допускающее перерыв в питании на время автоматического ввода резерва (АВР), и не требующее обязательного наличия питания после срабатывания АЗ реактора.

К потребителям второй группы относятся механизмы, обеспечивающие расхолаживание реактора и локализацию аварии в различных режимах, включая режим максимальной проектной аварии (МПА) и охлаждающие ГЦН, часть спецвентиляции и аварийного освещения, часть потребителей туброгенераторов, обеспечивающих их надежный останов и сохранность при аварийном обесточении, системы биологической и технологической дозиметрии.

Третья группа потребителей на АЭС эквивалентна обычным потребителям первой категории по правилам устройства электроустановок.

К потребителям третьей группы относятся электроприводы ГЦН, а также большая часть нагрузки собственных нужд АЭС, обеспечивающие основной технологический процесс на блоке.

Согласно разъяснения «Харьковэнергопроект» №15-20/3836 от 25.06.98г. «О классификации электроприемников собственных нужд АЭС по группам и категориям» отмечается имеющаяся взаимная неувязка действующих нормативных документов в части определений категорий и групп потребителей с.н. АЭС. Она связана, в основном, с нечеткостью определения потребителей первой и второй группы в п.10.13 «Правил технологического проектирования АЭС с ВВЭР», согласно которому все потребители первой и второй групп однозначно отнесены к системе, обеспечивающей безопасность. Поскольку четкое разделение на группы потребителей с/нужд нормальной эксплуатации в нормативных документах отсутствует. Принципы классификации потребителей, принятые в проектной практике «Харьковэнергопроект»:

1. По классификации ПУЭ все потребители с.н. АЭС относятся к I категории электроснабжения, а часть потребителей, обеспечиваемая питанием от автономных источников (первая и вторая группы), относится к особой группе I категории.

2. Основным признаком, по которому производится разделение потребителей с.н. АЭС на группы, является допустимый перерыв электроснабжения.

К первой группе относятся потребители систем постоянного тока и бесперебойного питания переменного тока, для которых проектными решениями обеспечивается перерыв питания не более, чем на доли секунды.

Ко второй группе относятся потребители систем надежного электроснабжения, для которых обеспечивается перерыв питания не более, чем на десятки секунд, в том числе и при обесточении блока.

К третье группе относятся потребители, для которых допускаются перерыв питания на время АВР и потеря питания при обесточении блока.

3. В зависимости от назначения, потребители и питающие их системы с.н. делятся на потребителей систем безопасности, питаемых от системы аварийного электроснабжения (САЭ), и потребителей с.н. нормальной эксплуатации.

4. Таким образом, на АЭС могут быть:

* потребители первой группы САЭ;
* потребители второй группы САЭ;
* потребители первой группы нормальной эксплуатации;
* потребители второй группы нормальной эксплуатации (только для блоков, имеющих РДЭСО);
* потребители третьей группы нормальной эксплуатации.

5. Кроме того, потребители с.н. классифицируются по влиянию на безопасность в соответствии с ОПБ-88.

###

### 2.1.3 Сети и питающие напряжения

На электростанции предусматривается следующие сети электроснабжения потребителей собственных нужд:

* сети 6 кВ и 380/220 В, 50 Гц надежного питания второй группы для питания потребителей, терпящих перерыв в питании на время от 15 с до нескольких минут;
* сети 380/220, 50Гц надежного питания первой группы для питания потребителей, не допускающих перерыва питания или допускающих кратковременного перерыва в питании;
* сеть 6 кВ, 50 Гц для питания прочих потребителей, которые не предъявляют специальных требований к питанию;
* сеть 380/220 В, 50 Гц для питания прочих потребителей, которые не предъявляют специальных требований к питанию.

Электродвигатели мощностью 200 кВт и выше, а также понижающие трансформаторы 6/0,4 кВ подключаются к соответствующим сетям 6 кВ. Электродвигатели менее 200 кВт, а также сети сварки, освещения и электродвигатели задвижек подключаются к сети 0,4 – 0,23 кВ.

### 2.1.4 Источники питания

Для потребителей собственных нужд АЭС первой, второй и третьей групп предусматривается номинальное рабочие и резервное питание от двух независимых источников питания, связанных с сетью энергосистемы, от рабочих и резервных трансформаторов собственных нужд.

Для потребителей первой и второй групп, помимо перечисленных источников, в аварийном режиме предусматривается дополнительное электроснабжение от специально установленных аварийных источников, не связанных с сетью энергосистемы (дизель-генераторы и аккумуляторные батареи).

###

### 2.1.5 Присоединение трансформаторов собственных нужд

Для потребителей собственных нужд осуществляется от трансформаторов, подключенных к ответвлению блока генератор - трансформатор. Эта схема с непосредственной электрической связью собственных нужд с сетью энергосистемы, является наиболее простым решением, получившим широкое распространение. Недостатком такой схемы является зависимость напряжения и частоты в схеме собственных нужд от режима энергосистемы. Надежность и устойчивость данной схемы обеспечивается:

Широким применением в системе собственных нужд асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, пуском их от полного напряжения в сети без всяких регулирующих устройств;

Успешным самозапуском электродвигателей при восстановлении напряжения после отключения коротких замыканий в системе и в сети собственных нужд;

Применением быстродействующих релейных защит и выключателей на всех элементах системы и присоединениях собственных нужд;

Широким внедрением устройств системной автоматики (автоматическая частотная разгрузка, автоматический ввод резервного питания и резервных механизмов собственных нужд, автоматическое регулирование и формировка возбуждения генераторов.)

|  |
| --- |
| **~** |

**6 кВ**

**ТСН1**

**ТСН2**

**ТСН1**

**РТСН1**

**РТСН2**

**750 кВ**

**330 кВ**

Рис.2.1. Схема питания собственных нужд от генератора и энергосистемы

Резервные трансформаторы собственных нужд присоединяются к постоянному источнику питания расположенному вблизи АЭС напряжение 330 кВ.

###

### 2.1.6 Питание потребителей III группы секций нормальной эксплуатации

Распределительные устройства собственных нужд выполняются с одной секционированной системой сборных шин и одним выключателем на присоединение.

Число секций сборных шин собственных нужд нормальной эксплуатации выбирается в зависимости от числа ГЦН, мощности и числа рабочих трансформаторов собственных нужд. Принимаем четыре секции 6 кВ BA, BB, BC, BD.

Каждая рабочая секция имеет ввод от резервной магистрали 6 кВ секций BL, BM, BP, BN от резервного трансформатора собственных нужд (РТСН).

Сеть 380/220 В предусмотрена с заземленной нейтралью. На блок предусматривается пятнадцать секций 0,4 кВ нормальной эксплуатации. Из них:

* четыре секции блочные CA, CB, CM, CN;
* две секции - компенсатора объема CC, CD;
* шесть секций - нормальной эксплуатации реакторного отделения CPI(II), CQI(II), CTI(II);
* две секции - силовой нагрузки СУЗ - CE, CF;
* одна секция питание выпрямителей общеблочных АБП CG.

Для питания данных секций устанавливаются трансформаторы напряжение 6/0,4 кВ.

Резервное питание блочных секций 0,4 кВ обеспечивается от резервного трансформатора 6/0,4 кВ образующего секцию CR. При этом резервный трансформатор данного блока получает питание с секции 6 кВ другого блока.

###

### 2.1.7 Питание потребителей II группы надежности общеблочных секций

Питание секций 6 кВ общеблочных потребителей (секции BJ и BK) осуществляется в нормальном режиме от секций нормальной эксплуатации BA и BD.

Секции 0,4 кВ CJ, CK запитаны от секций BJ и BK через соответствующие им рабочие трансформаторы BU31, BU34.

###

### 2.1.8 Питание потребителей I группы надежного питания 0,4 кВ

Потребители 0,4 кВ I группы надежности получают питание от щитов постоянного тока 220 В, через статические агрегаты бесперебойного питания (АБП) напряжением 380/220 В.

При этом, в нормальном режиме питание осуществляется через выпрямительное устройство, подключенное к сети 6 кВ через понижающий силовой трансформатор 6/0,4 – 0,23, а в аварийном режиме от аккумуляторной батарей. Для питания потребителей 0,4 кВ I группы надежности в машинном зале устанавливается два АБП.

Секции потребителей I группы собираются из шкафов теристорных ключей отключающих с естественной коммутацией (ТКЕО) и переключающих (ТКЕП).

ТКЕО и ТКЕП получают питание от инверторов. Резервное питание потребителей ТКЕП получают от секции 0,4 кВ нормальной эксплуатации.

###

### 2.1.9 Схема постоянного тока

На блок предусматриваются аккумуляторные батареи с номинальным напряжение 220 В (на каждый АБП одна батарея). Батареи служат для обеспечения питания аварийной нагрузки. Каждая из батарей рассчитана на обеспечение 100% нагрузки потребителей данного щита постоянного тока ЩПТ. Взаимные связи предусмотрены между ЩПТ общеблочными и УВС.

Аккумуляторные батареи работают в режиме постоянного подзаряда. При этом на каждом элементе поддерживается напряжение 2,15 ÷ 2,2 В. Подзаряд аккумуляторных батарей обеспечивается через выпрямитель, являющийся составной частью АБП.

Для отыскания “земли” на каждом щите предусматривается отдельное выпрямительное устройство (ВАЗП).

##

## 2.2 Выбор трансформаторов собственных нужд

###

### 2.2.1 Общие положения

Мощность рабочего трансформатора собственных нужд блока выбирается на основании подсчета действительной нагрузки секций, питаемых этим трансформатором, с учетом как блочной, так и общестанционной нагрузки.

|  |
| --- |
| **~** |

**РТСН2**

**330 кВ**

**ТСН1**

**ТСН1**

**РТСН1**

**750 кВ**

**BL**

**BM**

**BP**

**BN**

**BA**

**BB**

**BC**

**BD**

**CP1**

**CP2**

**CQ2**

###### *CQ1*

**CT1**

**CT2**

**CA**

**CB**

**CE**

**CC**

**CM**

**CR**

**CN**

**CD**

**CF**

**CG**

Рис.2.2 Схема электроснабжения потребителей 3-группы секций нормальной эксплуатации 6 и 0,4 кВ блока

**От сек. BD**

**От сек. BA**

**BJ**

**BK**

**BZ04**

**BZ06**

**1GZ01**

**2GZ01**

**CU04**

**CJ01**

**CJ02**

**CK01**

**CK02**

**6 кВ**

**6 кВ**

**6 кВ**

**0,4 кВ**

К следующему

блоку

К следующему

блоку

Рис.2.3 Схема питания потребителей 2-группы надёжного питания общеблочных секций 6 и 0,4 кВ

**=**

**≈**

**=**

**≈**

**=**

**≈**

**EE**

**EQ**

**EA**

**EQ**

**EF**

**EK**

**От CV01**

**От BU**

Рис.2.4 Схема надёжного питания 0,4/0,23 кВ 1-группы надёжности

Многие механизмы собственных нужд являются резервными, как, например, дублированные конденсатные насосы, резервные питательные электронасосы. Часть механизмов работает периодически: насос кислотной промывки, противопожарные, краны, сварка, освещение. Кроме того, мощность двигателей механизмов выбирается с некоторым запасом с учетом ухудшения свойств агрегатов в процессе эксплуатации каталожные мощности электродвигателей также обычно больше расчетных, требуемых на валу

В результате определение действительной нагрузки трансформатора собственных нужд оказывается очень сложным, и назвать их реальную нагрузку можно лишь на основании опыта эксплуатации. Поэтому для определения мощности трансформаторов собственных нужд пользуемся приближенным методом [3], согласно которому переход от мощности механизма к мощности трансформатора производится путем умножения суммарной мощности всех механизмов на усредненные коэффициенты пересчета, принятые институтом “Теплоэнергопроект” (г. Москва) на основе опыта эксплуатации и проведенных испытаний.

###

### 2.2.2 Выбор трансформаторов 6/0.4

В суммарной мощности механизмов учитываются и мощности всех резервных и нормально работающих механизмов и трансформаторов. В соответствии с этим мощность трансформаторов собственных нужд 6/0,4 кВ определим по формуле:



где ∑P'дв, ∑P"дв – суммы мощностей, кВт, электродвигателей мощностью более 75 и менее 75 кВт соответственно, подключённых к трансформатору;

∑Pзадв – сумма мощностей электродвигателей задвижек и колонок дистанционного управления, кВт;

∑Pосв – суммарная нагрузка приборов освещения и электронагревателей, кВт.

Для питания потребителей 0,4 кВ секции надёжного питания 2-категории (CV01) принимаем к установке трансформатор ТСЗС-1000/10: трёхфазный, с сухой изоляцией, с естественным воздушным охлаждением при защищённом исполнении, мощностью 1000 кВ·А. Каталожные данные трансформатора приведены в таблице

Таблица 2.1

Данные трансформатора

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Sном,кВ·А | Напряжение обмотки, кВ | PХ.Х. | PК.З. | Uкз, % | Iхх, % |
| ВН | НН |
| ТСЗС-1000/10 | 1000 | 6 | 0,4 | 3000 | 12000 | 8 | 2 |

###

### 2.2.3 Выбор трансформаторов 24/6,3-6,3 кВ

Зная значение мощностей трансформаторов 6/0,4 кВ и электродвигателей 6 кВ, определим расчётную нагрузку секций 6 кВ по формуле:



где ∑ Pдв,6 – сумма расчётных мощностей на валу всех установленных механизмов с электродвигателями 6 кВ.

∑ SТ.0,4 – сумма всех присоединённых мощностей трансформаторов 6/0,4 кВ включая резервные и нормально неработающие.

Результаты расчётов сводим в таблицу

Таблица 2.2

Выбор трансформаторов собственных нужд 6/0,4 кВ

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № п.п. | Оперативное наименование | Присоединение | Расчётная мощность, кВт | Каталожная мощность трансформатора, кВ·А |
| Трансформаторы блока |
| 1 | BU01 | Секция CA | 916,3 | 1000 |
| 2 | BU02 | Секция CB | 903,2 | 1000 |
| 3 | BU03 | Секция CM | 908,4 | 1000 |
| 4 | BU04 | Секция CN | 910,6 | 1000 |
| 5 | BU05 | Секция CV01 | 833,3 | 1000 |
| 6 | BU06 | Секция CW01 | 896,5 | 1000 |
| 7 | BU07 | Секция CX01 | 824,7 | 1000 |
| 8 | BU08 | Секция CC | 836,6 | 1000 |
| 9 | BU09 | Секция CD | 848,4 | 1000 |
| 10 | BU10 | Секция CR | 916,3 | 1000 |
| 11 | BU11 | Секция CE | 307,2 | 400 |
| 12 | BU12 | Секция CF | 312,4 | 400 |
| 13 | BU14 | АБП 2-с.б. | 334,6 | 400 |
| 14 | BU15 | АБП 3-с.б. | 334,6 | 400 |
| 15 | BU16 | АБП 1-с.б. | 334,6 | 400 |
| 16 | BU17 | АБП УВС | 170,3 | 250 |
| 17 | BU18 | АБП общ.блоч. | 210,9 | 250 |
| 18 | BU19-1 | Секция CP-1 | 743,5 | 1000 |
| 19 | BU19-2 | Секция CP-2 | 750,1 | 1000 |
| 20 | BU21-1 | Секция CQ-1 | 742,3 | 1000 |
| 21 | BU21-2 | Секция CQ-2 | 749,1 | 1000 |
| 22 | BU22-1 | Секция CT-1 | 754,4 | 1000 |
| 23 | BU22-2 | Секция CT-2 | 756,6 | 1000 |
| 24 | BU23 | Секция CU01 | 824,5 | 1000 |
| 25 | BU24 | Секция CU02 | 824,5 | 1000 |
| 26 | BU25 | Секция CU03 | 824,5 | 1000 |
| 27 | BU26 | Секция CV02 | 836,7 | 1000 |
| 28 | BU27 | Секция CW02 | 889,6 | 1000 |
| 29 | BU28 | Секция CX02 | 832,1 | 1000 |
| 30 | BU 29 | Секция CG | 746,2 | 1000 |
| 31 | BU31 | Секция CJ01 | 719,7 | 1000 |
| 32 | BU32 | АБП общ.блоч. | 180,4 | 250 |
| 33 | BU34 | Секция CK01 | 705,3 | 1000 |
| 34 | BU37 | Секция CU04 | 196,2 | 250 |

Таблица 2.3

Потребители общеблочных секций 6 кВ, BJ, BK.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Присоединения | Наименование | Нагрузка BJ | Нагрузка BK |
| 1 | Насос гидростатического подъёма ротора | SC91D | 315 | 315 |
| 2 | Подпиточный насос (вспомогательный) | RL51D | 800 | 800 |
| 3 | Подпиточный насос | TK21D | 800 | 800 |
| 4 | Насос водоснабжения РДЭС | VH10D | 250 | 250 |
| 5 | Трансформатор 6/04 кВ, неответственных потребителей CJ, CK | BU31 | 1000 | 1000 |
| 6 | Трансформатор 6/04 кВ, АБП (УВС) | BU17 | 250 | — |
| 7 | Трансформатор 6/04 кВ, АБП (общеблочный) | BU18 | — | 250 |
| 8 | Трансформатор 6/04 кВ, РДЭС | BU37 | 250 | — |
| ИТОГО: | 3298,5 кВ·А | 3075,5 кВ·А |

. Выбор трансформатора 24/6,3 – 6,3 кВ

Для обеспечения надежной работы оборудования машинного зала АЭС необходимо обращать особое внимание на эксплуатацию ЭД, важных для сохранности основного технологического оборудования АЭС. Перечень ЭД, влияющих на сохранность основного технологического оборудования АЭС, приведен в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Электродвигатели, влияющие на сохранность основного технологического оборудования АЭС

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Операт. наимен. | наименование | тип | Uн, кВ | Рн, кВт | Iн, А |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|  | YD10D01 | ГЦН | ВАЗ-215/109-6АМ05 | 6,0 | 8000 | 880 |
|  | YD20D01 | ВАЗ-215/109-6АМ05 | 6,0 | 8000 | 880 |
|  | YD30D01 | ВАЗ-215/109-6АМ05 | 6,0 | 8000 | 880 |
|  | YD40D01 | ВАЗ-215/109-6АМ05 | 6,0 | 8000 | 880 |
|  | RW51D11 | конденсатный насос ТПН | 4А180М-4 | 0,4 | 22 | 41,2 |
|  | RW51D21 | 4А180М-4 | 0,4 | 22 | 41,2 |
|  | RW52D11 | 4А180М-4 | 0,4 | 22 | 41,2 |
|  | RW52D21 | 4А180М-4 | 0,4 | 22 | 41,2 |
|  | SC10D11 | маслонасос смазки турбины | 4А180S-4 | 0,4 | 110 |  |
|  | SC10D21 | 4А180S-4 | 0,4 | 110 |  |
|  | SC10D31 | 4А180S-4 | 0,4 | 110 |  |
|  | CS51D41 | маслонасосы регулирования ТПН | 4А225М-2 | 0,4 | 55 | 110 |
|  | CS51D42 | 4А225М-2 | 0,4 | 55 | 110 |
|  | CS52D41 | 4А225М-2 | 0,4 | 55 | 110 |
|  | CS52D42 | 4А225М-2 | 0,4 | 55 | 110 |
|  | SE80D01 | маслонасосы регулирования турбины | А03-315S-2 | 0,4 | 160 |  |
|  | SE80D02 | А03-315S-2 | 0,4 | 160 |  |
|  | SE80D03 | А03-315S-2 | 0,4 | 160 |  |
|  | SS11D01 | насос охлаждения обмотки статора | А0101-4МУ2 | 0,4 | 125 |  |
|  | SS12D01 | А0101-4МУ2 | 0,4 | 125 |  |
|  | SU11D01 | маслонасосы уплотнений вала генератора | А02-81-2 | 0,4 | 40 |  |
|  | SU12D01 | А02-81-2 | 0,4 | 40 |  |
|  | SU13D01 | А02-81-2 | 0,4 | 40 |  |
|  | RM11D01 | Конденсатный насос(КЭН) 1-ой ступени | ВАН118/51-8УЗ | 6,0 | 1000 | 119 |
|  | RM12D01 | ВАН118/51-8УЗ | 6,0 | 1000 | 119 |
|  | RM13D01 | ВАН118/51-8УЗ | 6,0 | 1000 | 119 |
|  | RM41D01 | Конденсатный насос(КЭН) 2-ой ступени | 2АЗМ-1600/6000УХЛ4 | 6,0 | 1800 | 180 |
|  | RM42D01 | 2АЗМ-1600/6000УХЛ4 | 6,0 | 1800 | 180 |
|  | RM43D01 | 2АЗМ-1600/6000УХЛ4 | 6,0 | 1800 | 180 |
|  | RN72D01 | Сливной насос ПНД-1 | АВ114-4М | 6,0 | 320 | 36,7 |
|  | RN73D01 | АВ114-4М | 6,0 | 320 | 36,7 |
|  | RN74D01 | АВ114-4М | 6,0 | 320 | 36,7 |
|  | RN52D01 | Сливной насос ПНД-3 | АОВ2-14-41У3 | 6,0 | 500 | 57 |
|  | RN53D01 | АОВ2-14-41У3 | 6,0 | 500 | 57 |
|  | RN54D01 | АОВ2-14-41У3 | 6,0 | 500 | 57 |
|  | ST11D01 | Насос замкнутогоконтура ОГЦ | А13-46-6-УХЛ4 | 6,0 | 630 | 73 |
|  | ST12D01 | А13-46-6-УХЛ4 | 6,0 | 630 | 73 |
|  | SС91D01 | Насос гидроподъема ротора | А12-35-6 | 6,0 | 315 | 38 |
|  | SС92D01 | А12-35-6 | 6,0 | 315 | 38 |
|  | SU91D11÷61 | Маслонасосы КЭН 2-ой ступени | 4А90L/4 | 0,4 | 2,2 | 4 |
|  | VC20D01 | Насос неответственных потребителей группы “В” (БНС) | ВАН143-41-10-У3 | 6,0 | 1000 | 121 |
|  | VC20D02 | ВАН143-41-10-У3 | 6,0 | 1000 | 121 |
|  | VC10D01(1-я скорость) | Циркуляционные насосы БНС | ДВДА-260/99-20-24 | 6,0 | 4000 | 580 |
|  | VC10D01(2-я скорость) | ДВДА-260/99-20-24 | 6,0 | 2500 | 387 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|  | VC10D02(I) | Циркуляционные насосы БНС | ДВДА-260/99-20-24 | 6,0 | 4000 | 580 |
|  | VC10D02(II) | ДВДА-260/99-20-24 | 6,0 | 2500 | 387 |
|  | VC10D03(I) | ДВДА-260/99-20-24 | 6,0 | 4000 | 580 |
|  | VC10D03(II) | ДВДА-260/99-20-24 | 6,0 | 2500 | 387 |
|  | VC21D11 | Подъемный насос маслоохладителей | А12-52-8-УХЛ4 | 6,0 | 630 | 73 |
|  | VC22D11 | А12-52-8-УХЛ4 | 6,0 | 630 | 73 |
|  | RL51D01 | Вспомогательныйпитательный насос | 4АЗМ-800/6000УХЛ4 | 6,0 | 800 | 90 |
|  | RL52D01 | 4АЗМ-800/6000УХЛ4 | 6,0 | 800 | 90 |
|  | RU21D01 | Конденсатный насос ПСВ | АВ113-4М | 6,0 | 250 | 29 |
|  | RU22D01 | АВ113-4М | 6,0 | 250 | 29 |
|  | UM11D01 | Сетевой насос (зимний) | А4-400У-4УЗ | 6,0 | 630 | 73 |
|  | UM12D01 | А4-400У-4УЗ | 6,0 | 630 | 73 |
|  | RB61D01 | Насос слива сепаратный | АОВ2-14-41УЗ | 6,0 | 500 | 57 |
|  | RB62D01 | АОВ2-14-41УЗ | 6,0 | 500 | 57 |
|  | UJ10D01 | Пожарный насос БНС | АВ113-4М | 6,0 | 250 | 29 |
|  | UJ10D02 | АВ113-4М | 6,0 | 250 | 29 |
|  | VH10D03 | Насос технической воды БНС | АВ113-4М | 6,0 | 250 | 29 |
|  | VH10D04 | АВ113-4М | 6,0 | 250 | 29 |

Зная значения мощностей трансформаторов 6/0,4 кВ и электродвигателей 6 кВ, определим расчетную нагрузку секции 6 кВ по формуле:

Sт6 = 0,9 (∑Рдв6 + ∑Sт.0,4 )

где ∑Рдв6 - сумма расчетных мощностей на валу всех установленных механизмов с электродвигателями 6кВ;

∑Sт.0,4 - сумма всех присоединенных мощностей трансформаторов 6/0,4 кВ включая резервные и номинально не работающие.

Результаты расчетов сводим в таблицу № 2.5

Таблица № 2.5

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Наименование оборудования | Р д.ном, кВт | S ном.т, кВА |
| Секции нормальной эксплуатации. |
| Секция ВА |
| 1 | Главный циркуляционный насос | 8000 |  |
| 2 | Насос тех. Воды не отв. потребителей | 1000 |  |
| 3 | Насос подачи воды на градирню | 4000 |  |
| 4 | Насос подъёмный | 320 |  |
| 5 | Сливной насос | 500 |  |
| 6 | Сетевой насос | 630 |  |
| 7 | Трансформатор секции CP-1 и CP-2 |  | 1000 |
| 8 | Трансформатор секции СА |  | 1000 |
|  | Суммарная мощность | 14450 | 2000 |
| Секция ВВ |
| 1 | Главный циркуляционный насос | 8000 |  |
| 2 | Насос подачи воды на градирню | 4000 |  |
| 3 | Насос циркуляционный двухскоростной | 4000 |  |
| 4 | Конденсатный насос первой ступени | 1000 |  |
| 5 | Конденсатный насос второй ступени | 1600 |  |
| 6 | Сливной насос ПНД-3 | 500 |  |
| 7 | Сливной насос ПНД-1 | 315 |  |
| 8 | Подъёмный насос | 320 |  |
| 9 | Сетевой насос | 630 |  |
| 10 | Трансформатор секции СТ-1 и СТ-2 |  | 1000 |
| 11 | Трансформатор секции СУЗ (СЕ) |  | 400 |
| 12 | Трансформатор секций CQ-1 и CQ-2 |  | 1000 |
| 13 | Трансформатор секции СС |  | 1000 |
| 14 | Трансформатор секции СВ |  | 1000 |
|  | Суммарная мощность | 20365 | 4400 |
| Секция ВС |
| 1 | Главный циркуляционный насос | 8000 |  |
| 2 | Насос подачи воды на градирню | 4000 |  |
| 3 | Циркуляционный насос двухскоросной | 4000 |  |
| 4 | Конденсатный насос первой ступени | 1000 |  |
| 5 | Конденсатный насос второй ступени | 1600 |  |
| 6 | Сливной насос ПНД-3 | 500 |  |
| 7 | Сливной насос ПНД-1 | 315 |  |
| 8 | Насос замкнутого контура ОГЦ | 630 |  |
| 9 | Насос тех. воды не отв. потребителей | 1000 |  |
| 10 | Конденсатный насос ПСВ | 850 |  |
| 11 | Подпиточный насос | 800 |  |
| 12 | Сливной насос сепаратора турбины | 300 |  |
| 13 | Трансформатор секции СТ-1 иСТ-2 |  | 1000 |
| 14 | Трансформатор секции СМ |  | 1000 |
| 15 | Трансформатор секции CR |  | 1000 |
|  | Суммарная мощность | 22995 | 3000 |
| Секция ВД |
| 1 | Главный циркуляционный насос | 8000 |  |
| 2 | Насос подачи воды на градирню | 4000 |  |
| 3 | Конденсатный насос первой ступени | 1000 |  |
| 4 | Конденсатный насос второй ступени | 1600 |  |
| 5 | Сливной насос ПНД-1 | 315 |  |
| 6 | Насос замкнутого контура ОГЦ | 630 |  |
| 7 | Насос тех. воды не отв. потребителей | 1000 |  |
| 8 | Конденсатный насос ПСВ | 850 |  |
| 9 | Сливной насос сепаратора турбины | 300 |  |
| 10 | Циркуляционный насос | 4000 |  |
| 11 | Трансформатор секции СУЗ(СF) |  | 400 |
| 12 | Трансформатор секции СG |  | 1000 |
| 13 | Трансформатор секции СД |  | 1000 |
| 14 | Трансформатор секций СQ-1 и СQ-2 |  | 1000 |
| 15 | Трансформатор секций СР-1 иСР-2 |  | 1000 |
| 16 | Трансформатор секции СN |  | 1000 |
|  | Суммарная мощность | 21695 | 5400 |
| Секции надёжного питания общеблочных потребителей |
| Секция BJ |
| 1 | Насос гидростатического подъёма ротора | 250 |  |
| 2 | Насос подпиточный | 800 |  |
| 3 | Вспомогательный питательный насос | 850 |  |
| 4 | Трансформатор секции СJ |  | 1000 |
| 5 | Трансформатор общеблочного АБП |  | 250 |
|  | Суммарная мощность | 1900 | 1250 |
| Секция ВК |
| 1 | Насос гидростатического. подъёма ротора | 250 |  |
| 2 | Насос подпиточный | 800 |  |
| 3 | Трансформатор АБП УВС |  | 250 |
| 4 | Трансформатор секции СК |  | 1000 |
| 5 | Трансформатор общеблочного АБП |  | 250 |
|  | Суммарная мощность | 1050 | 1500 |
| Секции систем безопасности реакторного отделения |
| Секции BV(BW, BX) |
|  | Суммарная мощность | 4330 | 2630 |

Таблица № 2.6

Распределение нагрузок трансформаторов собственных нужд блока

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №№ | Наименование токоприёмника | Каталожная мощность | К-во присоединений | Распределение нагрузок |
| **Секция BE** | **Секция BF** | **Секция BG** | **Секция BH** |
| Раб. | Рез. | **К-во** | **Мощность** | **К-во** | **Мощность** | **К-во** | **Мощность** | **К-во** | **Мощность** |
| 1 | Сливной насос ПНД3 | 500 | 2 | 1 | 1 | 500 | - | - | 1 | 500 | 1 | 500 |
| 2 | Сливной насос ПНД1 | 315 | 2 | 1 | - | - | 1 | 315 | 1 | 315 | 1 | 315 |
| 3 | Подъёмный насос | 320 | 1 | 1 | 1 | 320 | - | - | 1 | 320 | - | - |
| 4 | Насос замкнутого контура | 630 | 1 | 1 | - | - | 1 | 630 | - | - | 1 | 630 |
| 5 | Насос тех. воды неответств. потребителей | 1000 | 1 | 1 | 1 | 1000 | - | - | - | - | 1 | 1000 |
| 6 | Конденсатный насос 2-й ступени | 1600 | 2 | 1 | 1 | 1600 | - | - | 1 | 1600 | 1 | 1600 |
| 7 | Конденсатный насос 1-й ступени | 1000 | 2 | 1 | 1 | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 1000 | - | - |
| 8 | Сливной насос сепаратора турбины. | 300 | 1 | 1 | 1 | 300 | - | - | 1 | 300 | - | - |
| 9 | ГЦН | 8000 | 4 | - | 1 | 8000 | 1 | 8000 | 1 | 8000 | 1 | 8000 |
| 10 | Цирк. насос | 2500/4000 | 3 | - | - | - | 1 | 4000 | 1 | 4000 | 1 | 4000 |
| 11 | Конденсатный насос ПСВ | 850 | 1 | 1 | 1 | 850 | - | - | 1 | 850 | - | - |
| 12 | Сетевой насос | 630 | 1 | 1 | - | - | 1 | 630 | - | - | 1 | 630 |
| 13 | Подпиточный насос | 800 | 1 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 800 |
| 14 | Секции 6 кВ надёжного питания с.б. РО | 6960 | 3 | - | 1 | 6960 | 1 | 6960 | 1 | 6960 | - | - |
| 15 | Общеблочные секции 6 кВ надёжного питания BJ,BK | 3665 | 2 | - | 1 | 3665 | - | - | - | - | 1 | 3665 |
| 16 | Трансформаторы 6/0,4 кВ секции CP, CQ, CT | 1000 | 6 | - | 1 | 1000 | 2 | 1000 | 1 | 1000 | 2 | 1000 |
| 17 | Трансформаторы 6/0,4 кВ, секции на м.з. CA, CB, CM, CN, CR | 1000 | 4 | 1 | 2 | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 1000 | 1 | 1000 |
| 18 | Трансформаторы 6/0,4 кВ, секции CC, CD | 1000 | 2 | - | - | - | 1 | 400 | - | - | 1 | 400 |
| 19 | Трансформаторы СУЗ | 400 | 2 | - | - | - | 1 | 400 | - | - | 1 | 400 |
| 20 | Трансформаторы 6/0,4 кВ, секции общ.АБП | 1000 | 1 | - | - | - | - | - | 1 | 1000 | - | - |
| 21 | Секции 6 кВ BE, BG | 1250/8150 | 2 | - | - | - | 1 | 8250 | - | - | 1 | 8250 |
| Итого на секцию | 31195 | 34185 | 30845 | 33440 |
| Расчётная нагрузка на секцию | 28075,5 | 30766,5 | 27760,5 | 30096 |
| Расчётная нагрузка на трансформатор | 58842 | 57856,5 |

Мощность 63000кВА; UВН = 24 кВ ; UНН = 6,3 – 6,3 кВ.

По условиям ограничения токов К.З. в сети собственных нужд трансформатор принят с расщепленной обмоткой низкого напряжения.

Применение трансформаторов меньшей мощности невозможно т.к. перенагрузка трансформаторов собственных нужд недопустима.

Таблица 2.7

Данные трансформатора ТРДНС-63000/35

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Sном, МВ·А | Напряжение обмотки, кВ | PХ.Х. | PК.З. | Uкз, % | Iхх, % |
| ВН | НН |
| ТРДНС-63000/35 | 63 | 36,75 | 6,3-6,3 | 44 | 250 | 12,7 | 0,45 |

По условиям ограничения токов к.з. в сети собственных нужд принят к установке трансформатор с расщеплённой обмоткой низкого напряжения. Применение трансформаторов меньшей мощности не возможно, так как перегрузка трансформаторов собственных нужд не допустима.

###

### 2.2.4 Выбор резервных трансформаторов собственных нужд 330/6,3-6,3 кВ

В зависимости от числа блоков генератор-трансформатор и наличия генераторных выключателей регламентируется число резервных трансформаторов собственных нужд. Согласно /5/ при числе блоков равным четырём и наличии генераторных выключателей принимаем два резервных трансформатора собственных нужд.

Принимаем к установке трансформатор типа ТРДНЦ – 63000/330, трёхфазный с расщеплённой обмоткой нижнего напряжения, с устройством РПН.

Каталожные и технические данные трансформатора ТРДНЦ – 63000/330 сведены в таблицу 2.8

Таблица 2.8

Данные трансформатора ТРДНЦ – 63000/330

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Sном, МВ·А | Напряжение обмотки, кВ | Pх.х. | Pк.з. | Uкз, % | Iхх, % |
| ВН | НН |
| ТРДНЦ-63000/330 | 63 | 330 | 6,3-6,3 | 100 | 230 | 11 | 0,8 |

##

## 2.3 Расчет самозапуска электродвигателей собственных нужд на 6 кВ блока

###

### 2.3.1 Основные положения

Под самозапуском понимают процесс автоматического восстановления нормального режима работы электродвигателей механизмов собственных нужд после кратковременного нарушения электроснабжения, вызванного исчезновением или глубоким снижением питающего напряжения. Кратковременный перерыв питания электродвигателей наблюдается при отключении рабочего питания и переходе на резервный источник. Кратковременное глубокое понижение напряжения возникает при близких кз к системе собственных нужд электростанции.

После отключения питания или глубокой посадки напряжения происходит снижение частоты вращения электродвигателей под действием момента сопротивления. При чем этот процесс можно разделить на несколько стадий:

* в первый момент исчезновения напряжения наблюдается групповой выбег агрегатов с.н., при котором из-за их взаимного влияния частота вращения снижается с одинаковой скоростью;
* в дальнейшем в соответствии с механическими характеристиками происходит индивидуальный выбег агрегатов собственных нужд.

При подаче напряжения питания осуществляется режим собственно самозапуска электродвигателей, когда частота вращения возрастает, самозапуск будет успешным, если агрегаты собственных нужд, участвующие в этом режиме, развернутся до рабочей частоты вращения за допустимое время.

Успешность самозапуска зависит от времени перерыва питания, параметров питающей сети, суммарной мощности не отключенных электродвигателей и их загрузки, механических характеристик механизмов и других факторов.

###

### 2.3.2 Расчетные и допустимые условия режима самозапуска

При расчетах режима самозапуска электродвигателей механизмов собственных нужд должны использоваться конкретные данные и реальные режимы работы оборудования

Время перерыва питания собственных нужд для АЭС выбирается, как правило, равным:

• 0,7 сек - при отключении рабочего источника питания действием быстродействующей релейной защиты или в случае ошибочного отключения его оперативным персоналом,

• 1,5 сек - при отключении рабочего источника действием его максимальной токовой защиты,

• 2,0 сек - при отключении трансформатора с.н., имеющего на стороне низкого напряжения две и более обмоток, действием максимальной токовой защиты установленной на стороне высокого напряжения

Продолжительность самозапуска, как правило, не должна превышать для блочных электростанций с турбогенераторами мощностью 160МВт и более, а к таковым относятся АЭС, 20 секунд. Эта величина определяется условиями сохранения технологического режима блока.

Неуспешность самозапуска механизмов собственных нужд сопровождается срабатыванием технологических защит из-за снижения от нормируемых значений технологических параметров: расхода в 1 и 2 контурах, давления во втором контуре, расхода циркуляционной воды в конденсаторах турбины, давления масла в системах смазки турбин, генератора, питательного насоса, ГЦН и т.д.

В проектах электростанций выявление успешности самозапуска электродвигателей напряжением 6 кВ осуществляется по методу связанному с определением начального напряжения на выводах электродвигателей в первый момент собственно режима самозапуска. Принимается, что самозапуск будет успешным, если начальное напряжение на электродвигателях после включения резервного источника питания составит не менее 0.6-0,65Uном.

Если в результате расчета оказалось, что начальное напряжение ниже минимально допустимого, то необходимо провести расчет успешности самозапуска, с привлечением более точных методов.

Для обеспечения успешности самозапуска электродвигателей с.н. рекомендуется в качестве дополнительных мер:

• отключение электродвигателей неответственных механизмов собственных нужд:

• выбор повышенного напряжения на низкой стороне ТСН (I.IUnoм);

• снижение напряжения к.з. ТСН;

• использование устройства форсировки напряжения на период самозапуска.

Для АЭС с реакторами ВВЭР-1000 определены наиболее вероятные режимы самозапуска от резервного трансформатора собственных нужд:

* самозапуск АД одной секции в результате автоматического включения резерва от ложного отключения выключателя рабочего ввода питания собственных нужд,
* самозапуск одновременно с четырех секций в результате отключения энергоблока и посадки стопорных клапанов турбины.

При этом РТСН или ПРТСН может иметь предвключенную нагрузку.

Самозапуск АД одновременно трех секций может быть лишь в случае отказа во включении одного из выключателей резервного питания при АВР одновременно четырех секций Этот случай не является расчетным.

Самозапуск одновременно с двух секций маловероятен поскольку исключается возможность ложного отключения одновременно двух выключателей рабочего питания, а повреждение в трансформаторе рабочего питания с.н приводит к отключению энергоблока и самозапуску 4 секций.

По окончании самозапуска электродвигателей одной секции должен быть восстановлен нормальный режим работы блока

По окончании самозапуска электродвигателей 4 - х секций, должно восстанавливаться напряжение на шинах собственных нужд для обеспечения нормального останова блока. Для обеспечения успешного самозапуска в тяжелых режимах, на АЭС предусматривается отключение некоторых электродвигателей. Отключению подлежат наиболее крупные электродвигатели, не влияющие на технологический режим работы блока. Отключение, участвующих в самозапуске, механизмов производится от групповой защиты минимального напряжения с временем 2 ступени (3...9 сек) при напряжении 0.5Uном и ниже.

Проектными организациями определен перечень механизмов с.н. блока АЭС, участвующих в самозапуске. В этом перечне определена группа механизмов, подлежащих отключению для облегчения самозапуска при его затягивании. Рассмотрим основные механизмы этого перечня:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| п/п | Название механизма | Кол-во | S, кВт | Примечание |
| 1 | Циркуляционный насос (градирня) | 1 | 4000 | Отключение от защиты минимального напряжения не предусматривается |
| 2 | Циркуляционный насос конденсатора (двухскоростной) | 1 | 2500/4000 |
|
|
| 3 | ГЦН | 1 | 8000 | защиты с временем 2-ой ступени 0,5ном и ниже (3÷9 сек) |

### 2.3.3 Расчет начального напряжения режима самозапуска

Расчет выполнен в математическом редакторе "Mathcad-8"

Номинальное напряжение

Кратность пускового тока

Мощность

Коэффициент мощности

Проводимость

Tрансформатор СН:



Tрансформатор блочный 330 кВ:



Tрансформатор блочный 750 кВ:



Расчет показывает, что самозапуск электродвигателей будет успешным (Usz > 0,6Un)

Размерность величин, используемых при расчете:

Мощность Вт

ТокА

СопротивлениеОм

НапряжениеВ

Проводимость1/Ом

## 2.4 Расчет токов КЗ на шинах собственных нужд

При коротком замыкании (к.з.) в системе собственных нужд существенное влияние на характер процесса и значение тока оказывают группы электродвигателей включённых вблизи места повреждения.

Для привода механизмов собственных нужд применяются в основном асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. При близком коротком замыкании напряжение на выводах двигателей оказывается меньше их ЭДС. Электродвигатели переходят в режим генератора, посылающего ток в место повреждения.

###

### 2.4.1 Расчёт токов короткого замыкания в сети 6 кВ

Расчёт токов к.з. на сборных шинах 6 кВ ведём по программе GTCURR разработанной кафедрой электрических станций МЭИ.

Производим расчёт токов к.з. для всех возможных схем питания потребителей собственных нужд.

а) Питание секций собственных нужд от трансформатора собственных нужд;

б) Питание секций собственных нужд от резервных трансформаторов собственных нужд;

###

### 2.4.2 Расчёт токов короткого замыкания в сети 0,4 кВ

В расчёте токов к.з. в электрических сетях до 1000 В необходимо учитывать активные сопротивления цепи, а именно активные сопротивления токовых обмоток автоматических выключателей, контактов коммутационной аппаратуры и т.д.

**1**

**2**

**22**

**3**

**4**

**9**

**5**

**6**

**10**

**11**

**7**

**8**

**13**

**14**

**15**

**21**

**12**

**19**

**16**

**17**

**18**

**23**

**20**

G

S

**К1**

**К2**

К3

**К4**

**К5**

**К6**

**К7**

**К8**

**К9**

**К10**

**К11**

Рис. 2.5 Расчётная схема, питание секции собственных нужд от ТСН

в) Питание секций собственных нужд от дизель-генераторов.

**1**

**2**

**3**

**8**

**9**

**4**

**5**

**10**

**11**

**6**

**7**

**15**

**12**

**20**

**13**

**16**

**14**

**17**

**18**

**19**

**S**

**К1**

**К2**

**К3**

**К4**

**К5**

**К6**

**К7**

**К8**

**К9**

**К10**

**К11**

**21**

Рис. 2.6 Расчётная схема, питание секции собственных нужд от РТСН

**G**

**G**

**G**

**1**

**2**

**3**

**4**

**5**

**6**

**7**

**8**

**9**

**10**

**11**

**К1**

**К2**

**К3**

**К4**

Рис. 2.7 Расчётная схема, питание секции собственных нужд от дизель генератора.

Активное сопротивление оказывает влияние на апериодическую составляющую токов к.з.

Произведём расчёт токов к.з. на шинах секции CV01.

Щит освещения

Сборки РТЗО

## D

## ТСЗС 1000/10

SТ.ном = 1000 кВ·А

**Uk = 8%**

Секция CА, 0,4 кВ

КЗ

Рис.2.8 Расчётная схема расчёта токов к.з. на сборных шинах секции 0,4 кВ, секции CА.

Сопротивление элементов схемы:

Активное сопротивление трансформатора



где ΔPк – потери к.з. в трансформаторе;

Sном.Т – номинальная мощность трансформатора.



Индуктивное сопротивление трансформатора:



Сопротивление трансформатора:



где x\* - относительное сопротивление элемента;

Uном – номинальное напряжение элемента;

Sном – номинальная мощность элемента.

мОм;мОм

Сопротивление шин находим при среднегеометрическом расстоянии между фазами:



Переходное сопротивление контактов рубильника определим по /7 таб.5-12/, rр = 0,06

Схема замещения цепи для расчёта к.з. в точке состоит из ряда последовательно включённых сопротивлений, суммарное сопротивление цепи составляет:



Ток короткого замыкания:



где Uс.ном – номинальное напряжение сети.

Определим ударный ток к.з. от удалённого турбогенератора,

при xΣ/rΣ = 14,68/3,236 = 4,536.

Ударный коэффициент – kуд = 1,52.

Тогда ударный ток в точке к.з. от генератора составит:



Определим ударный ток к.з. с учётом электродвигателей 0,4 кВ. Сопротивления элементов цепи от электродвигателей до точки к.з. на шинах не учитываются, номинальный ток двигателей:



где ΣP – суммарная мощность электродвигателей получающих питание от данной секции (), согласно таблицы № Х, ΣP = 610 кВт;

kпд – коэффициент полезного действия электродвигателей, равный 0,94;

cos φ – коэффициент мощности электродвигателей, равный 0,91.



суммарное значение ударного тока к.з. с учётом электродвигателей:



Таблица 2.9

Расчёт токов к.з. на сборных шинах секций 0,4 кВ блока

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| п/п | Оперативное наименование секций 0,4 кВ | Ток трёхфазного короткого замыкания, Iк, кА | Ударный ток к.з., iуд, кА |
| 1 | Секция CA | 14,8 | 37,5 |
| 2 | Секция CB | 14,8 | 37,5 |
| 3 | Секция CM | 13,5 | 35,1 |
| 4 | Секция CN | 13,5 | 35,1 |
| 5 | Секция CV01 | 15,4 | 39,59 |
| 6 | Секция CW01 | 14,7 | 38,2 |
| 7 | Секция CX01 | 15,3 | 39,8 |
| 8 | Секция CC | 14,8 | 38,5 |
| 9 | Секция CD | 14,6 | 37,9 |
| 10 | Секция CR | 14,8 | 38,5 |
| 11 | Секция CE | 13,7 | 35,6 |
| 12 | Секция CF | 13,6 | 35,4 |
| 13 | Секция CP–1 | 14,9 | 38,8 |
| 14 | Секция CP–2 | 14,0 | 36,4 |
| 15 | Секция CQ–1 | 14,5 | 37,7 |
| 16 | Секция CQ–2 | 14,7 | 38,2 |
| 17 | Секция CT–1 | 14,8 | 38,5 |
| 18 | Секция CT–2 | 15,1 | 39,3 |
| 19 | Секция CU01–05 | 7,4 | 19,2 |
| 20 | Секция CV02 | 15,6 | 40,6 |
| 21 | Секция CW02 | 15,9 | 41,3 |
| 22 | Секция CX02 | 15,8 | 41,1 |
| 23 | Секция CG | 6,9 | 17,9 |
| 24 | Секция CJ01 | 15,6 | 40,6 |
| 25 | Секция CK01 | 15,7 | 40,8 |
| 26 | Секция CJ02 | 15,6 | 40,6 |
| 27 | Секция CK02 | 15,7 | 40,8 |

##

## 2.5 Выбор электрических аппаратов и токоведущих частей РУ собственных нужд

Все элементы распределительного устройства электрической станции должны надёжно работать в условиях длительных нормальных режимов, а также обладать достаточной термической и динамической стойкостью при возникновении самых тяжёлых коротких замыканий.

###

### 2.5.1 Элементы КРУ 6 кВ

Выключатели являются основным коммутационным аппаратом и служат для отключения и включения цепей в различных режимах работы.

Для электроснабжения потребителей 6 кВ собственных нужд выбираем к установке комплектные распределительные устройства (КРУ) серии КЭ–6.

Расчёты по выбору КРУ представлены в таблице № Х, КРУ серии КЭ–6 выполнено в виде отдельных металлических шкафов, состоящих из трёх основных частей: каркас, выдвижная тележка с выключателем, релейный шкаф КРУ укомплектованы выкатными элементами.

Для питания цепей защиты минимального напряжения, МТЗ с блокировкой по напряжению, схемы АВР секций 6 кВ, на каждой секции 6 кВ установлены трансформаторы напряжения типа НОЛ 08–6. Для питания цепей защит и блокировок ГЦН установлены трансформаторы напряжения типа ЗНОЛ 0.6. Заземляющие ножи установлены в ячейке КЭ–6.

###

### 2.5.2 Расчётные условия для выбора проводников и аппаратов по продолжительным режимам работы

Продолжительный режим работы электротехнического устройства – это режим, продолжающийся не менее, чем необходимо для достижения установившейся температуры его частей при неизменной температуре охлаждающей среды.

Наиболее тяжёлыми продолжительными режимами являются:

* Ремонтный режим – это режим плановых профилактических и капитальных ремонтов. В ремонтном режиме часть элементов электроустановки отключена, поэтому на оставшиеся в работе элементы ложится повышенная нагрузка.
* Послеаварийный режим – это режим, в котором часть элементов электроустановки вышла из строя или выведена в ремонт в следствии аварийного отключения. При этом режиме возможна перегрузка оставшихся в работе элементов электроустановки током.

Расчётные токи продолжительных режимов секций, непосредственно питающихся от ТСН, РТСН определяем по формуле:



Токи продолжительных режимов других секций определяем по формуле:



Для секций, где возможен ввод питания от дизель-генератора:



где Pном.г – номинальная активная мощность дизель-генератора;

0,95 – коэффициент учитывающий возможность работы генератора при снижении напряжения на 5 %.

###

### 2.5.3 Выбор КРУ-6 кВ

Таблица 2.10

Выбор КРУ – 6 кВ (система сборных шин одинарная с неразделёнными фазами и отпайками).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| п/п | Оперативное наименование секции для которой выбирается КРУ | Координаты расчётной точки к.з. | Тип КРУ, каталожные данные | Параметры |
| Номинальное напряжение | Длительный номинальный ток | Электродинамическая стойкость | Термическая стойкость |
| Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные |
| № схемы | № точки к.з. | Uуст | Uном | Iдл.н. | Iном | iуд | Iдин | Bк |  |
| Uуст ≤ Uном | Iдл.н. ≤ Iном | iуд ≤ Iдин | Bк ≤ |
| кВ | кА | кА | кА2∙с |
| 1 | BA,(BB,BC, BD,BL,BM, BP,BN) | 2.3.2 | K1-K4 | КЭ-6 | 6 | 6 | 2886 | 3200 | 91,59 | 128 | 1408 | 31,52∙3 = 2577 |
| 2 | BV, (BW, BX, BJ, BK) | 2.3.2 | К5-К7, К9-К10 | КЭ-6 | 6 | 6 | 675,5 | 2000 | 50,94 | 128 | 590,5 | 31,52∙3 = 2577 |
| 3 | BE, (BF, BG, BH) | 2.3.2 | К8,К11 | КЭ-6 | 6 | 6 | 1360 | 2000 | 48,26 | 81 | 600,6 | 31,52∙3 = 2577 |
| 4 | BZ01, (BZ02-05) | 2.3.3 | К1-К4 | КЭ-6 | 6 | 6 | 675,5 | 2000 | 18,76 | 81 | 56,2 | 31,52∙3 = 2577 |

### 2.5.4 Выбор выключателей КРУ-6 кВ

Выбор выключателей КРУ-6 кВ. Таблица 2.11

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| п/п | Оперативное наименование секции 6 кВ, для которой выбираются аппараты | Координаты точки к.з. | Назначение аппарата | Тип аппарата, каталожные данные | Параметры |
| Номинальное напряжение | Длительный номинальный ток | Симметричный ток отключения | Отключение апериодической составляющей | Включаю-щая способность | Электродинамическая стойкость | Термическая стойкость |
| № схемы | № точки к.з. | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные |
| Uуст | Uном | Iдл.н. | Iном | iуд | Iдин |  | βном | Iпо | iвкл.ном | iуд | Iдин | Bк |  |
| Uуст ≤ Uном | Iдл.н. ≤ Iном | iуд ≤ Iдин | β ≤ βном | Iпо ≤ iвкл.ном | iуд ≤ Iдин | Bк ≤  |
| кВ | А | кА | % | кА | кА | кА2∙с |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 1 | BA | 2.3.2 | K1 | Выключатель рабочего и резервного ввода | VD-4,3150/31.5 | 6 | 6 | 2886 | 3150 | 30,47 | 31,5 | 29,8 | 38 | 35,57 | 80,2 | 93,3 | 100 | 1401 | 31,52 ∙3 = 2977 |
| 2 | BB | 2.3.2 | K2 | Выключатель рабочего и резервного ввода | VD-4,3150/31.5 | 6 | 6 | 2886 | 3150 | 29,89 | 31,5 | 29,5 | 38 | 34,54 | 80,2 | 89,05 | 100 | 1408 | 31,52 ∙3 = 2977 |
| 3 | BC | 2.3.2 | K3 | Выключатель рабочего и резервного ввода | VD-4,3150/31.5 | 6 | 6 | 2886 | 3150 | 29,06 | 31,5 | 30,9 | 38 | 36,24 | 80,2 | 93,29 | 100 | 1353 | 31,52 ∙3 = 2977 |

### 2.5.5 Выбор измерительных трансформаторов

Измерительные трансформаторы предназначены для уменьшения первичных токов и напряжений до значений, наиболее удобных для подключения измерительных приборов, реле защиты, устройств автоматики.

###### Трансформаторы напряжения.

Расчёт вторичной нагрузки трансформаторов напряжения представлены в таблице № Х. Перечень необходимых измерительных приборов составлен в соответствии с рекомендациями /6, стр.177/. Согласно /1/ щитовые показывающие и регистрирующие приборы должны иметь класс точности не ниже 2,5, а счётчики 0,5.

Выбираем трансформатор напряжения НОЛ 08-6, технические и каталожные данные сведены в таблицу 2.12

Таблица 2.12

Технические и каталожные данные трансформатора напряжения НОЛ 08-6

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Класс напряжения, кВ | Номинальное напряжение обмоток, В | Номинальная мощность, В∙А, в классе точности | Максимальная мощность,В∙А |
|
| Первичной | Основной вторичной | Дополнительной вторичной | 0,5 | 1 | 3 |
| НОЛ 08-6 | 6 | 6 | 100 | — | 50 | 75 | 200 | 400 |

Сравнивая данные расчётов и номинальные данные вторичной нагрузки НОЛ 08-6 можно сделать вывод, что принятые трансформаторы напряжения будут работать в выбранном классе точности.

Количество трансформаторов напряжения на секцию принимаем в соответствии с необходимостью полного и надёжного выполнения объёма защит.

###### Трансформаторы тока

Вторичная нагрузка трансформаторов тока состоит из сопротивления проводов переходного сопротивления контактов.

Перечень необходимых приборов выбран по /6/. Согласно справочным данным приняты к установке трансформаторы тока внутренней установки типа ТВЛМ-6. Технические и каталожные данные трансформатора тока сведены в таблицу 2.14

Таблица 2.14

Технические и каталожные данные трансформатора тока ТВЛМ-6

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | Номинальное напряжение, кВ | Наибольшее рабочее напряжение, кВ | Номинальный ток, А | Электродинамическая стойкость, кА | Термическая стойкость, кА/допустимое время, с |
| Первичный | Вторичный |
| ТВЛМ-6 | 6 | 7,2 | 10-400 | 5 | 3,5-52 | 0,64/1-20,5/1 |

Для проверки трансформаторов тока по вторичной нагрузке, пользуясь каталожными данными приборов, определяем нагрузку по фазам для наиболее загруженного трансформатора (таблица № Х.)

Сопротивление приборов:



где ∑Sприб – суммарная нагрузка приборов;

I2 – вторичный номинальный ток приборов, I2 = 5 А.

Сопротивление вторичной нагрузки трансформатора тока:



где rконт –переходное сопротивления контактов приборов, (при числе приборов более 3х , rконт = 0,1 Ом);

rпров – сопротивление проводов.



где ρ – удельное сопротивление материала провода, (для проводов с медными жилами ρ = 0,0175):

lрасч – 60 м, ориентировочная длина проводов;

g –сечение жил, (g = 4 мм2)



Выбор трансформаторов тока секций и вводов 6 кВ Таблица 2.16

###

### 2.5.6 Выбор токоведущих частей в цепи трансформатора ТРДНС-63000/35

Выбираем комплектный пофазно-экранированный токопровод.

Таблица 2.17

Выбор комплектного пофазно-экранированного токопровода.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип токопровода | Координаты точки к.з. | Условия выбора | Параметры |
| № схемы | № точки | Расчётные данные | Каталожные данные |
| ТКЗП 6/3200-125 | 2.3.2 | К3 | Uсети ≤ UномIдл.ном ≤ Iномiуд ≤ i | Uсети =6 кВIдл.ном = 2886 Аi уд = 94,9 кА | Uном = 6 кВIном = 3200 Аi дин = 125 кА |

### 2.5.7 Выбор кабелей 6 кВ

Кабели, питающие потребителей 6 кВ собственных нужд АЭС, прокладываются в кабельных полуэтажах и кабельных шахтах. Чтобы обеспечить пожарную безопасность в производственных помещениях АЭС, рекомендуется применять кабели, у которых изоляция, оболочка и покрытия выполнены из не воспламеняющих материалов.

Для указанных способов прокладки с учётом требований пожарной безопасности, для питания трансформаторов 6/0,4 кВ применяют кабель ААБнлГ, секций 6 кВ применяют кабель ЦААБнГ.

###### Выбор кабеля 6 кВ питания трансформаторов секции CV01 (BU05).

Кабель марки ААБнлГ, трёхжильный. Определим номинальный ток трансформатора:



Определим экономическое сечение:



где jэ – нормированная плотность тока для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами, согласно /6/.

Принимаем трёхжильный кабель 3×70 мм2, Iдоп = 135 А. Поправочный коэффициент на температуру воздуха k = 0,93.

Тогда длительно допустимый ток на кабель составит:



Проверка по термической стойкости кабеля:

Номинальное сечение по термической стойкости определим по формуле:



где Bk – тепловой импульс тока к.з.

c = 92, согласно /6 табл.3.14/, для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами.

Вывод для прокладки выбираем кабель сечением 150 мм2.

Выбор кабелей питающих остальные трансформаторы 6/0,4 кВ и секций 6 кВ аналогичен. Расчёт сведён в таблицу.

Таблица 2.18

Выбор кабелей, питающих трансформаторы 6/0,4 кВ и секции 6 кВ.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Питаемые секции 6 кВ и трансформаторы 6/0,4 кВ | Тип кабеля | Номинальный ток, А | Выбор сечения кабеля |
| Экономическое сечение жилы, мм2 | Термическая стойкость, мм2 |
| 1 | BL, BM, BP, BN | ЦААБнГ-5(3×240) | 2886 | 5×240 | 121 |
| 2 | BJ, BK | ЦААБнГ-3(3×240) | 585 | 3×139 | 134 |
| 3 | BE, BG | ЦААБнГ-4(3×240) | 1360 | 4×240 | 125 |
| 4 | BJ↔BK | ЦААБнГ-3(3×240) | 302 | 3×216 | 142 |
| 5 | BY,BW,BX,BJ,BK↔BZ01-05 | ЦААБнГ-3(3×240) | 675 | 3×161 | 142 |
| Секции 0,4 кВ питающиеся от трансформаторов мощностью 1000 кВ·А |
| 6 | CA, CP | ААБнГ 3×150 | 96,2 | 68,7 | 121 |
| 7 | CB, CQ, CT, CC | ААБнГ 3×150 | 96,2 | 68,7 | 121 |
| 8 | CM, CR | ААБнГ 3×150 | 96,2 | 68,7 | 116 |
| 9 | CN, CD, CG | ААБнГ 3×150 | 96,2 | 68,7 | 117 |
| 10 | CJ, CK, CU04-05 | ААБнГ 3×150 | 96,2 | 68,7 | 145 |
| Секции 0,4 кВ питающиеся от трансформаторов мощностью 250 кВ·А |  |
| 11 | АБП УВС, АБП общеблочное | ААБнГ 3×150 | 24,1 | 17,2 | 119 |

### 2.5.8 Выбор элементов КРУ 0,4 кВ

Для снабжения потребителей 0,4 кВ применяем комплектные трансформаторные подстанции типа КТПсн. КТП данного типа выполняются с двусторонним обслуживанием и состоят из силовых и релейных ячеек. В силовые ячейки устанавливаются выдвижные автоматические выключатели. В релейные ячейки устанавливаются выдвижные блоки со смонтированной на них аппаратурой.

Конструкции шкафов предусматривают:

1. в шкафах вводов питания, секционных, установку выключателей или разъединителей и релейных блоков;
2. в шкафах линий возможность набора выключателей типа А3700, ВА-50 и релейных блоков в различных вариантах;
3. взаимозаменяемость однотипных блоков.

###### Выбор сборных шин КТПСН 0,4 кВ.

Выбор шин по длительно допустимому току:

Длительно допустимый ток для прямоугольных шин определим по формуле:



принимаем к установке алюминиевые шины размером 80×10 мм (Iдоп = 2410 А).

Проверим принятые размеры по термической стойкости.



где Bk – тепловой импульс;

с – коэффициент, равный с = 88.



Условие термической стойкости выполнено.

Электродинамическая стойкость шин.



Шкафы вводов питания и секционные шкафы комплектуем выключателями серии «электрон», предназначенными для установки в цепях с номинальным напряжением переменного тока до 660 В частотой 50 Гц. В качестве примера приводим расчёты по выбору выключателя рабочего (резервного) питания секции 0,4 кВ нормальной эксплуатации CA.

Таблица 2.19

Выбор выключателей рабочего (резервного) ввода секции CA.

|  |  |
| --- | --- |
| Тип выключателя | Параметры |
| Номинальное напряжение | Длительный номинальный ток | Динамическая стойкость | Отключающая способность |
| Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные |
| Uуст | Uном | Iдл.н. | Iном | i уд | Iдин | Iпо | Iоткл |
| Uуст ≤ Uном | Iдл.н. ≤ Iном | i уд ≤ Iдин | Iпо ≤ Iоткл |
| кВ | А | кА | кА |
| Э16 В | 0,4 | 0,4 | 1443 | 1600 | 14,8 | 40 | 38,5 | 84 |

Ввод питания на секции 2-категории 0,4 кВ систем безопасности и секции компенсаторов объёма выполняется рубильником исходя из условий необходимой надёжности питания секций данных потребителей.

Таблица 2.20

Выбор рубильника ввода питания на секции систем безопасности.

|  |  |
| --- | --- |
| Тип рубильника | Параметры |
| Номинальное напряжение | Длительный номинальный ток | Динамическая стойкость | Термическая стойкость |
| Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные | Расчётные данные | Каталожные данные |
| Uуст | Uном | Iдл.н. | Iном | i уд | Iдин | Iпо |  |
| Uуст ≤ Uном | Iдл.н. ≤ Iном | i уд ≤ Iдин | Iпо ≤  |
| кВ | А | кА | кА2·с |
| Р-2315 | 0,4 | 0,4 | 1443 | 1600 | 40,3 | 50 | 48 | 900 |

# 3. Определение мощности дизель-генераторов систем надежного питания

##

## 3.1 Определение мощности дизель-генераторов систем надежного питания

Мощность дизель-генератора при ступенчатом пуске асинхронной нагрузки выбирают по мощности, потребляемой (Рпотр i) электродвигателями, подключенными к секции надежного питания, и возрастающей с пуском очередной ступени. Должно выполняться условие

 (3.1)

где nст – число ступеней пуска; Рн дг – номинальная нагрузка дизель-генератора.

Значение Рпотр определяется по номинальной мощности двигателя Рдв н, его коэффициенту загрузки и КПД

 (3.2)

По формулам (3.1), (3.2) определяются мощности, потребляемые двигателями по завершении операции пуска соответствующей ступени. В то же время в процессе пуска очереди, в особенности при прохождении отдельными электродвигателями критического скольжения, величина нагрузки на дизель-генератор может кратковременно увеличиться по сравнению с установившимся режимом. Для дизелей существуют заводские характеристики допустимых предельных нагрузок.

Определение нагрузки в процессе пуска асинхронных двигателей представляет сложную и трудоемкую задачу. Пусковую мощность двигателя можно оценить на основе мощности, потребляемой в установившемся номинальном режиме , коэффициентов мощности номинального режима , при пуске  и кратности пускового тока К i

 (3.3)

Тогда пусковая мощность на каждой из ступеней пуска определяется как сумма мощностей, потребляемых в установившемся режиме ранее запущенными двигателями, и пусковой мощности двигателей, запускаемых в данной ступени. Должно выполняться условие

 (3.4)

где Рдоп дг – нагрузка, допускаемая на дизель-генератор в переходном процессе, как правило, Рдоп дгРн дг.

Значение cos ϕпуск определяется из формулы

 (3.5)

где Кп – кратность пускового момента.

Следует отметить, что пусковая мощность, определяемая по формуле (3.3), является величиной условной, так как в процессе пуска напряжение снижается.

Расчет мощности дизель-генератора целесообразно вести в табличной форме. Пример расчета приведен в таблице 3.1.

Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Очередность пуска | Механизм | Рдв нкВт | РпотркВт | Cos ϕном | РпусккВт | Установившаяся мощность ступени | Пусковая мощность++ Рпуск j |
| 1 | Эквивалентный трансформатор надеж. питания АБП. | 1000 | 800 | 0,3 | 1500 | 800 | 1500 |
| 2 | Эквивалентный трансформатор пит. нагрузки 0,4кВ | 1000 | 800 | 0,3 | 1500 | 1600 | 3000 |
| 3 | Эквивалентный трансформатор пит. нагрузки 0,4кВ | 1000 | 800 | 0,3 | 1500 | 2400 | 4500 |
| 4 | Насос технической воды | 1250 | 1170 | 0,22 | 2080 | 3570 | 2880 |
| 5 | Насос аварийного впрыска бора | 800 | 560 | 0,3 | 1680 | 4130 | 4560 |
| 6 | Аварийный питательный насос | 800 | 560 | 0,3 | 1680 | 4690 | 6240 |
| 7 | Насос спринклерный реактора | 500 | 362 | 0,3 | 1006 | 5052 | 7246 |

Из таблицы 3.1 видно, что к установке может быть принят дизель-генератор номинальной мощностью Рн дг = 5600 кВт, допускающий перегрузку 6200 кВт в течении 1 часа.

## 3.2 Особенности определения мощности дизель генераторов систем надежного питания блоков с ВВЭР-1000

В соответствии с основной концепцией безопасности эксплуатации атомных электростанций на АЭС должны быть предусмотрены автономные системы безопасности в технологической части и соответственно автономные системы надежного питания, включающие в том числе и автономные источники питания – дизель генераторы. Требования к проектированию автономных систем надежного питания определяются ПРАВИЛАМИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВАРИЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ. Для блока с реактором ВВЭР-1000 число таких систем принято три. Основными потребителями этих систем являются электродвигатели механизмов, обеспечивающих расхолаживание реактора и локализацию аварии в аварийных различных режимах с полной потерей переменного тока (насосы системы аварийного охлаждения зоны, аварийные питательные насосы, спринклерные насосы и т.п.). В случае исчезновения напряжения на секции 6 кВ надежного питания второй группы или при появлении импульса по технологическому параметру характеризующему «большую» или «малую» течи в первом контуре или разрыв паропровода второго контура, питание на секции надежного питания подается от автоматически подключаемых к ним дизель генераторов. Каждая из этих систем надежного питания должна быть способна по мощности подключенных дизель-генераторов и составу механизмов обеспечить аварийное расхолаживание реактора при любом виде аварии. В таблице 3.2 приведен перечень механизмов, участвующих в ступенчатом пуске от дизель-генератора системы безопасности.

Таблица 3.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Очередностьпуска | Механизм | Рдв нкВт | Время включения |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | Трансформатор питания выпрямителя АБП канала безопасности | 1000 | 0 |
| 1 | Приток пневмокостюмов и система охлаждения | 7 | 0 |
| 2 | Насос подачи бора высокого давления | 55 | 5 |
| 2 | Насос аварийного впрыска бора | 800 | 5 |
| 2 | Насос аварийного расхолаживания | 800 | 5 |
| 3 | Насос технической воды ответственных потребителей (2 единицы) | 630 | 10 |
| 4 | Рециркуляционная система охлаждения бокса | 110 | 20 |
| 4 | Рециркуляционная система охлаждения центрального зала | 110 | 20 |
| 4 | Рециркуляционная система охлаждения шахты аппарата | 110 | 20 |
| 4 | Насос организованных протечек | 75 | 20 |
| 5 | Спринклерный насос | 500 | 30 |
| 5 | Насос промконтура | 110 | 30 |
| 6 | Аварийный питательный насос | 800 | 40 |

Коэффициент загрузки Кзгр механизмов из этой таблице целесообразно принять Кзгр= 0,7-0,8.

Вместе с тем, при проектировании схемы электроснабжения собственных нужд АЭС должно быть обеспечено надежное питание механизмов обеспечивающих сохранность основного оборудования машинного зала и реакторного отделения блока. Для решения этой задачи современные энергоблоки оснащаются системой надежного питания общеблочных потребителей. В качестве аварийных источников надежного питания общеблочных потребителей также используют дизель генераторы.

Таблица 3.3

Потребители общеблочных секций 6 кВ, BJ, BK.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Присоединения | Наименование | Нагрузка BJ | Нагрузка BK |
| 1 | Насос гидростатического подъёма ротора | SC91D | 315 | 315 |
| 2 | Подпиточный насос (вспомогательный) | RL51D | 800 | 800 |
| 3 | Подпиточный насос | TK21D | 800 | 800 |
| 4 | Насос водоснабжения РДЭС | VH10D | 250 | 250 |
| 5 | Трансформатор 6/04 кВ, неответственных потребителей CJ, CK | BU31 | 1000 | 1000 |
| 6 | Трансформатор 6/04 кВ, АБП (УВС) | BU17 | 250 | — |
| 7 | Трансформатор 6/04 кВ, АБП (общеблочный) | BU18 | — | 250 |
| 8 | Трансформатор 6/04 кВ, РДЭС | BU37 | 250 | — |
| ИТОГО: | 3298,5 кВ·А | 3075,5 кВ·А |

При обесточении одновременно двух общеблочных секций (BJ, BK) запускаются два дизель генератора (дизель генератор своего блока подключается к одной секции, дизель-генератор соседнего блока подключается через перемычку ко второй секции). В случае незапуска одного из этих генераторов или невключения соответствующего выключателя дизель генератора на одну из секций происходит включение выключателей перемычки между общеблочными секциями. Последний режим (один дизель-генератор на обе секции) принимается в качестве расчетного при выборе мощности общеблочных дизель-генераторов.

Мощность этого дизель генератора должна быть достаточна для включения ответственных общеблочных механизмов и механизмов машинного зала, обеспечивающих аварийное расхолаживание и останов основного оборудования блока. В таблице 3.4 приведен перечень механизмов, участвующих в ступенчатом пуске от общеблочного дизель генератора.

Таблица 3.4

Основные механизмы и этапы ступенчатого приема нагрузки на общеблочный дизель генератор

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Очередностьпуска | Механизм | Рдв нкВт |
| 1 | Трансформатор надежного питания выпрямительного устройства общеблочного АБП (2 единицы) | 1000 |
| 1 | Трансформатор надежного питания выпрямительного устройства УВС | 400 |
| 1 | Насос технической воды дизель-генератора | 250 |
| 1 | Охлаждение приводов СУЗ | 110 |
| 2 | Вспомогательный питательный насос | 800 |
| 3 | Предвключенный насос подпиточного агрегата | 55 |
| 3 | Масляный насос подпиточного агрегата | 15 |
| 4 | Подпиточный насос | 800 |

В настоящее время на АЭС с реакторами ВВЭР-1000 в качестве автономных источников питания потребителей 2 группы надежности используют автономные дизель-генераторные станции АСД-5600. АСД-5600 состоит из дизеля 78Г и синхронного генератора СБГД-6300-6МУ3. Генератор имеет следующие технические данные:

* номинальная активная мощность Рн = 5600 кВт;
* номинальное напряжение Uн = 6300 В;
* номинальный ток статора Iн = 723 А;
* номинальные обороты n = 1000 об/мин.

Генератор обеспечивает пуск асинхронных двигателей, вызывающих внезапное увеличение нагрузки до 150% с cos. Вместе с тем, генератор в любом тепловом состоянии обеспечивает длительные перегрузки: 10% - 1час, 25% - 15 минут, 50% - 2 минуты.

# 4. Расчет токов короткого замыкания и выбор высоковольтного оборудования и токоведущих частей главной схемы

##

## 4.1 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов к.з. производится для выбора или проверки параметров электрооборудования, а также для выбора или проверки уставок релейной защиты и автоматики.

Рассматривать будем первую задачу, где достаточно уметь определять ток к.з., подтекающий к месту повреждения, а в некоторых случаях также распределение токов в ветвях схемы, непосредственно примыкающих к нему. При этом основная цель расчета состоит в определении периодической составляющей тока к.з. для наиболее тяжелого режима работы сети. Учет апериодической составляющей производят приближенно, допуская при этом, что она имеет максимальное значение в рассматриваемой фазе. Допущения, упрощающие расчеты, приводят к некоторому преувеличению токов к.з. (погрешность практических методов расчета не превышает 10%), что принято считать допустимым.

Расчет токов при трехфазном к.з. выполняется в следующем порядке:

а) составляется расчетная схема;

б) по расчетной схеме составляется электрическая схема замещения;

в) путем постепенного преобразования приводят схему замещения к наиболее простому виду так, чтобы каждый источник питания или группа источников, характеризующая определенным значениям результирующей ЭДС Е``, были связаны с точкой к.з. одним результирующим сопротивлением Хрез;

г) определяется начальное значение периодической составляющей тока к.з. Iн.о., затем ударный ток и, при необходимости, периодическую и апериодическую составляющие тока для заданного момента времени t.

Расчет токов короткого замыкания для АЭС производим на ЭВМ с помощью программы, разработанной в МЭИ г. Москва.

Расчетная схема которой приведена на рис.

##

## 4.2 Выбор высоковольтного оборудования и токоведущих частей главной схемы

для надежного электроснабжения потребителей высоковольтная аппаратура и токоведущие части распределительных устройств выбирают так, чтобы они обладали:

* электрической прочностью (способность длительно выдерживать максимальное рабочее напряжение и противостоять кратковременным перенапряжениям);
* соответствующей нагрузочной способностью, благодаря которой протекание длительных (форсированных) токов нагрузки не вызывает их повреждения, ускоренного износа изоляции, недопустимого нагрева;
* термической стойкостью, т.е. способностью кратковременно противостоять термическому действию токов короткого замыкания, не перегреваясь сверх допустимых пределов;
* динамической стойкостью, заключающейся в наличии таких запасов механической прочности, при которых динамические усилия, возникающие между токоведущими частями при протекании по ним ударных токов короткого замыкания, не приводят к их повреждению, самоотключению контактов аппаратов;
* необходимой отключающей способностью (для выключателей высокого напряжения).

###

### 4.2.1 Выбор выключателей и разъединителей 750 кВ

Выбранный тип выключателей: ВНВ-750-4000-40

Выбранный тип разъединителей: РЛНД-750/4000

таблица № 4.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
| выкл | разъед |
| 1 | Род установки выключателя | открытый | открытый | открытый |  |
| 2 | Наличие и вид АПВ | требуется АПВ | доп. АПВ |  |  |
| 3 | Номинальное напряжение | UНС=750 кВ | UН=750 кВ | UН=500 кВ | UНС ≤ UН |
| 4 | Максимальное рабочее напряжение | UМС=787 кВ | UМ=787 кВ | UМ=525 кВ | UМС ≤ UМ |
| 5 | Длительный ток нагрузки при температуре окружающей среды Vокр.= 35 0С | IФ= 3503 А | IН= 4000 А | IН= 4000 А | IФ ≤ IН |
| 6 | Время отключения выключателя |  | tо= 0,04 с |  |  |
| 7 | Собственное время отключения выключателя |  | tс.о.= 0,06 с |  |  |
| 8 | Время срабатывания релейной защиты | tр.з.= 0,01 с |  |  |  |
| 9 | Время от возникновения к.з. до начала расхождения контактов выключателя | τ= tр.з.+ tс.о.= 0,01+0,06=0,07с |  |  |  |
| 10 | Действующее значение периодической составляющей симметричного к.з. в момент начала расхождения контактов выключателя | Iнτ= 18,05 кА | Iно= 40 кА |  | Iнτ ≤ Iно |
| 11 | Полный ток к.з. в момент размыкания контактов выключателя | iкт=47,08 кА | iк=63 кА |  |  |
| 12 | Тепловой импульс | Вк расч.= 241,66 кА2\*с | Вкгар.=1600 кА2\*с | Вкгар.=1600 кА2\*с | Вк расч ≤ Вк гар. |
| 13 | Ударный ток | iуд =54,37 кА | Iскв =63 кА | Iскв =160 кА | iуд ≤ iскв |

### 4.2.2 Выбор выключателей и разъединителей 330 кВ

Выбранный тип выключателей: ВНВ-330Б-3200-40У1

Выбранный тип разъединителей: РП-330Б-2/3200УХЛ1

таблица № 4.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
| выкл | разъед |
| 1 | Род установки выключателя | открытый | открытый | открытый |  |
| 2 | Наличие и вид АПВ | требуется АПВ | доп. АПВ |  |  |
| 3 | Номинальное напряжение | UНС=330 кВ | UН=330 кВ | UН=330 кВ | UНС ≤ UН |
| 4 | Максимальное рабочее напряжение | UМС=340 кВ | UМ=363 кВ | UМ=363 кВ | UМС ≤ UМ |
| 5 | Длительный ток нагрузки при температуре окружающей среды Vокр.= 35 0С | IФ= 700,5 А | IН= 3200 А | IН= 3200 А | IФ ≤ IН |
| 6 | Время отключения выключателя |  | tо= 0,04 с |  |  |
| 7 | Собственное время отключения выключателя |  | tс.о.= 0,06 с |  |  |
| 8 | Время срабатывания релейной защиты | tр.з.= 0,01 с |  |  |  |
| 9 | Время от возникновения к.з. до начала расхождения контактов выключателя | τ= tр.з.+ tс.о.= 0,01+0,06=0,07с |  |  |  |
| 10 | Действующее значение периодической составляющей симметричного к.з. в момент начала расхождения контактов выключателя | Iнτ= 24,46 кА | Iно= 40 кА |  | Iнτ ≤ Iно |
| 11 | Полный ток к.з. в момент размыкания контактов выключателя | iкт=58,09 кА |  |  |  |
| 12 | Тепловой импульс | Вк расч.= 344,88 кА2\*с |  |  | Вк расч ≤ Вк гар. |
| 13 | Ударный ток | iуд =64,34 кА |  |  | iуд ≤ iскв |

###

### 4.2.3 Выбор выключателя нагрузки

В генераторной цепи блока 1000 МВт между генератором и ответвлениями к рабочим трансформаторам собственных нужд (с.н.) устанавливаем комплекс агрегатный генераторный КАГ-24-30/30000 на напряжение 24 кВ и током отключения 30 кА.

Таблица № 4.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: КАГ-24-30/30000 |
| 1 | Номинальное напряжение | UНС=24 кВ | UН=24 кВ | UНС ≤ UН |
| 2 | Длительный ток нагрузки при t окруж.среды Vокр.=350С | Iфорс=26,8 кА | Iно = 30 кА | Iфорс ≤ Iно |
| 3 | Тепловой импульс | Вк расч= 54863.56 кА2с | Вк гар=I2ноtп=108300кА2с | Вк расч≤ Вк гар |
| 4 | Ударный ток | iуд = 570.02 кА |  | iуд ≤ iскв |

###

### 4.2.4 Выбор токопровода генератор-трансформатор (24 кВ)

таблица № 4.4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: ТЭН-500У1 |
| 1 | Номинальное напряжение | UНС=24 кВ | UН=24 кВ | UНС ≤ UН |
| 2 | Номинальный ток | IНг=26,8 кА | IНт= 30 кА | IНг ≤ IНт |
| 3 | Ударный ток | iуд =570.02 кА | iскв =570 кА | iуд ≤ iскв |
| Встроенные трансформаторы тока: ТШЛ-24Б-2000/5 |
| Встроенные трансформаторы напряжения: ЗНОМ-24; ЗОМ-1/24 |

###

### 4.2.5 Выбор трансформатора напряжения (750 кВ)

таблица № 4.5

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: НДЕ-750 |
| 1 | Род установки | открытое | открытое |  |
| 2 | Номинальная мощность в требуемом классе точности | Sн3= 500 ВА | Sн3= 600 ВА |  |
| 3 | Номинальное напряжение | UНС=500 кВ | UН=500 кВ | UНС ≤ UН |
| 4 | Класс точности | 1 | 1 |  |
| 5 | схема соединения | 1/1-0 | 1/1-0 |  |
| 6 | Вторичная нагрузка от генераторных приборов для наиболее нагруженной фазы |  |  |  |

##### Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

таблица № 4.6

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Тип | Мощность | Число катушек | Cosϕ | Sinϕ | Число провод. | Суммарная мощность |
| Р, мВт | Q,мВар |
| Вольтметр показывающий | Э-335 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2,0 | — |
| Ваттметр показывающий | Д-335 | 1,5 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3,0 | — |
| Варметр показывающий | Д-335 | 1,5 | 2 | 0 | 1 | 1 | — | 3,0 |
| Вольтметр регистрирующий | Н-348 | 10 | 2 | 1 | 0 | 1 | 20 | — |
| Варметр регистрирующий | Н-348 | 10 | 2 | 0 | 1 | 1 | — | 20 |
| Счетчик Вт-час-активной | И-675 | 3 | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 6 | 14,6 |
| Счетчик ВА-реактивной | И-673М | 3 | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 6 | 14,6 |
|  | ΣР=37 | ΣQ=52,2 |

### 4.2.6 Выбор трансформатора напряжения (330кв)

таблица № 4.7

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: НКФ-330 |
| 1 | Род установки | открытое | открытое |  |
| 2 | Номинальная мощность в требуемом классе точности | Sн3= 500 ВА |  |
| 3 | Номинальное напряжение | UНС=330 кВ | UН=330 кВ | UНС ≤ UН |
| 4 | Класс точности | 1 | 1 |  |
| 5 | схема соединения | 1/1-0 | 1/1-0 |  |
| 6 | Вторичная нагрузка от генераторных приборов для наиболее нагруженной фазы |  |  |  |

##### Вторичная нагрузка трансформатора напряжения

таблица № 4.8

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Тип | Мощность | Число катушек | Cosϕ | Sinϕ | Число провод. | Суммарная мощность |
| Р, мВт | Q,мВар |
| Вольтметр показывающий | Э-335 | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 2,0 | — |
| Ваттметр показывающий | Д-335 | 1,5 | 2 | 1 | 0 | 1 | 3,0 | — |
| Варметр показывающий | Д-335 | 1,5 | 2 | 0 | 1 | 1 | — | 3,0 |
| Вольтметр регистрирующий | Н-348 | 10 | 2 | 1 | 0 | 1 | 20 | — |
| Варметр регистрирующий | Н-348 | 10 | 2 | 0 | 1 | 1 | — | 20 |
| Счетчик Вт-час-активной | И-675 | 3 | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 6 | 14,6 |
| Счетчик ВА-реактивной | И-673М | 3 | 2 | 0,38 | 0,925 | 1 | 6 | 14,6 |
|  | ΣР=37 | ΣQ=52,2 |

###

### 4.2.7 Выбор трансформатора тока (750 Кв)

таблица № 4.9

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: ТРН-750У1 |
| 1 | Род установки | открытое | открытое |  |
| 2 | Номинальное напряжение | UНС=750 кВ | UН=750 кВ | UНС ≤ UН |
| 3 | Длительный первичный ток нагрузки | Iф=3503 А | I1Н=4кА | Iф ≤ I1Н |
| 4 | Вторичный ток | I2=1 А | I2Н=1 А | I2 = I2Н |
| 5 | Класс точности | 0,5Р | 0,5Р |  |
| 6 | Вторичная нагрузка | S2=15,6 ВА | S2Н=40 ВА | S2 ≤ S2Н |
| 7 | Сечение соединительных проводов | Sпр≈1,49 мм2, при-нимаем = 1,5 мм2 | Sв=2,5 мм2 | Sпр ≤ Sв= Sст |
| 8 | Тепловой импульс | Вк расч.= 369.60кА2\*с | Вк гар.= 1600кА2\*с | Вк расч ≤ Вк гар. |
| 9 | Ударный ток | iуд =54,37 кА | Iдин =120 кА | iуд ≤ iскв |

##### Вторичная нагрузка трансформатора тока

таблица № 4.10

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Тип | Нагрузка, ВА |
| фаза «А» | фаза «В» | фаза «С» |
| Амперметр показывающий | Э-335 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Ваттметр показывающий | Д-335 | 0,2 | — | 0,2 |
| Варметр показывающий | Д-335 | 0,2 | — | 0,2 |
| Ваттметр регистрирующий | Н-348 | 5 | — | 5 |
| Варметр регистрирующий | Н-348 | 5 | — | 5 |
| Счетчик Вт-час-активной | И-675 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Счетчик ВА-час | И-673М | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
|  |  | Σ=15,6 | Σ=5,2 | Σ=15,6 |

Общее сопротивление приборов:



rконт=0,1 (Ом), где rконт — переходное сопротивление контактов.

Вторичная нагрузка:



Сопротивление проводов:



Сечение провода:



Принимаем сечение провода 1,5 мм2.

### 4.2.8 Выбор трансформатора тока (330кВ)

таблица № 4.11

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: ТРН-330-У1 |
| 1 | Род установки | открытое | открытое |  |
| 2 | Номинальное напряжение | UНС=330 кВ | UН=330 кВ | UНС ≤ UН |
| 3 | Длительный первичный ток нагрузки | Iф=700,5 А | I1Н=1 кА | Iф ≤ I1Н |
| 4 | Вторичный ток | I2=1 А | I2Н=1 А | I2 = I2Н |
| 5 | Класс точности | 0,2 | 0,2 |  |
| 6 | Вторичная нагрузка | S2=29,16 ВА | S2Н=40 ВА | S2 ≤ S2Н |
| 7 | Сечение соединительных проводов | Sпр≈1,1 мм2, при-нимаем = 1,5 мм2 | Sв=2,5 мм2 | Sпр ≤ Sв= Sст |
| 8 | Тепловой импульс | Вк расч.= 344.88 кА2\*с |  | Вк расч ≤ Вк гар. |
| 9 | Ударный ток | iуд =64,34 кА |  | iуд ≤ iскв |

##### Вторичная нагрузка трансформатора тока

таблица № 4.12

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Наименование | Тип | Нагрузка, ВА |
| фаза «А» | фаза «В» | фаза «С» |
| Амперметр показывающий | Э-335 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Ваттметр показывающий | Д-335 | 0,5 | — | 0,5 |
| Варметр показывающий | Д-335 | 0,5 | — | 0,5 |
| Ваттметр регистрирующий | Н-348 | 10 | — | 10 |
| Варметр регистрирующий | Н-348 | 10 | — | 10 |
| Счетчик Вт-час-активной | И-675 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| Счетчик ВА-час | И-673М | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
|  |  | Σ=26,5 | Σ=5,5 | Σ=26,5 |

Общее сопротивление приборов:



rконт=0,1 (Ом), где rконт — переходное сопротивление контактов.

Вторичная нагрузка:



Сопротивление проводов:



Сечение провода:



Принимаем сечение провода 1,5 мм2.

###

### 4.2.9 Выбор сталеалюминевых гибких сборных шин ОРУ-750 кВ

таблица № 4.13

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: 3×АС-700/86 |
| 1 | Форсированный ток нагрузки | IФ= 3503 А | Iдоп=3660 А | Iф ≤ Iдоп |
| 2 | Сечение провода по условиям нагрева длительным током нагрузки | Sвыбр= 700 мм2 | Sтабл= 700 мм2 | Sтабл ≤ Sвыбр |
| 3 | Количество проводов в фазе | nвыбр= 3 | nкор= 3 | nкор ≤ nвыбр |
| 4 | Расстояние между проводами в фазе | авыбр= 400 мм | акор= 400 мм | акор ≤ авыбр |

###

### 4.2.10 Выбор сталеалюминевых гибких шин для ячеек ОРУ-750 кВ

таблица № 4.14

Расчет производится по наибольшим параметрам токов и напряжений:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: 5×АС-800/105 |
| 1 | Максимальный рабочий ток нагрузки при нормальном режиме работы | IФ= 3503А |  |  |
| 2 | Сечение провода, определяемое по экономической плотности тока при числе часов использования максимума нагрузки и экономической плотности тока iэ=1 А/мм2 | Sэ=4121 мм2 | Sвыбр=5×800мм2 | Sэ ～ Sвыбр |
| 3 | Сечение провода по условиям нагрева форсированным током нагрузки | Sвыбр= 800 мм2 | Sтабл= 800 мм2 | Sтабл ≤ Sвыбр |
| 4 | Количество проводов в фазе | nвыбр= 5 | nкор= 5 | nкор ≤ nвыбр |
| 5 | Расстояние между проводами в фазе | авыбр= 600 мм | акор= 600 мм | акор ≤ авыбр |

###

### 4.2.11 Выбор сталеалюминевых гибких сборных шин ОРУ-330 кВ

таблица № 4.14

Расчет производится по наибольшим параметрам токов и напряжений:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: 2×АС-240/32 |
| 1 | Форсированный ток нагрузки | Iф=700,5 А | Iдоп=1220 А | Iф ≤ Iдоп |
| 2 | Сечение провода по условиям нагрева длительным током нагрузки | Sвыбр= 210 мм2 | Sтабл= 240 мм2 | Sтабл ≤ Sвыбр |
| 3 | Сечение провода по короне | Sвыбр= 240 мм2 | Sкор= 240 мм2 | Sкор ≤ Sвыбр |
| 4 | Количество проводов в фазе | nвыбр= 2 | nкор=2 | nкор ≤ nвыбр |
| 5 | Расстояние между проводами в фазе | авыбр= 400 мм | акор= 400 мм | акор ≤ авыбр |

###

### 4.2.12 Выбор сталеалюминевых гибких шин для ячеек ОРУ-330 кВ

таблица № 4.15

Расчет производится по наибольшим параметрам токов и напряжений:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№п/п | Параметры, определяющие условия выбора | условиявыбора |
| Перечень условий | Значения |
| расчетное | гарантийное |
|  | Выбранный тип: 3×АС-240/32 |
| 1 | Максимальный рабочий ток нагрузки при нормальном режиме работы | Iм=700,5 А |  |  |
| 2 | Сечение провода, определяемое по экономической плотности тока при числе часов использования максимума нагрузки и экономической плотности тока iэ=1 А/мм2 | Sэ = 637,3 | Sвыбр=3×240мм2 | Sэ ≤ Sвыбр |
| 3 | Сечение провода по условиям нагрева форсированным током нагрузки | Sвыбр= 240 мм2 | Sтабл= 240 мм2 | Sтабл ≤ Sвыбр |
| 4 | Сечение провода по короне | Sвыбр= 240 мм2 | Sкор= 2400 мм2 | Sкор ≤ Sвыбр |
| 5 | Количество проводов в фазе | nвыбр= 3 | nкор= 3 | nкор ≤ nвыбр |
| 6 | Расстояние между проводами в фазе | авыбр= 600 мм | акор= 600 мм | акор ≤ авыбр |

# литература

1. «Электрическая часть станций и подстанций» Учебник для ВУЗов/ А.А. Васильев и др. — 2-е издание, переработанное и дополненное. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 576 с., ил.
2. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. Учебник для техникумов. М.: Энергия, 1990.
3. Неклепаев Б.Н., Крючков Н.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учебник для ВУЗов – 4-е изд., перераб. и допол. – М.: Энергоатомиздат, 1989-608 стр.
4. Двоскин П.Н. Схемы и конструкции распределительных устройств – 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1985-240 стр.
5. Гук Ю.Б. и др. Проектирование электрических станций и подстанций. Учебное пособие для ВУЗов /Ю.Б.Гук, В.В.Колтан, С.С.Петров. – М.: Энергоатомиздат. Ленингр.отдел, 1985-312 стр.