

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет» (национальный
исследовательский университет) Политехнический институт
Факультет Энергетический
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент,

_____/_____
« ____ » _____ 20 ____ г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор

_____/ И.М. Кирпичникова /
« ____ » _____ 20 ____ г.

Проектирование ТЭЦ 120 МВт

(наименование темы работы)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

ЮУрГУ – 13.03.02. 2018. 2360000. ВКР

(код направления, год, номер студенческого)

Руководитель, к.т.н., доцент

_____/ Р.В. Гайсаров /
« ____ » _____ 2018 г.

Автор

студент группы П – 478

_____/ А.С. Ермаков /
« ____ » _____ 2018 г.

Нормоконтролер, доцент

_____/ К.Е. Горшков /
« ____ » _____ 2018 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(национальный исследовательский университет)

Институт
Факультет
Кафедра
Управление

Политехнический
Энергетический
Электрические станции, сети и системы электроснабжения
Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

/И.М. Кирпичникова/

1.03.2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу студента

Ермаков Алексей Сергеевич

(Ф. И.О. полностью)

Группа П-478

1. Тема выпускной квалификационной работы

Проектирование ТЭЦ - 120 МВт

Утверждена приказом по университету от 04.04 2018 г. № 580

2. Срок сдачи студентом законченной работы 10.06.2018

3. Исходные данные к работе

В выпускной квалификационной работе рассматривается проектиро-
вание электростанции, для которой заданы параметры топлива:
калорийность топлива, и имеется электроэнергия мощностью 10,5 ГВт, мощ-
ность электростанции 2х60 МВт, номинальное напряжение 54 МВА, время линии
провода 4 км. Также заданы высокие напряжения 110 кВ, максимальное
время работы 12 ГВА.

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

- 1 Разработка структурной схемы
- 2 Выбор схемы соединения объектов оборудования
- 3 Выбор типа коммутации
- 4 Выбор параметров
- 5 Выбор линии и передатчика
- 6 Выбор антенны
- 7 Расчет мощности передатчика
- 8 Выбор типа антенны
- 9 Выбор схемы питания
- 10 Расчет мощности
- 11 Выбор оборудования
- 12 Составление плана
- 13 Выбор схемы СН
- 14 Выбор ТСН и РТСН
- 15 Выбор антенны
- 16 Выбор радиоприемника
- 17 Выбор передатчика
- 18 Выбор приемника
- 19 Выбор антенны
- 20 Проверка частоты сигнала СН
- 21 Выбор параметров РЗ
- 22 б к Д

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	5
1	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	6
2	РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ	6
	2.1 ВЫБОР СХЕМЫ СОЕДИНЕНИЯ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
	2.2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ.....	7
	2.3 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРА.....	9
	2.4 ВЫБОР ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	11
	2.5 ВЫБОР КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ.....	12
	2.6 РАСЧЕТНЫЕ ТОКИ ВСЕХ ЦЕПЕЙ ПОДСТАНЦИИ.....	14
3	РАЗРАБОТКА ГЛАВНОЙ СХЕМЫ	15
	3.1 ВЫБОР СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.....	16
	3.1.1 РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ВЫСШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ (РУ ВН).....	16
	3.1.2 ГЕНЕРАТОРНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО.	16
	3.2 РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.....	18
	3.3 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РУ.....	20
	3.3.1 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РУ ВН.....	20
	3.3.2 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ГРУ.....	28
4.	СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ.....	40
	4.1 ВЫБОР СХЕМЫ СН ТЭЦ.....	40
	4.2 ВЫБОР МОЩНОСТИ ТСН И РТСН.....	41
	4.3 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ СЕТИ.....	42
	4.4 ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ.....	43
	4.5 ВЫБОР РАЗЪЕДЕНИТЕЛЕЙ.....	46
	4.6 ВЫБОР ТОКОВЕДУЩИХ ЧАСТЕЙ.....	46
	4.7 ВЫБОР ИЗОЛЯТОРОВ.....	49
	4.8 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА.....	49

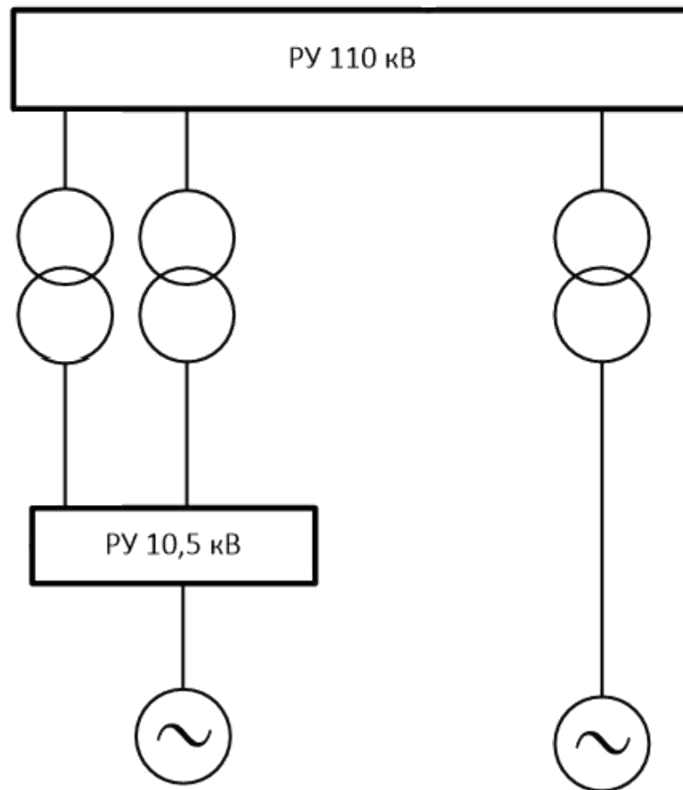


Рисунок 1- Структурная схема подстанции

2.2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ

При расчете потоков мощности необходимо первоначально выбрать генератор по активной мощности, которую он должен обеспечивать. С учетом этого выбираем генератор в таблице 2.

Таблица 2 – Генератор ТВФ-60-2

Тип	P, МВт	cos(φ)	Q, Мвар	U _{ном} , кВ	КПД, %	X _d , %
ТВФ-60-2	60	0,8	45	10,5	98,5	19,5

$$I = \frac{P}{\cos(\varphi)} = \frac{60}{0,8} = 75 \text{ МВА} \quad (1)$$

В дальнейшем принимаем cos(φ) для всей схемы один и тот же.

Также необходимо учитывать, что часть выработанной энергии тратится на собственные нужды электростанции. ТЭЦ, для которой производится расчет,

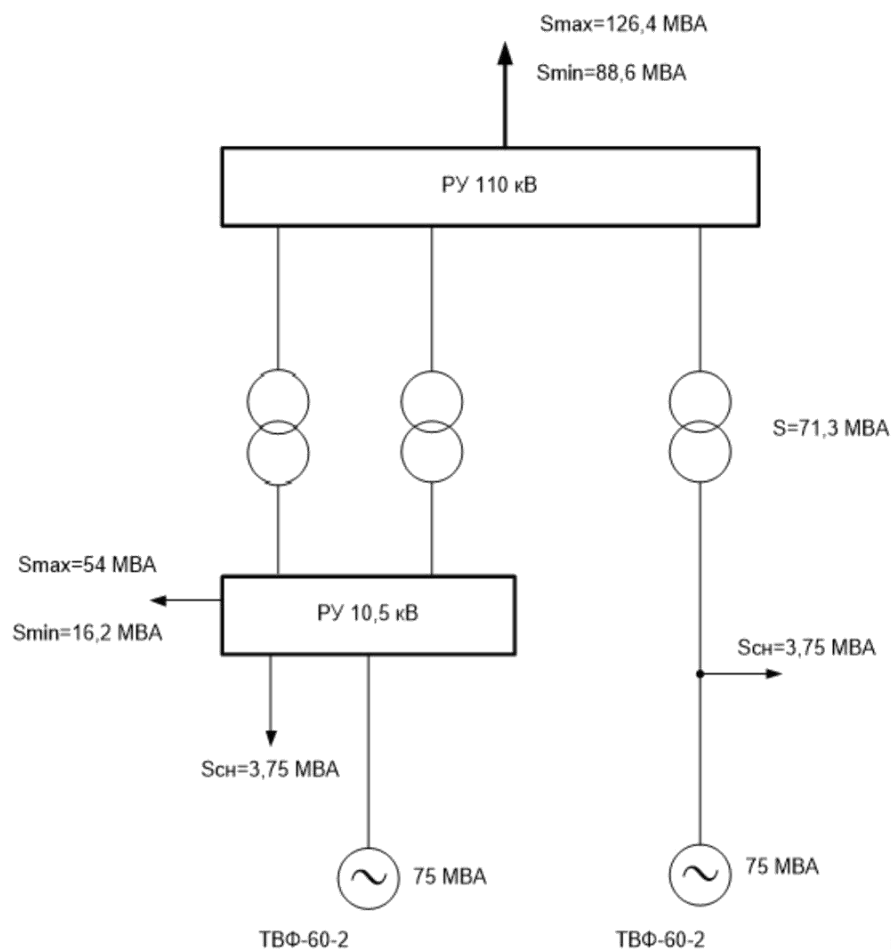


Рисунок 2- Схема распределения мощности

2.3 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРА

Трансформатор связи служит для связи двух РУ низшего и высшего напряжений. Количество трансформаторов связи выбрано с учетом необходимости надежного снабжения электроэнергией потребителя и их суммарной стоимостью. Поэтому по условию надежности требуется установка двух трансформаторов. Через эти трансформаторы передается мощность, которая не используется потребителем. В п 2.2. посчитаны мощности для трех ситуаций: максимальной нагрузке потребителя, минимальной и при выведении генератора из строя. Сравнивая три величины мощность трансформатора рассчитываем по максимальной из них.

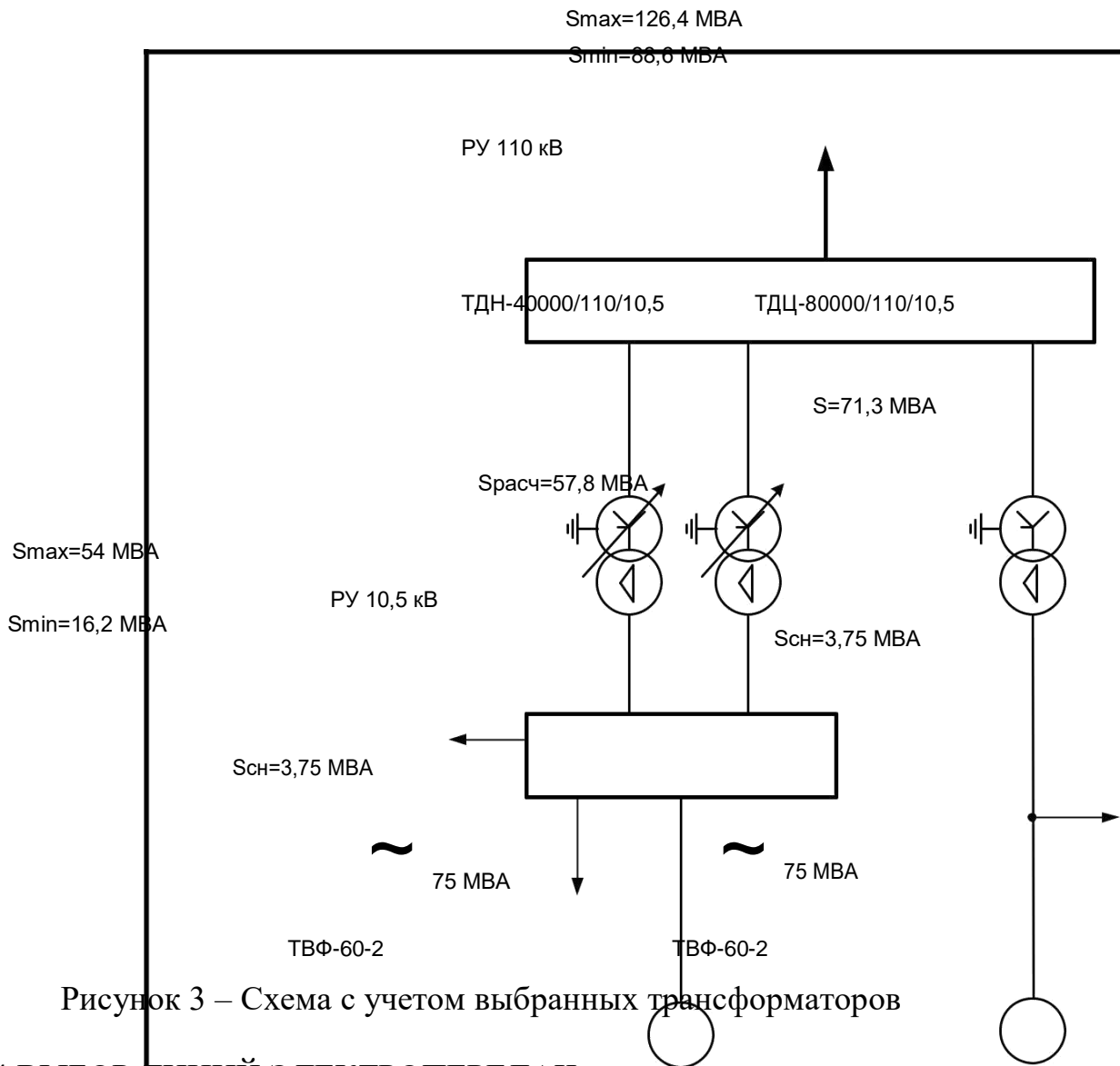


Рисунок 3 – Схема с учетом выбранных трансформаторов

2.4 ВЫБОР ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

К части РУ ВН со стороны энергосистемы присоединены две двuceпные линии. Сечение проводов выбирается с учетом средней мощности, передаваемой от ТЭЦ к сети.

Средняя мощность:

$$= \frac{126,4 + 88,6}{2} = 107,5 \text{ MVA} \quad (9)$$

Номинальный ток в длительном режиме считается:

$$= \frac{107,5}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,144 \text{ kA} \quad (10)$$

Сечение провода линии электропередач определяется по длительному току.

где $j_{\text{эл}}$ – экономическая плотность тока. $0,9 \text{ А/мм}^2$ для сталеалюминиевого провода для Уральского региона.

Ближайшее нормированное значение АС-150/24.

Имеется вероятность того, что одна из линий электропередач может быть выведена из строя, при этом худший сценарий возможен при максимальной передаваемой мощности.

Исходя из этого:

$$= \frac{126,4}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 3} = 0,225 \text{ кА} \quad (12)$$

В данной ситуации работа провода должна находиться в длительном режиме. Номинальный длительный ток для провода АС-150/24 равен 450 А. Данный ток больше чем ток в аварийном режиме, поэтому провод проходит по допустимому току в послеаварийном режиме.

2.5 ВЫБОР КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Кабельные линии используются для передачи электрической энергии потребители на напряжении 10 кВ по четырем линиям. Величина тока в одной линии в длительном режиме определяется по среднему току, проходящему при максимальной нагрузке потребителя и минимальной нагрузке:

$$= \frac{54}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4} = 0,742 \text{ кА} \quad (13)$$

$$= \frac{16,2}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 4} = 0,223 \text{ кА} \quad (14)$$

$$= \frac{0,742^2 + 0,223^2}{2} = 0,483 \text{ кА} \quad (15)$$

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

12

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Находим сечение токопроводящей медной жилы кабельной линии при плотности тока $1,6 \text{ А/мм}^2$.

$$K = \frac{I}{j} = \frac{1600}{1,6} = 1000 \text{ мм}^2 \text{ (16)}$$

Так как невозможно выбрать стандартное сечение токопроводящих жил для посчитанного сечения, существует возможность проложить от одной до четырех параллельных линий, тем самым, разделив кабель на несколько с меньшим сечением.

Сечение токопроводящей жилы для КЛ с двумя параллельными линиями:

$$= 4K = 4000 \text{ мм}^2 \text{ (17)}$$

Берем ближайшее нормированное сечение: $4 \times 70 \text{ мм}^2$.

По условию надежности каждый потребитель питается от двух линий, поэтому в аварийном режиме при отключении вся нагрузка, передающаяся по одному из кабелей, пойдет на второй кабель и по нему, в таком случае, будет протекать двойной ток. По наихудшему сценарию в этот момент нагрузка потребителя будет максимальной, и ток, протекающий по кабелю, будет максимальный.

$$I_{\text{доп}} = \frac{I_{\text{н}} \cdot \sqrt{2}}{2} = \frac{243 \cdot \sqrt{2}}{2} = 171 \text{ А (18)}$$

Для кабеля $4 \times 70 \text{ мм}^2$ допустимый ток в длительном режиме составляет 243 А, что меньше значения, которое было получено, следовательно, при отключении одной линии кабель не сможет работать в длительном режиме.

Выбираем большее сечение токопроводящей жилы. Выбранный кабель $4 \times 150 \text{ мм}^2$ с допустимым током 379 А.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

13

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

3. РАЗРАБОТКА ГЛАВНОЙ СХЕМЫ.

3.1 ВЫБОР СХЕМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.

3.1.1 РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ВЫСШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ (РУ ВН)

На основании расчета рекомендуемых типовых схем была выбрана схема «Одна рабочая, секционированная выключателем, и обходная система шин». Изображение представлено на Рисунке 4.

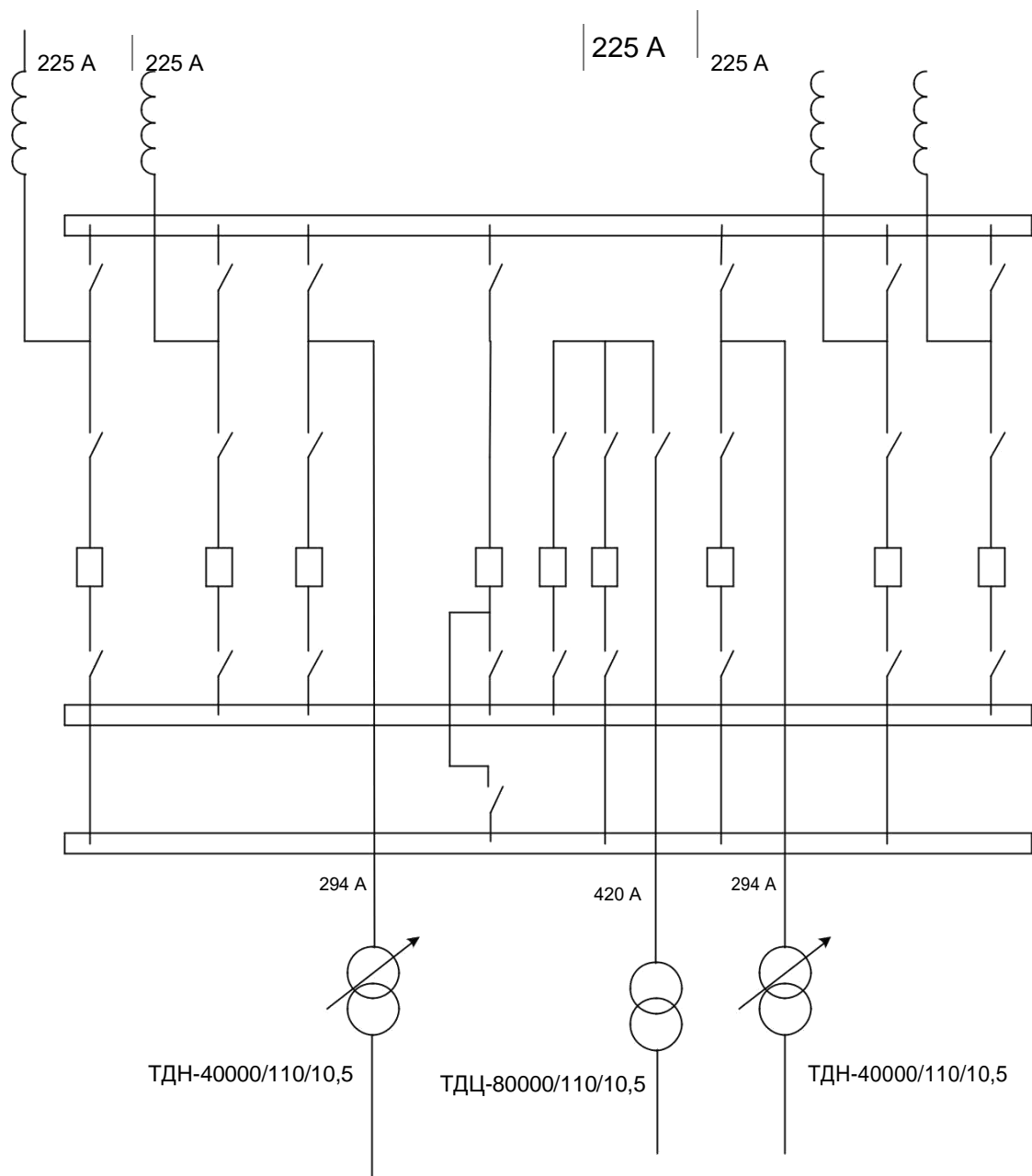


Рисунок 4- Схема РУ ВН

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

В таком распределительном устройстве блочный трансформатор подключается в схеме к цепи шиносоединительных выключателей.

Данная схема РУ ВН отвечает основным требованиям, предъявляемых к схемам. Такое РУ ВН позволяет выводить любой выключатель в схеме в ремонт и обслуживание без отключения присоединений. В нормальном режиме обходная система шин отключена, в отключенном состоянии находятся и все разъединители, находящиеся между основным оборудованием и обходной системой шин; в отключенном состоянии находится и секционный выключатель.

В случае вывода выключателя из работы его присоединение может быть подключено к обходной системе шин через обходной выключатель.

3.1.2 ГЕНЕРАТОРНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Для генераторного распределительного устройства выбираем типовую схему «Одна рабочая секционированная выключателем система шин».

Схема ГРУ представлена на Рисунке 5.

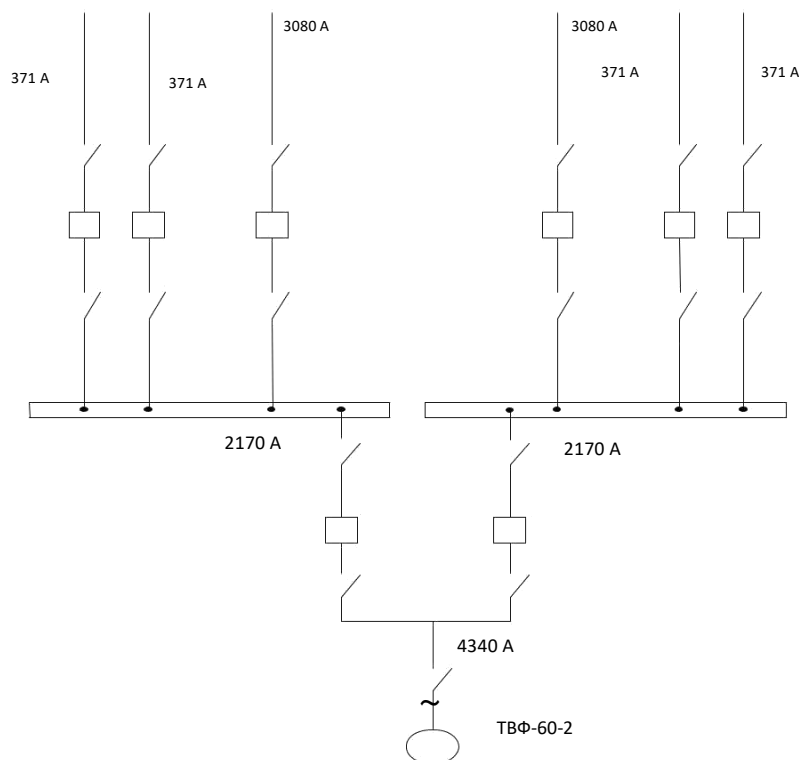


Рисунок 5- Схема ГРУ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

$I_{п.0}=57,8$ кА в данной точке. При этом ток в статорной обмотке генератора составляет 23,8 кА, а ток на низкой стороне трансформатора связи – 17 кА. Суммарный ток, протекающий по одной из цепей генератора $I_{п.0.1}=17+23,8=40,8$ кА.

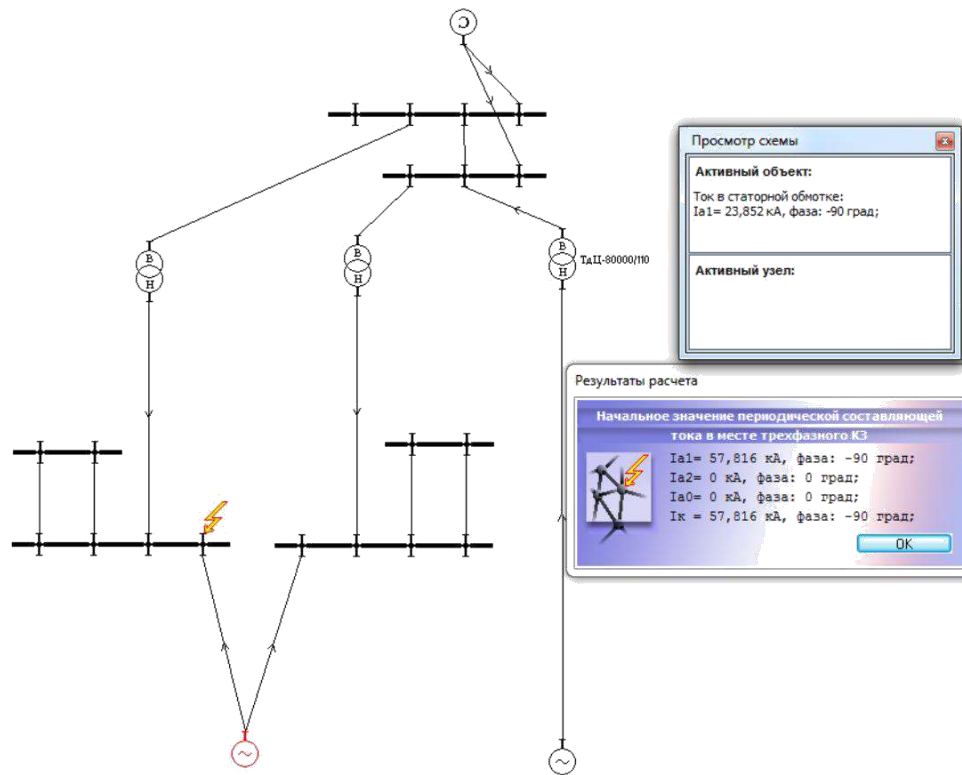


Рисунок 7 – КЗ на сборных шинах ГРУ.

Определяем величину тока КЗ непосредственно на выводах генератора (рисунок 8).

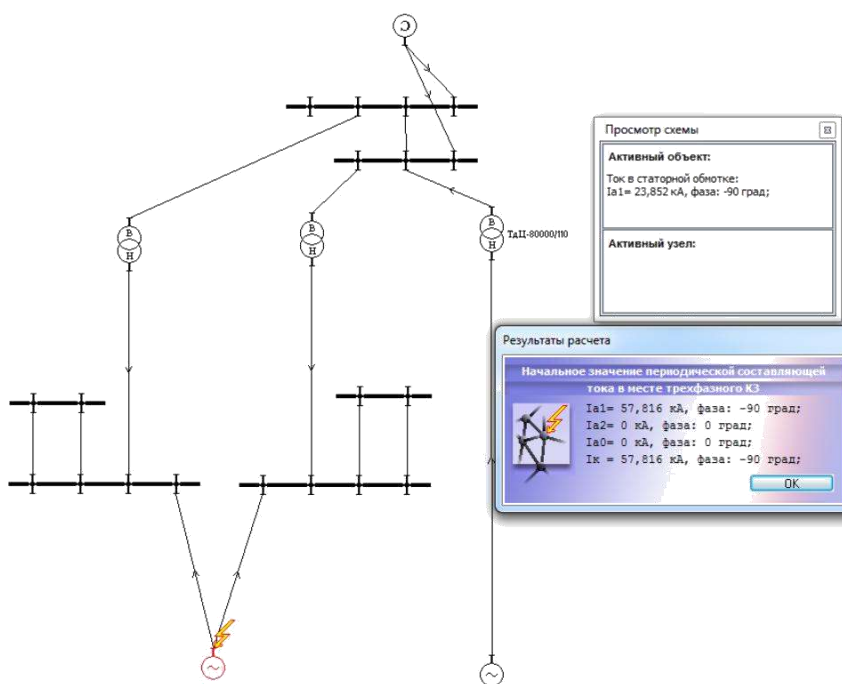


Рисунок 8 – КЗ на выводах генератора.

В этом случае в точку КЗ стекается ток с обмотки статора, составляющий 23,8 кА, при суммарном токе 57,8 кА. В этом случае в одной из двух цепей генератора будет протекать ток со стороны трансформатора связи, который составляет $I_{п.0.2}=17$ кА.

Для подбора оборудования в цепях генератора из двух случаев (КЗ на шинах и КЗ на выводах генератора) выбирается самый большой ток трехфазного КЗ. В данном случае $I_{п.0}=I_{п.0.1}=40,8$ кА.

Для подбора оборудования в цепях потребителя, был найден ток КЗ у потребителя. Данные представлены на рисунке 9

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

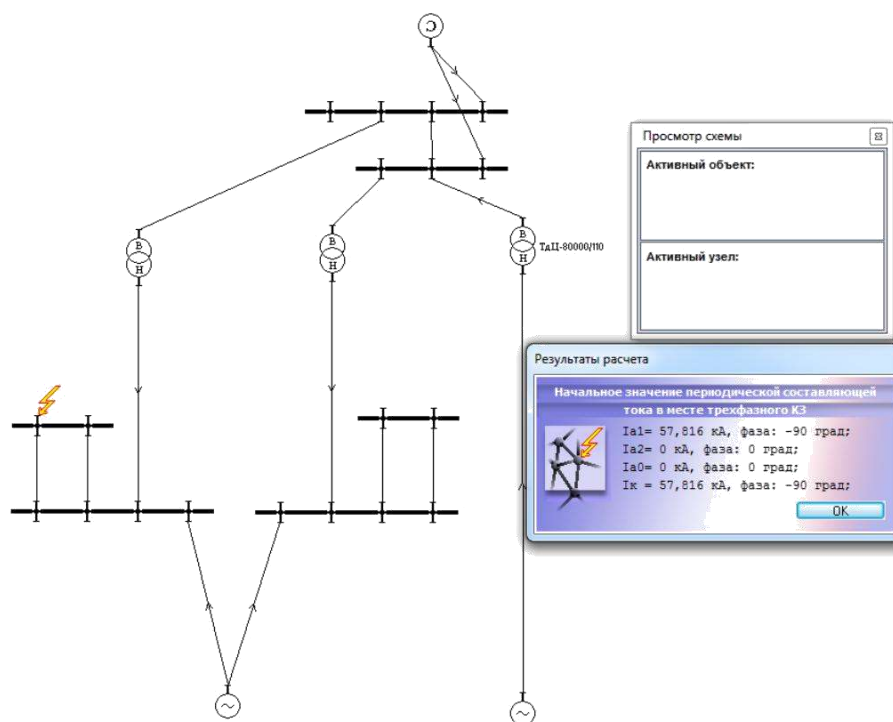


Рисунок 9 – КЗ у потребителя.

Ток КЗ в данном случае $I_{п.0}=57,8$ кА.

3.3 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РУ.

3.3.1 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ РУ ВН.

Все выключатели и разъединители в РУ ВН выбираются одинаковые для каждой из цепей по наибольшему току в длительном режиме.

Номинальное напряжение $U_{ном}=110$ кВ. Номинальный длительный ток $I_{max}=420$ А. Начальная периодическая составляющая тока трехфазного короткого замыкания $I_{п.0}=17,1$ кА.

- 1) Под данные параметры выбирается выключатель (Таблица 5)

Таблица 5 – Параметры выключателя ВЭБ-110.

Номинальное напряжение U_n , кВ	110
Номинальный ток I_n , А	2500
Номинальный ток отключения $I_{ном.откл}$, кА	40
Собственное время отключения $t_{откл}$, с	0,035
Полное время отключения $t_{полн}$, с	0,055
Относительное содержание аperiodической составляющей β , %	40
Наибольший пик сквозного тока КЗ $i_{пр}^{СКВ}$, кА	102
Наибольший пик тока включения $i_{вкл}$, кА	102
Начальное действующее значение периодической составляющей	40

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

20

сквозного тока КЗ $I_{пр}^{СКВ}$, кА		
Начальное действующее значение периодической составляющей тока включения $I_{вкл}$, кА		40
Ток термической стойкости $I_{терм}$, кА		40
Время протекания тока термической стойкости $t_{терм}$, с		3

Проводится проверка выключателя:

- по номинальным параметрам:

$$I_N > I_{max};$$

$$U_N > U_{ном.}$$

- по отключающей способности:

$$I_{ном.откл} > I_{по};$$

$i_{a.n} > i_{a.t}$ – аperiodическая составляющая тока КЗ.

$$i_{a.n} = \sqrt{2} \cdot I_{ном.откл} \cdot 100 = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 100^{0,045} = 22,6 \text{ кА} \quad (24),$$

где $t_{рза}$ – минимальное время срабатывания релейной защиты. Принимается равным 0,01 с;

T_a – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока короткого замыкания. Данная величина берется из справочников и для систем, связанных с шинами, где рассматривается к.з., воздушными линиями напряжением 110 кВ $T_a=0,02$ с.

- по включающей способности:

$$i_{вкл} > i_y \text{ – ударный ток КЗ;}$$

$$I_{вкл} > I_{по}.$$

$$i_y = \sqrt{2} \cdot I_{по} \cdot k_y = \sqrt{2} \cdot 17,1 \cdot 1,608 = 38,9 \text{ кА} \quad (25).$$

где k_y – ударный коэффициент тока КЗ. Данная величина берется из справочников и для систем, связанных с шинами, где рассматривается к.з., воздушными линиями напряжением 110 кВ $k_y=1,608$.

- по электродинамической стойкости: –

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

21

$$I_{пр}^{СКВ} > I_{П0};$$

$$i_{пр}^{СКВ} > i_y.$$

– по термической стойкости:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} > V_k - \text{тепловой импульс тока КЗ.}$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}; \quad (26)$$

$$V_k = I_{П0}^2 \cdot (t_{рз} + t_{полн} + T_a) = 289 \cdot 0,155 = 45,3 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}, \quad (27)$$

где $t_{рз}$ – время срабатывания релейной защиты. Принимается равным 0,1 с.

В таблице 6 сводим проверку выключателя по вышеупомянутым параметрам.

Таблица 6 – Проверка выключателя ВЭБ-110.

	Выключатель	Сравнение по параметрам РУ
Ном. Напряжение, кВ	110	110
Номинальный ток, А	2500	420
Номинальный ток отключения, кА	40	17,1
Полное время отключения, с	0,035	
Содержание апериодической составляющей, %	40	
Апериодическая составляющая тока, кА	22,6	2,55
Наибольший пик тока включения, кА	102	$i_y = 38,9$
Номинальный ток включения, кА	40	17,1
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА	102	38,9
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	40	17,1
Термическая стойкость, (кА) ² с	4800	45,3

Выключатель ВЭБ-110 прошел проверку.

2) Выбор и проверку разъединителей проводим для тех же номинальных параметров токов и напряжения РУ ВН.

Выбранный разъединитель РГН-110/1000-40 с техническими характеристиками в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики разъединителя РГН-110/1000-40.

Номинальное напряжение U_n , кВ	110
Номинальный ток I_n , А	1000

Наибольший пик сквозного тока КЗ $i_{пр}^{СКВ}$, кА	100
Начальное действующее значение периодической составляющей сквозного тока КЗ $I_{пр}^{СКВ}$, кА	40
Ток термической стойкости $I_{терм}$, кА	40
Время протекания тока термической стойкости $t_{терм}$, с	3

Проводится проверка разъединителя:

- по номинальным параметрам:

$$I_N > I_{max};$$

$$U_N > U_{ном.}$$

- по электродинамической стойкости:

$$I_{пр}^{СКВ} > I_{по};$$

$$i_{пр}^{СКВ} > i_y.$$

- по термической стойкости:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} > B_k$$

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с.} \quad (28)$$

В таблице 8 сводим проверку разъединителя по вышеупомянутым параметрам.

Разъединитель РГН-110/1000-40 прошел проверку.

Таблица 8 – Проверка разъединителя РГН-110/1000-40.

	Выключатель	Сравнение по параметрам РУ
Ном. Напряжение, кВ	110	110
Номинальный ток, А	1000	420
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА	102	38,9
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	40	17,1
Термическая стойкость, $(кА)^2 \cdot с$	4800	45,3

l – расстояние между изоляторами одной фазы. Принимаем равным 1,5 м; a – расстояние между соседними фазами. Принимаем равным 100 см;

W – момент сопротивления шины относительно оси. Для прямоугольной шины, расположенной плашмя: $= \cdot h_6^2$.

С учетом вышесказанного механическое напряжение в шинах будет равным:

$$\sigma = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(38,9 \cdot 10^3)^2 \cdot 1,5^2}{4 \cdot 30^2 \cdot 1} = 164 \text{ МПа}$$

Допустимое механическое напряжение для медных шин марки МГМ 171,5-178 МПа. Выбранные шины выдерживают динамическое воздействие при КЗ.

5) Для контроля величины силы тока, питания измерительных приборов, а также питания систем релейной защиты и автоматики, устанавливаются трансформаторы тока в цепях с выключателями и трансформаторами. В РУ ВН, выбранные выключатели ВЭБ-110, имеют возможность установки встроенных трансформаторов тока.

Трансформаторы тока выбираются по номинальному напряжению и току:

$$I_N > I_{\text{max}};$$

$$U_N > U_{\text{ном.}}$$

После этого выключатели проверяются на электродинамическую и термическую стойкость. После проверки выбирается нужный класс точности. Для питания счетчиков активной и реактивной энергии необходимо обеспечить класс точности равный 0,5.

Проверка на термическую и электродинамическую стойкость проверяется либо при заданной в каталоге кратности, либо током.

Для РУ ВН был выбран трансформатор тока ТВ-110-II с номинальными параметрами: $I_{1\text{ном}}=600$ А (который может обеспечить класс точности 0,5), $I_{2\text{ном}}=5$ А.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

25

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

$$= \cdot \text{расч} = 0,0283 \cdot 75 = 2,28 \text{ мм}^2 \text{ (40)}$$

Минимальное сечение алюминиевого провода 4 мм^2 .

Выбираем провод алюминиевый сечения 4 мм^2 .

б) Измерительные трансформаторы напряжения предназначены для питания катушек напряжения измерительных приборов и для контроля изоляции в сетях с малыми токами замыкания на землю.

Измерительные трансформаторы напряжения подключаются к обеим секциям сборных шин в каждую фазу затем один подключается к одной из фаз обходной системы шин.

ИТН выбираются по номинальному напряжению и подбираются по классу точности. Так как для измерения мощности необходимы параметры тока и напряжения, к ИТН подводятся контакты с ваттметров и варметров, имеющие класс точности 0,5.

Так же подключаются два вольтметра В7-77, два частотометра В89/1, синхроскоп Э1550, осциллограф (С1-112).

На напряжение 110 кВ трехфазные трансформаторы не используются, поэтому устанавливаются 3 однофазных трансформатора. Выбранные трансформаторы НАМИ-110.

Суммарная мощность, потребляемая приборами:

$$\Sigma = 2 \cdot + \cdot + 2 \cdot + \text{снх} + \text{осц} = 20 + 60 + 3 + 7 + 25 = 140 \text{ ВА} \text{ (41)}$$

Один ИТН для данного класса точности имеет номинальную мощность 200 ВА. Три трансформатора напряжения – 600 ВА.

Для подключения приборов используем алюминиевый провод 4 мм^2 .

Для подключения к обходной системе сборных шин используем один трансформатор напряжения НАМИ-110.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

27

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

3.3.2 ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ГРУ.

В генераторном распределительном устройстве выключатели и разъединители выбираются отдельно для каждой цепи по длительным токам, а так же токам КЗ для этой цепи.

1) Цепь трансформаторы связи.

1.1) Выключатель выбирается по $I_{п.0}=57,8$ кА – суммарный ток при КЗ на шинах РУ.

Выбран выключатель ВГГ-20 (таблица 9).

Таблица 9 – Параметры выключателя ВГГ-20.

Номинальное напряжение U_n , кВ	20
Номинальный ток I_n , А	6300
Номинальный ток отключения $I_{ном.откл}$, кА	90
Собственное время отключения $t_{откл}$, с	0,03
Полное время отключения $t_{полн}$, с	0,055
Относительное содержание апериодической составляющей β , %	40
Наибольший пик сквозного тока КЗ $i_{пр}^{СКВ}$, кА	230
Наибольший пик тока включения $i_{вкл}$, кА	230
Начальное действующее значение периодической составляющей сквозного тока КЗ $I_{пр}^{СКВ}$, кА	90
Начальное действующее значение периодической составляющей тока включения $I_{вкл}$, кА	90
Ток термической стойкости $I_{терм}$, кА	90
Время протекания тока термической стойкости $t_{терм}$, с	3

Выбранный выключатель проверяется аналогично выключателю в РУ ВН.

$$I_n = \sqrt{2} \cdot I_{ном.откл} \cdot 100 = \sqrt{2} \cdot 90 \cdot 100^{40} = 50,9 \text{ кА} \quad (43)$$

Так как $I_{ном.откл} > I_{п.0}$, но $i_{ап} < i_{ат}$, то допускается проверка выключателя по полному току:

$$\sqrt{2} \cdot I_{п.0} < \sqrt{2} \cdot I_{ном.откл} \cdot (1 + 100) \quad (44)$$

$$\sqrt{2} \cdot 57,8 + 69,6 < \sqrt{2} \cdot 90 \cdot 1,4$$

$$151,3 < 178,2$$

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

28

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Выключатель прошел проверку по полному току.

По включающей способности:

$$y = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot t_{терм} = \sqrt{2} \cdot 57,8 \cdot 1,955 = 159,8 \text{ кА} \quad (45)$$

По термической стойкости:

$$I_{терм}^2 \cdot t_{терм} = 90^2 \cdot 3 = 24300 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с};$$

$$W_k = I_{п0}^2 \cdot (t_{пр} + t_{полн} + T_a) = 3446 \cdot 0,405 = 1396 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с},$$

Таблица 10 – Проверка выключателя ВГГ-20.

	Выключатель	Сравнение по параметрам РУ
Ном. Напряжение, кВ	20	10,5
Номинальный ток, А	6300	3080
Номинальный ток отключения, кА	90	57,8
Полное время отключения, с	0,055	
Содержание апериодической составляющей, %	40	
Суммарный ток, кА	178,2	151,3
Наибольший пик тока включения, кА	230	159,8
Номинальный ток включения, кА	90	57,8
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА	230	159,8
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	90	57,8
Термическая стойкость, (кА) ² с	24300	1396

Выключатель прошел проверку.

1.2) Выбираем разъединитель для цепи трансформатора связи.

Выбранный разъединитель РВРЗ-10/4000М с техническими характеристиками представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Характеристики разъединителя РВРЗ-10/4000М.

Номинальное напряжение U_n , кВ	10,5
Номинальный ток I_n , А	4000
Наибольший пик сквозного тока КЗ $i_{пр}^{СКВ}$, кА	180
Начальное действующее значение периодической составляющей сквозного тока КЗ $I_{пр}^{СКВ}$, кА	71
Ток термической стойкости $I_{терм}$, кА	71
Время протекания тока термической стойкости $t_{терм}$, с	4

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

29

Разъединитель проверяется аналогично разъединителям РУ ВН.

В таблице 12 сводим проверку разъединителя.

Таблица 12 – Проверка разъединителя РВРЗ-10/4000М.

	Выключатель	Сравнение по параметрам РУ
Ном. Напряжение, кВ	10,5	10,5
Номинальный ток, А	4000	3080
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА	180	159,8
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	71	57,8
Термическая стойкость, (кА) ² с	20164	1396

Разъединитель РГН-110/1000-40 прошел проверку.

1.3) Выбираем трансформаторы тока в цепи силовых трансформаторов связи.

Для данной цепи выбран трансформатор тока ТПОЛ-10М. Этот ТТ устанавливается для питания измерительных амперметра, ваттметра и двух варметров. Номинальные параметры: $I_{1ном}=3000$ А, $I_{2ном}=5$ А, $S_2=25$ ВА, $K_{дин}=145$, $K_{тер}=60$.

Проверку осуществляем так же, как и для ТТ РУ ВН:

$$i_{дин} = \sqrt{2} \cdot i_{дин} \cdot I_{ном} = \sqrt{2} \cdot 145 \cdot 3000 = 615,2 \text{ кА} \quad (46)$$

По условию $i_y < i_{дин}$. $i_y = 159,8$ кА.

$$(K_{тер} \cdot I_{ном})^2 \cdot t_{тер} = (60 \cdot 3000)^2 \cdot 3 = 97200 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с} < i_{дин}^2 \cdot t_{тер} \quad (47)$$

Трансформатор тока питает следующие измерительные приборы:

- Один амперметр марки Э-335 мощностью 0,5 ВА;
- Ваттметр ЦЛ8516 и Варметр СР3020 мощностью 2,5 ВА каждый.

Считаем сопротивления приборов по потребляемой мощности прибора и номинальному вторичному току.

$$R_{приб} = \frac{0,5 + 2,5 + 2,5}{25} = 0,22 \text{ Ом} \quad (48)$$

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Изм. Лист№ докум. Подпись Дата

Лист

30

$r_k=0,05$ Ом – сопротивление проводов при подключении трех и менее приборов.

$$= \frac{2}{2} = \frac{25}{25} = 1,0 \text{ Ом} \quad (49)$$

По найденному сопротивлению проводов определим сечение этого провода, учитывая, что сеть напряжением 10 кВ работает с изолированной нейтралью. Трансформаторы тока можно установить в двух из трех фаз:

$$= \frac{0,0283 \cdot 60 \cdot \sqrt{3}}{0,73} = 4,03 \text{ мм}^2 \quad (51)$$

Выбираем провод алюминиевый сечения $4,03 \text{ мм}^2$.

2) Цепи генератора.

2.1) Выбор выключателей в цепях генератора.

Выбирается по максимальному току, протекающему либо при КЗ на шинах, либо при КЗ на выводах генератора. При подсчете в программе «ТОКО» (рисунок 7) максимальный ток, протекавший по ветви выключателя, составлял 40,8 кА.

Аналогично цепи трансформатора связи выбран выключатель ВГГ-20 (таблица 8).

Проверка аналогична.

По отключающей способности:

$$= \sqrt{2} \cdot \frac{0,04}{40,8} = 0,0011 \quad (52)$$

По отключающей способности: $I_n = \sqrt{2} \cdot \text{ном.откл} \cdot 100 = \sqrt{2} \cdot 90 \cdot 100^{40} = 50,9 \text{ кА}$ (53), По включающей способности:

$$y = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном}} = \sqrt{2} \cdot 40,8 \cdot 1,955 = 112,8 \text{ кА} \quad (54)$$

По термической стойкости:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 90^2 \cdot 3 = 24300 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с};$$

$$W_k = I_{\text{п0}}^2 \cdot (t_{\text{рз}} + t_{\text{полн}} + T_a) = 1665 \cdot 0,405 = 674,2 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с},$$

Таблица 13 – Проверка выключателя ВГГ-20.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

31

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

	Выключатель	Сравнение по параметрам РУ
Ном. Напряжение, кВ	20	10,5
Номинальный ток, А	6300	2170
Номинальный ток отключения, кА	90	40,8
Полное время отключения, с	0,055	
Содержание аperiodической составляющей, %	40	
Аperiodическая составляющая тока, кА	50,9	49,2
Наибольший пик тока включения, кА	230	112,8
Номинальный ток включения, кА	90	40,8
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА	230	112,8
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	90	40,8
Термическая стойкость, (кА) ² с	24300	674,2

Выключатель прошел проверку.

2.2) Выбор разъединителей.

В данной цепи два участка с двумя отличающимися токами в длительном режиме. Разъединитель в цепи выключателя с номинальным током $I_n=2170$ А. Выбранный разъединитель РВРЗ-10/4000М с техническими характеристиками представлен в таблице 11.

В таблице 14 сводим проверку разъединителя.

Таблица 14 – Проверка разъединителя РВРЗ-10/4000М.

	Выключатель	Сравнение по параметрам РУ
Ном. Напряжение, кВ	10,5	10,5
Номинальный ток, А	4000	2170
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА	180	112,8
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	71	40,8
Термическая стойкость, (кА) ² с	20164	674,2

Из этого следует, что разъединитель прошел проверку.

Выбираем разъединитель генератора на номинальный ток 4340 А.

Выбранный разъединитель РВРЗ-20/8000М с техническими характеристиками в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики разъединителя РВРЗ-20/8000М.

Номинальное напряжение U_n , кВ	20
Номинальный ток I_n , А	8000
Наибольший пик сквозного тока КЗ $i_{пр}^{СКВ}$, кА	250
Начальное действующее значение периодической составляющей сквозного тока КЗ $I_{пр}^{СКВ}$, кА	98
Ток термической стойкости $I_{терм}$, кА	98
Время протекания тока термической стойкости $t_{терм}$, с	3

В таблице 16 сводим проверку разъединителя.

Таблица 16 – Проверка разъединителя РВРЗ-20/8000М.

	Выключатель	Сравнение по параметрам РУ
Ном. Напряжение, кВ	20	10,5
Номинальный ток, А	8000	4340
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА	250	112,8
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	98	40,8
Термическая стойкость, (кА) ² с	30000	674,2

Из этого следует, что разъединитель прошел проверку.

3.3) Трансформаторы тока устанавливаются в цепях выключателей и питают измерительные и регистрирующие приборы для контроля работы генератора.

Выбранный трансформатор тока ТПОЛ-10М. Номинальные параметры: $I_{1ном}=2000$ А, $I_{2ном}=5$ А, $S_2=30$ ВА, $K_{дин}=50$, $K_{тер}=33$.

Осуществляем проверку:

$$i_{дин} = \sqrt{2} \cdot I_{дин} \cdot I_{ном} = \sqrt{2} \cdot 50 \cdot 2000 = 141,4 \text{ кА} \quad (55)$$

По условию $i_y < i_{дин}$. $i_y = 112,8$ кА.

$$i_y = 112,8 \text{ кА} < i_{дин} = 141,4 \text{ кА} \quad (56)$$

$$i_y = 112,8 \text{ кА} < i_{дин} = 141,4 \text{ кА} \quad (56)$$

$$2 = \cdot \text{расч} = 0,0175 \cdot 60 = 3,89 \text{ мм}^2 \quad (64)$$

Выбираем провод медного сечения $3,89 \text{ мм}^2$.

3.4) К выводам генератора подключается измерительный трансформатор напряжения для питания счетчиков, измерителей мощности и вольтметров, а также для контроля изоляции.

Выбранный трансформатор напряжения ЗНАМИТ-10 с номинальной мощностью $S_{2\text{ном}}=200 \text{ ВА}$.

Подключающиеся приборы:

- 4 Ваттметра, 4 варметра и 2 регистрирующих ваттметра, которые уже подключены к обмоткам трансформаторов тока цепей генератора;
- Регистрирующий вольтметр Н-394 мощностью 12 ВА ;
- Вольтметр В7-77 мощностью 10 ВА ;
- Частотометр В89/1 мощностью $1,5 \text{ ВА}$;
- Синхроскоп Э1550 мощностью 7 ВА .

Суммарная мощность, потребляемая приборами:

$$\Sigma = 2 \cdot \text{пер} + 8 \cdot \text{вар} + 1,5 + 7 + 12 + 10 = 70,5 \text{ ВА} \quad (65)$$

Для подключения приборов используем алюминиевый провод 4 мм^2 .

Данный трансформатор напряжения ставится на вывода второго генератора.

4) Цепи потребителей.

4.1) Выключатель в цепи потребителя подбирается по току КЗ за выключателем. В данном случае $I_{п.0}=57,8 \text{ кА}$.

Выбираем выключатель LF1, данные представлены в таблице 17

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

35

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Таблица 17 – Параметры выключателя LF1.

Номинальное напряжение U_n , кВ	10,5
Номинальный ток I_n , А	630
Номинальный ток отключения $I_{ном.откл}$, кА	25
Собственное время отключения $t_{откл}$, с	0,048
Полное время отключения $t_{полн}$, с	0,07
Относительное содержание аperiodической составляющей β , %	40
Наибольший пик сквозного тока КЗ $i_{пр}^{СКВ}$, кА	64
Наибольший пик тока включения $i_{вкл}$, кА	64
Начальное действующее значение периодической составляющей сквозного тока КЗ $I_{пр}^{СКВ}$, кА	25
Начальное действующее значение периодической составляющей тока включения $I_{вкл}$, кА	25
Ток термической стойкости $I_{терм}$, кА	25
Время протекания тока термической стойкости $t_{терм}$, с	3

$I_{п.0}=57,8$ кА гораздо больше номинального тока отключения выбранного выключателя. Чтобы упростить РУ и сэкономить место следует установить КРУ, но для этого следует снизить токи КЗ, протекающие по данной ветви. С этой целью устанавливается сдвоенный реактор с индуктивным сопротивлением, определяемым следующим образом:

$$= \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 630} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 57,8} = 0,105 \text{ Ом} \quad (66)$$

$$= \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 25} = 0,242 \text{ Ом} \quad (67)$$

$$= 0,242 - 0,105 = 0,137 \text{ Ом} \quad (68)$$

Ближайший сдвоенный реактор с таким сопротивлением РБС-2х630-0,25

С помощью программы «ТОКО» со сдвоенным реактором пересчитаем токи КЗ. Схема представлена на рисунке 10.

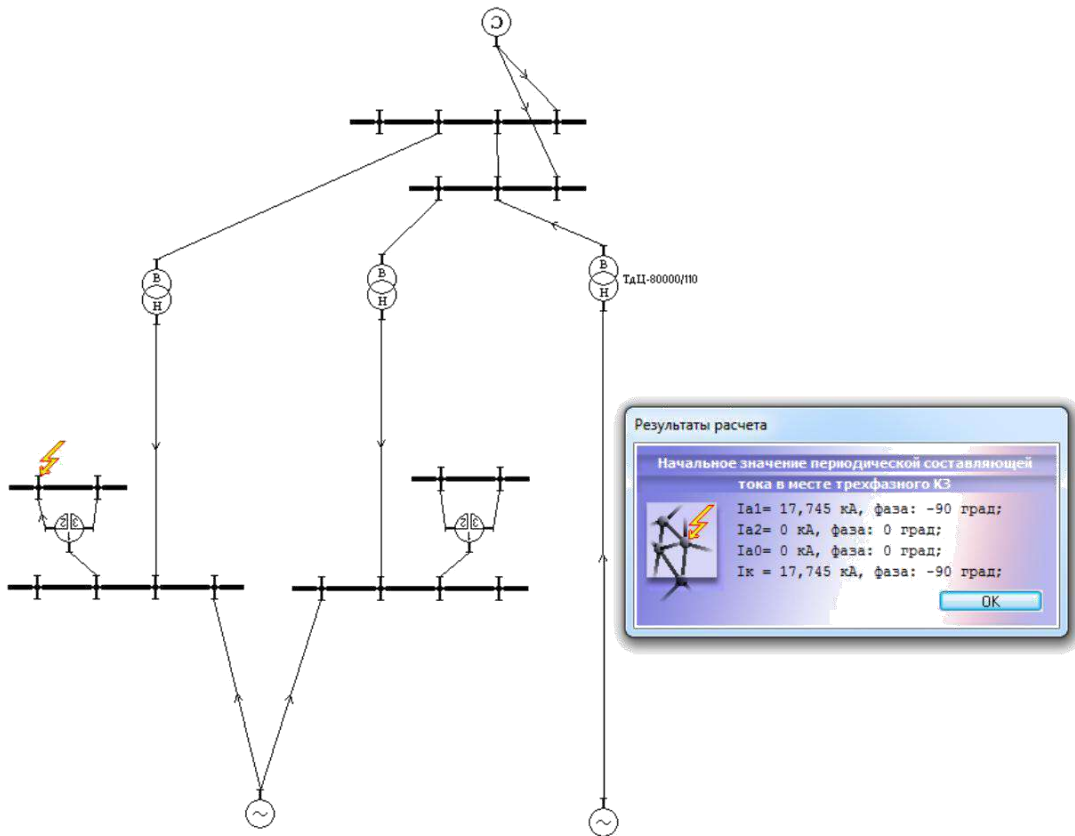


Рисунок 10 – КЗ у потребителя за реактором.

В этом случае ток $I_{п.0}=17,7$ кА, что меньше номинального тока отключения.

Осуществляем проверку выбранного выключателя:

$$I_{п.0} = \sqrt{2} \cdot I_{ном.откл} \cdot 100 = \sqrt{2} \cdot 25 \cdot 100^{40} = 11,1 \text{ кА} \quad (70)$$

Так как $I_{ном.откл} > I_{п.0}$, но $i_{ап} < i_{ат}$, то допускается проверка выключателя по полному току:

$$\sqrt{2} \cdot I_{п.0} < \sqrt{2} \cdot I_{ном.откл} \cdot (1 + 100) \quad (71)$$

$$\sqrt{2} \cdot 17,7 + 19,8 < \sqrt{2} \cdot 25 \cdot 1,4$$

$$44,8 < 49,5$$

Выключатель прошел проверку по полному току.

По включающей способности:

$$y = \sqrt{2} \cdot I_{п.0} \cdot t = \sqrt{2} \cdot 17,7 \cdot 1,955 = 48,9 \text{ кА} \quad (72)$$

По термической стойкости:

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

37

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с};$$

$$V_k = I_{\text{п0}}^2 \cdot (t_{\text{рз}} + t_{\text{полн}} + T_a) = 313,3 \cdot 0,42 = 131,6 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с},$$

Таблица 18 – Проверка выключателя LF1.

	Выключатель	Сравнение по параметрам РУ
Ном. Напряжение, кВ	10,5	10,5
Номинальный ток, А	630	371
Номинальный ток отключения, кА	25	17,7
Полное время отключения, с	0,07	
Содержание апериодической составляющей, %	40	
Суммарный ток, кА	49,5	44,8
Наибольший пик тока включения, кА	64	48,9
Номинальный ток включения, кА	25	17,7
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА	64	48,9
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	25	17,7
Термическая стойкость, (кА) ² с	1875	131,6

Выключатель прошел проверку и тем самым мы можем установить в РУ ячейки КРУ для питания потребителей. Выбранный шкаф КРУ, который способен вместить в себя выбранный выключатель КРУ С-410.

Разъединителями в случае КРУ выступают втычные контакты.

4.2) В КРУ на двух из трех фазах устанавливаются трансформаторы тока.

Выбранный ТТ ТПЛ-10. Номинальные параметры: $I_{1\text{ном}}=400 \text{ А}$, $I_{2\text{ном}}=5 \text{ А}$, $S_2=10 \text{ ВА}$, $I_{\text{дин}}=102 \text{ кА}$, $I_{\text{тер}}=40 \text{ кА}$.

Осуществляем проверку:

По условию $i_y < i_{\text{дин}}$. $i_y = 48,9 \text{ кА}$.

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с} < 1875 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с} \quad (73)$$

Трансформатор тока питает следующие измерительные приборы:

- Один амперметр марки Э-335 мощностью 0,5 ВА;
- Счетчики активной и реактивной энергии СА3-И674 и СР4-И689 мощностью 2,5 ВА каждый

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

38

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Считаем сопротивления приборов по потребляемой мощности прибора и номинальному вторичному току.

$$R_{\text{приб}} = \frac{P_{\text{приб}}}{I_{\text{н}}^2} = \frac{0,5 + 2,5 + 2,5}{25} = 0,22 \text{ Ом} \quad (74)$$

$r_k = 0,05 \text{ Ом}$ – сопротивление проводов при подключении трех и менее приборов.

$$R_{\text{провод}} = \frac{2 \cdot r_k}{3} = \frac{10}{3} = 0,4 \text{ Ом} \quad (75)$$

$$R_{\text{расч}} = 0,0283 \cdot 6 \cdot \sqrt{3} = 2,9 \text{ мОм} \quad (77)$$

Минимальное сечение для алюминиевого провода 4 мм^2 .

Выбираем провод алюминиевый сечения 4 мм^2 .

5) Необходимо выбрать токоведущие сборные шины, к которым подключаются все присоединения.

Для тока $I_{\text{max}} = 3080 \text{ А}$ выбираем медные трехполосные шины прямоугольного сечения $80 \times 10 \text{ мм}^2$.

Выбранные шины необходимо проверить на термическую и электродинамическую стойкость. Проверка осуществляется аналогично жестким шинам РУ ВН.

$$S = \frac{\sqrt{1396}}{168} = 222 \text{ мм}^2 \quad (78)$$

Сечение выбранных шин: $S = 80 \cdot 10 = 800 \text{ мм}^2$. Выбранные шины прошли проверку на термическую стойкость.

Проверка на электродинамическую стойкость проводится по формуле:

$$i_y = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot \dots$$

где i_y – ударный ток КЗ;

l – расстояние между изоляторами одной фазы. Принимаем равным 2 м ; a

– расстояние между соседними фазами. Принимаем равным 100 см ;

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

39

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

W – момент сопротивления шины относительно оси. Для прямоугольной шины, расположенной плашмя: $= \frac{1}{6}bh^3$.

С учетом вышесказанного механическое напряжение в шинах будет равным:

$$\sigma = \sqrt{3} \cdot \frac{10^3 \cdot 10^3 \cdot 2^2 \cdot 6}{10^{-2} \cdot 80^2 \cdot 1} = 165,8 \text{ МПа}$$

Допустимое механическое напряжение для медных шин марки МГМ 171,5-178 МПа. Выбранные шины выдерживают динамическое воздействие при КЗ.

б) К подобранным выше сборным шинам подключаются измерительные трансформаторы напряжения для питания измерительных приборов и синхронизации частоты генератора и электрической сети.

Выбранный трансформатор напряжения ЗНОЛП-10 с номинальной мощностью $S_{2\text{ном}}=450 \text{ ВА}$.

Подключающиеся приборы:

- 4 Ваттметра и 4 варметра, которые уже подключены к трансформаторам тока присоединений;
- 4 Вольтметра В7-77 мощностью 10 ВА;
- 3 Частотометра В89/1 мощностью 1,5 ВА;
- Синхрооскоп Э1550 мощностью 7 ВА.

Суммарная мощность, потребляемая приборами:

$$\Sigma = 8 \cdot 10 + 3 \cdot 10 + 3 \cdot 1,5 + 7 = 20 + 40 + 4,5 + 7 = 71,5 \text{ ВА} \approx 72 \text{ ВА} \approx 80 \text{ ВА}$$

Для подключения приборов используем алюминиевый провод 4 мм^2 .

С учетом выбранного оборудования строится главная схема подстанции.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

40

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

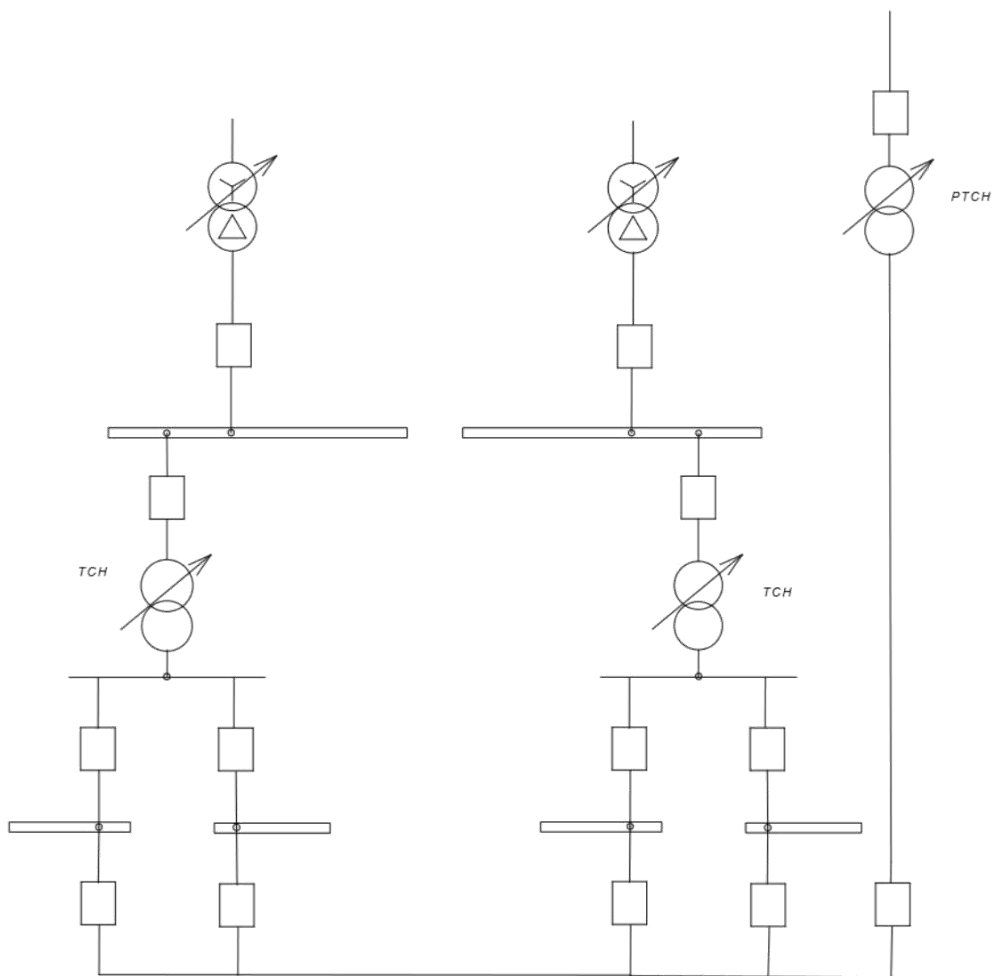


Рисунок 11 – Схема собственных нужд ТЭЦ

4.2 Выбор мощности ТСН и РТСН

Полная мощность собственных нужд для газовой ТЭЦ составляет 5% от полной мощности станции, тогда:

$$P_{\text{ТСН}} = 0,05 \cdot (2 \cdot 1) = 0,1 \text{ МВА}$$

$$P_{\text{РТСН}} = 0,05 \cdot (2 \cdot 0,8) = 0,08 \text{ МВА}$$

Так как в схеме С.Н. используется несколько ТСН, следовательно, полную мощность С.Н. необходимо разделить на их количество. Также следует учесть то, что ТСН не могут работать в режиме перегрузки.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

42

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Определим мощности трансформаторов:

$$S_{\text{ТМН}} = \frac{S_{\text{ТСН}}}{\eta_{\text{ТМН}}} = \frac{7,88}{0,99} = 7,94 \text{ МВА} \quad (82)$$

Согласно расчету выбираем трансформатор ТМН–4000/13,8 параметры которого представлены в таблице 19.

Таблица 19– Параметры трансформатора ТМН–4000/10

Тип	S, МВ·А	U _{номВН} , кВ	U _{номНН} , кВ	u _{кВН} , %	P _к , кВт
ТМН–4000/13,8	4	13,8	6,3	7,5	33,5

В случае отказа одного из ТСН его нагрузку необходимо перевести на РТСН, который должен пропускать ту же мощность, что и ТСН, следовательно РТСН будет такого же типа, как и ТСН: ТМН–4000/13,8.

4.3 Выбор трансформаторов сети 6/0,4 кВ

Как правило, полная мощность сети 0,4 кВ составляет 10% от полной мощности собственных нужд, следовательно:

$$S_{0,4 \text{ кВ}} = 0,1 \cdot S_{\text{СН}} = 0,1 \cdot 7,88 = 0,79 \text{ МВА} \quad (83)$$

Так как на каждый ТСН приходится по две полусекции, следовательно, на одну полусекции будет приходиться только часть мощности:

$$S_{\text{полусекции}} = \frac{0,79}{2} = 0,395 \text{ МВА}$$

Согласно расчёту выбираем трансформатор ТМ-250/10, параметры которого представлены в таблице 20.

Таблица 20– Параметры трансформатора ТМ–4000/10

Тип	S, МВ·А	U _{номВН} , кВ	U _{номНН} , кВ	u _{кВН} , %	P _к , кВт
ТМ–250/10	0,25	6	0,4	4,5	4,2

4.4 Выбор выключателей

При выборе выключателя его номинальные параметры сравниваются с параметрами сети в месте его установки. Выключатель выбирается по наиболее тяжелому режиму работы, который возможен в эксплуатации.

Номинальное напряжение выключателя должно быть равно или больше номинального напряжения защищаемой сети: $U_{ст} \leq U_{ном}$

Номинальный длительный ток выключателя должен быть больше номинального тока $I_{ном}$

Номинальный ток отключения выключателя должен быть больше максимального расчетного тока короткого замыкания к моменту расхождения контактов.

Выключатели для РУ С.Н. выбираются одинаковые для каждой из цепей по наибольшему току в длительном режиме.

$$I_{ном} \geq I_{расч} = \frac{S_{ном.Т}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 220 \text{ А}, (84)$$

где $S_{ном.Т}$ – номинальная мощность ТСН, МВА; $U_{ном}$ – номинальное напряжение ВН ТСН, кВ.

Номинальное напряжение $U_{ном}=10$ кВ. Номинальный максимальный длительный ток $I_{max}=220$ А (ТСН не перегружают). Начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания $I_{п.0}=39,7$ кА.

Для КЗ на С.Н. $k_y=1,6$; $T_a=0,02$ с (Система, связанная со сборными шинами 6 – 10 кВ через трансформаторы единичной мощностью).

Апериодическая составляющая тока короткого замыкания:

$$I_{ап} = I_{п.0} \cdot e^{-\frac{t}{T_a}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_a}} \right) \cdot k_y$$

где t_z – время срабатывания защиты, с;

$t_{с.в.}$ – собственное время отключения выключателя, с;

T_a – постоянная времени затухания апериодической составляющей, с.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

44

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Номинальное допускаемое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе в момент размыкания дугогасительных контактов, для времени τ :

$$I_{\text{откл}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном.откл}} \cdot 100 = \sqrt{2} \cdot 40 \cdot 100 = 565,6 \text{ кА}, \quad (86) \text{ где } \beta - \text{ относительное содержание аperiodической составляющей, \%}$$

Ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя:

$$I_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{откл}} = \sqrt{2} \cdot 565,6 = 799,7 \text{ кА} \quad (87)$$

На термическую стойкость выключатель проверяется по тепловому импульсу тока короткого замыкания:

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} > Bk; \quad (88)$$

$$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}; \quad (89)$$

$$Bk = I_{\text{ПО}}^2 \cdot (t_3 + t_{\text{с.в.}} + T_d) = 1576 \cdot 0,78 = 1229 \text{ (кА)}^2 \cdot \text{с}. \quad (90)$$

Для данных параметров подходит элегазовый выключатель LF2. Параметры выбранного выключателя представлены в таблице 21.

Таблица 21 – Параметры выключателя в КРУ на стороне С.Н.

Параметр	LF2	Расчетное значение	Проверка выбора
Ном. Напряжение, кВ	10	10	$U_{\text{ном}} \leq U_{\text{ном}}$
Номинальный ток, А	2000	220	$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{мах}}$
Номинальный ток отключения, кА	40	39,7	$I_{\text{ном.откл}} \geq I_{\text{ПО}}$
Содержание аperiodической составляющей, %	25	–	–
Аperiodическая составляющая тока, кА		14,1	3,1
Наибольший пик тока включения, кА		102	89,8
Наибольший пик тока сквозной проводимости, кА		102	39,7
Номинальный ток сквозной проводимости, кА	102	89,8	$i_{\text{пр.скв}} = i_{\text{дин}} \geq i_{\text{пр.скв}}$
Термическая стойкость, (кА) ² с	4800	1229	$I_{\text{терм}}^2 \cdot t_{\text{терм}} > Bk$

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

45

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Проверяем шины на термическую стойкость

где B_k – тепловой импульс, рассчитан при выборе выключателя;

C – функция, значение которой для алюминиевых шин равно 91

$$\left[\begin{array}{c} A \cdot c_1 \\ 2 \\ \text{мм} \end{array} \right]$$

$$= 385 \text{ мм}^2 > 78,5 \text{ мм}^2.$$

Так как круглые алюминиевые шины диаметром 10 мм не проходят по термической стойкости, следовательно, нужно выбрать шины большего диаметра. Принимаем круглые алюминиевые шины диаметром 25 мм ($q=491 \text{ мм}^2$), $I_{\text{доп}}=885 \text{ А}$.

По условию нагрева в продолжительном режиме шины проходят:

$$I_{\text{max}}=220 \text{ А} < I_{\text{доп}} = 885 \text{ А}.$$

По термической стойкости:

$$= 385 \text{ мм}^2 < 491 \text{ мм}^2.$$

Проверяем шины на механическую прочность.

Определяем пролёт l при условии, что частота собственных колебаний будет больше 200 Гц:

$$0 = 2 \cdot \sqrt{\dots} \dots (92)$$

где l – длина пролета между изоляторами, м;

J – момент инерции поперечного сечения шины относительно оси,

перпендикулярной направлению изгибающей силы, см^4 ; S – поперечное сечение шины, см^2 ;

K – коэффициент, зависящий от материала шин (для алюминия $K=173,2$).

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

47

Изменяя l и S , добиваются того, чтобы механический резонанс был исключен, т.е. $f_0 > 200$ Гц:

$$200 \geq \frac{173,2}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{S}}$$

Отсюда находим l^2 :

$$l^2 \leq \frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{\frac{1}{S}}$$

Необходимо определить момент инерции поперечного сечения шины, для шины круглого сечения:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 2,5^4}{64} = 1,92 \text{ см}^4 \quad (93)$$

Далее определяется длина пролёта между изоляторами:

$$l^2 \leq \frac{173,2}{200} \cdot \sqrt{1,92} \approx 0,54 \text{ м}^2.$$

Отсюда:

$$l = \sqrt{0,54} = 0,73 \text{ м}.$$

Принимаем расположение шин горизонтальное, пролёт 0,7 м, расстояние между фазами $a = 0,8$ м.

Определяем напряжение в материале шин от взаимодействия фаз:

$$\sigma_{\text{дон}} = \frac{F_{\text{ф}}}{S} = \frac{10 \cdot 10^3}{1,53} = 6,53 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad (94)$$

где

$$F_{\text{ф}} = \frac{3,14 \cdot 2,5^3}{32}$$

= 1,53 момент сопротивления шины относительно оси,

перпендикулярной действию усилия, см^3 .

$$\sigma_{\text{дон}} = \sqrt{3} \cdot 10^{-8} \cdot 39,7^2 = \frac{0,7^2}{0,8 \cdot 1,53} = 10,9 \text{ МПа}.$$

Что меньше $\sigma_{\text{дон}} = 91$ МПа. Таким образом, шины механически прочны.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

48

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

4.7 Выбор изоляторов

Выбираем опорные штыревые изоляторы наружной установки ОНШ-10-5-1УХЛ1 на $U_{ном} = 10$ кВ, $F_{разр} = 5000$ Н.

$$доп = 0,6 \cdot разр = 0,6 \cdot 5000 = 3000 \text{ Н} \quad (95)$$

Допустимое значение необходимо сверить с расчётным:

$$\frac{3000}{\sqrt{3} \cdot 10} > \frac{5000}{\sqrt{3} \cdot 10} \cdot 0,7$$

Изоляторы проходят по механической прочности.

4.8 Выбор трансформаторов тока

В цепь С.Н., для контроля тока, необходимо установить трансформаторы тока (ТТ). Выбираем ТЛ – 10, параметры которого представлены в таблице 23.

Таблица 23 – Параметры трансформатора тока

Параметр	ТЛ – 10	Расчетное или заданное значение	Проверка выбора
Номинальное напряжение	10 кВ	10 кВ	$U_{ном.в. выкл} \geq U_{ном.ПУ}$
Ток нормального режима	300 А	220 А	$I_{ном} \leq I_{ном}$
Ток max режима	300 А	220 А	$I_{max} \leq I_{ном}$
Проверка на электродинамическую стойкость	51 кА	38,7 кА	$I_{п.0} \leq I_{пр.скв} = I_{дин}$,
	128 кА	89,8 кА	$i_y \leq i_{пр.скв} = i_{дин}$
по тепловому импульсу тока короткого замыкания, $к \cdot A^2 \cdot с$	4800	1229	$B_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}$

Согласно ТД:

- На цепь трехобмоточного трансформатора на стороне низкого напряжения устанавливается амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактивной энергии в каждой цепи обмоток НН.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

49

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- На цепь сборных шин на каждой секции устанавливаются вольтметр для измерения междуфазного напряжения и вольтметр с переключателем для измерения трех фазных напряжений.

- На цепь секционного выключателя устанавливается только амперметр.

Для обеспечения выбранного класса точности необходимо, чтобы действительная нагрузка вторичной цепи Z_2 трансформатора тока не превосходила нормированной для данного класса точности нагрузки $Z_{2ном}$, Ом, т.е. $Z_2 \leq Z_{2ном} = 1 \text{ Ом}$.

Таблица 24 – Потребляемая мощность приборов, подключенных ко вторичной обмотке ТТ

Прибор	Тип	Нагрузка фазы, ВА		
		А	В	С
Амперметр	Э-335	-	0,5	-
Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
Варметр	Д-304	0,5	-	0,5
Счетчик ватт-часов	СА3-И674	2,5	-	2,5
Счетчик вольт-ампер часов реактивный	СР4-И676	2,5	-	2,5
Итого:		6	0,5	6

Общее сопротивление приборов:

$$= \frac{S_{приб}}{I_2^2} = \frac{6}{0,24^2} = 0,24 \text{ Ом}, (96)$$

где $S_{приб}$ - потребляемая мощность приборов наиболее загруженной фазы, МВА;

I_2^2 - вторичный ток трансформатора тока, А.

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{пров.} = Z_{2ном} - r_{приб} - r_{конт.} = 1 - 0,24 - 0,1 = 0,66 \text{ Ом}, (97)$$

где $Z_{2ном}$ - номинальная нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности 0,5 (из каталога на трансформатор тока), Ом;

$r_{конт.}$ - сопротивление контактов равным 0,1 Ом, принимаемое для четырех приборов.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

50

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Зная сопротивление проводов можно определить их сечение по выражению:

$$S = I_{расч} \cdot \rho / U_{расч} \quad (98)$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода (применяются провода с алюминиевыми жилами, $\rho=0,0283$);

$I_{расч}$ – расчетная длина соединительных проводов, учитывающая схемы включения приборов и трансформаторов тока. Длину соединительных проводов от трансформаторов тока до приборов (в оба конца) можно принять $I_{расч} = 100$ м.

По условию прочности сечение не должно быть меньше 4 мм^2 .

Сечение соединительных проводов рассчитаем по формуле (98):

$$S = 0,0283 \cdot 100 = 4,29 \text{ мм}^2, 0,66$$

Для установки на приборы выбираем кабель АКРВГ с сечением жил 5 мм^2 .

4.9 Выбор аккумуляторных батарей

В качестве источника оперативного тока для питания устройств управления, автоматики, сигнализации и релейной защиты элементов главной схемы электрических соединений и основного напряжения собственных нужд станции, а также в качестве аварийного источника для питания электродвигателей резервных особо ответственных механизмов собственных нужд, преобразователей устройств связи и аварийного освещения на электростанциях предусматривается установка аккумуляторных батарей напряжением 220 В.

На электростанциях с поперечными связями в тепловой части мощностью до 200 МВт включительно устанавливается одна аккумуляторная батарея.

На электростанциях для поддержания напряжения на шинах постоянного тока применяется тиристорный зарядно-подзарядный агрегат, позволяющий изменять число включенных в работу элементов. На подстанциях, в связи с низкой нагрузкой потребителей постоянного тока, указанный агрегат может не применяться.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

51

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

В последние годы появились новые типы аккумуляторов (БП с электродами большой поверхности, ТБ производства Тюменского аккумуляторного завода, VARTA bloc производства фирмы HAWKER GmbH Германия) с улучшенными технико-экономическими характеристиками.

Число основных элементов n_0 , присоединяемых к шинам аккумуляторной батареи в режиме постоянного подзаряда:

где $U_{ш}^{\max}$ – максимальное напряжение на шинах батареи (230 В);

$U_{пз}$ – напряжение на элементе в режиме подзаряда (2,23 для аккумуляторов типа Varta). По формуле (19) определим число основных элементов:

$$n_0 = \frac{230}{2,23} = 104.$$

В режиме полного заряда при максимальном напряжении на элементе $U_{э}^{\max} = 2,7$ В (для электростанций) к шинам присоединяется минимальное число элементов n_{\min} :

$$n_{\min} = \frac{230}{2,7} = 86, (100)$$

В режиме аварийного разряда при напряжении на элементе $U_{э}^{\min} = 1,75$ В, а на шинах батареи не ниже номинального ($U_{ш}^{\min} = 220$ В) к шинам подключается общее число элементов n :

$$n = \frac{220}{1,75} = 126, (101)$$

К тиристорному зарядно-подзарядному агрегату присоединяется:

При определении типа элемента аккумуляторной батареи необходимо знать нагрузку батареи в аварийном режиме $I_{ав}$. Она складывается из нагрузки постоянно подключенных потребителей I_n и временной нагрузки $I_{вр}$ потребителей, подключаемых в аварийном режиме. В случае отсутствия точной

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

52

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

информации в приближенных расчетах можно принимать следующие значения постоянно

включенных нагрузок: для тепловых электростанций с поперечными связями (на одну батарею) – 20А.

Для аккумуляторов *Varta* тип определяют по допустимому току разряда $I_{разр}$ при получасовом (для станции) режиме разряда:

$$I_{разр} \geq 1,05 \cdot I_{нр} = 1,05 \cdot 20 \cdot 126 = 266,7 \text{ А} \quad (103)$$

Выбранный аккумулятор проверяется по наибольшему толчковому току:

$$I_{т.макс}(30") \geq I_{т.нр}(104)$$

где $I_{т.макс} = I_{ав} + I_{нр}$ – максимальный толчковый ток; $I_{нр}$ – ток, потребляемый электромагнитными приводами выключателей, включающихся в конце аварийного режима. Учитывается одновременное включение двух выключателей.

$$I_{т.нр} = 20 + 2 \cdot 440 = 900 \text{ А}$$

Под полученные значения токов подходит аккумуляторная батарея типа *Vb 2307* (2 - напряжение, В; 3 - тип положительных электродов $3 = 50 \text{ Ач}$; 07 - число положительных электродов k), параметры которой представлены в таблице 25

Таблица 25 – Параметры *Vb 2307*

Наименование типа	Разрядный ток, А		
	Часы		
	1	0,5	30"...0"
<i>Vb 2307</i>	203,0	311,5	910,0

На рис. (13) представлены кривые зависимости напряжения на аккумуляторе типа *Varta* с пластинами емкостью 50 и 100 А·ч соответственно от тока разряда в расчете на одну пластину. По току разряда, отнесенному к одной пластине аккумулятора:

$$I_{нр} = \frac{900}{3} = 300 \text{ А} \quad (105)$$

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

53

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

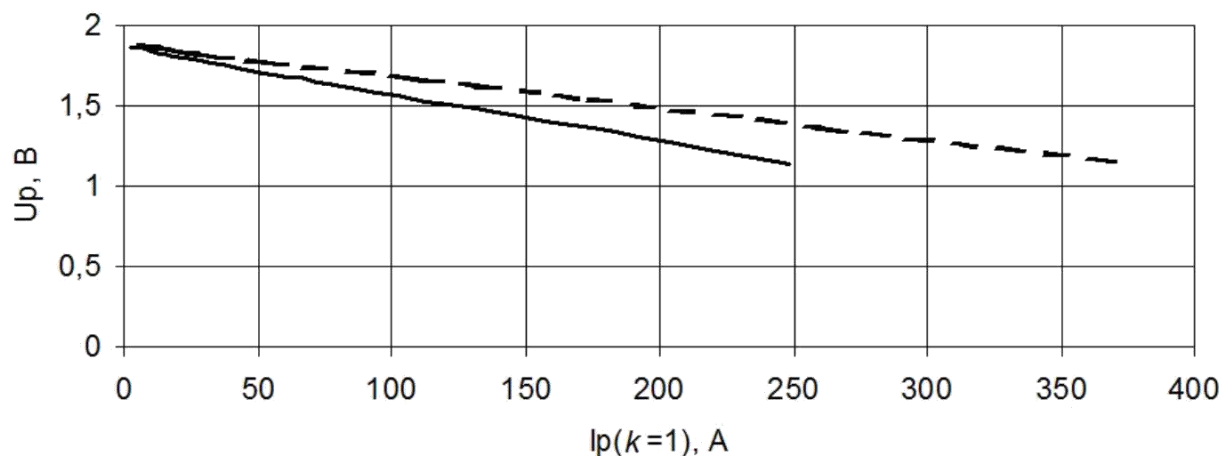


Рисунок 13 – Характеристики элемента *Varta bloc* с пластинами емкостью 50 (—) А·ч и 100 (----) А·ч

Далее определяется величину остаточного напряжения на шинах $U_{ост} = U_p \cdot n$, В, на аккумуляторах при протекании максимального толчкового тока. Зная общее число последовательных элементов n , определяют отклонение напряжения, %, на аккумуляторах:

$$\frac{U_{ост}}{U_{ном}} = \frac{U_p \cdot n}{U_{ном}} = \frac{1,5 \cdot 126}{220} \cdot 100\% = 85,9\% \quad (106)$$

Найденное значение $U_{ш}/U_{ном}$ сравнивается с допустимыми значениями отклонений напряжения по табл. 7.1 [2] с учетом потери напряжения в соединительных кабелях. Полученное значение $U_{ш}/U_{ном}$ находится в допустимом диапазоне (электроприёмник: аппаратура управления, блокировки, сигнализации и релейной защиты).

Определение мощности подзарядного и зарядного устройств.

- Ток подзарядного устройства:
 $I_{пз} = 0,05 \cdot I_{ном} + n = 0,05 \cdot 7 + 20 = 0,35 + 20 = 20,35 \text{ А} \quad (107)$
- Напряжение подзарядного устройства:
 $U_{пз} = 2,23 \cdot U_{ном} = 2,23 \cdot 104 = 231,9 \text{ В} \quad (108)$

- Мощность подзарядного устройства:

$$P_{\text{нз}} = U_{\text{нз}} \cdot I_{\text{нз}} = 20,35 \cdot 231,9 = 4719,2 \text{ Вт} \approx 4,7 \text{ кВт. (109)}$$

- Зарядное устройство рассчитывается на ток заряда:

$$I_{\text{з}} = 5 \cdot \left(\frac{P_{\text{нз}}}{U_{\text{нз}}} + I_{\text{нз}} \right) = 5 \cdot \left(\frac{4719,2}{20,35} + 231,9 \right) = 5 \cdot (231,9 + 231,9) = 5 \cdot 463,8 = 2319 \text{ А. (110)}$$

- Напряжение аккумуляторной батареи в конце заряда:

$$U_{\text{з}} = 2,75 \cdot U_{\text{нз}} = 2,75 \cdot 126 = 346,5 \text{ В. (111)}$$

- Мощность зарядного устройства:

$$P_{\text{з}} = U_{\text{з}} \cdot I_{\text{з}} = 346,5 \cdot 55 = 19054,5 \text{ Вт} \approx 19 \text{ кВт. (112)}$$

4.10 Проверка успешности самозапуска электродвигателей С.Н. Самозапуск

– это восстановление нормальной работы электродвигателей

С.Н. после кратковременного перерыва питания в системе С.Н.

Успешный самозапуск – это когда ответственные электродвигатели достигают нормальной частоты вращения за время, допустимое по условиям сохранения устойчивости технологического режима станции и нагрева электродвигателей.

Успешный самозапуск позволяет:

- удерживать в работе основное оборудование станции при К.З. в электрических сетях, при ошибочных и самопроизвольных отключениях рабочего питания С.Н.;
- обеспечить безопасный для оборудования аварийный останов энергетических агрегатов при отказах элементов цепи рабочего питания С.Н.
- ускорить восстановление нормальной работы энергетических агрегатов при некоторых отказах в технологической схеме;

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

55

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

Проверка успешности самозапуска электродвигателей С.Н. производится упрощённым методом:

$$ШО = 1 + \sqrt{\frac{I_{\text{п}}^2 \cdot x_{\text{вн}}}{U_{\text{ист}}^2}} \geq U_{\text{доп}} \quad (113)$$

где $U_{\text{ист}}$ – напряжение источника питания системы С.Н. ($U_{\text{ист}} = 6\text{кВ}$); $U_{\text{дв.н.}}$ – номинальное напряжение двигателей ($U_{\text{дв.н.}} = 6\text{кВ}$);

$x_{\text{вн}}$ – сопротивление внешней цепи от шин бесконечной мощности до шин самозапускающейся нагрузки, включающее в себя сопротивление системы ($x_{\text{с}}$), линии ($x_{\text{л}}$), трансформатора ($x_{\text{т}}$), или реактора ($x_{\text{р}}$), шин ($x_{\text{ш}}$);

K_t – коэффициент, учитывающий уменьшение кратности пускового тока электродвигателей при частичном затормаживании по сравнению с полным;

$I_{\text{п}}$ – суммарный пусковой ток полностью заторможенных двигателей;

– допустимое напряжение на шинах (для ТЭС высокого давления

$U_{\text{доп}} = 0,6U_{\text{ном}}$).

$$= = \frac{100\% \cdot 6^2}{100^4} = \frac{4,5 \cdot 6,3^2}{100^4} = 0,45 \text{ Ом}, \quad (114)$$

где, $ik\%$ – напряжение короткого замыкания (табл. 1), %;

$S_{\text{ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, МВА.

Необходимо определить время перерыва питания ($t_{\text{п.п}}$) рассмотрим худший случай, при котором время перерыва будет максимальным: КЗ на ТСН и основная защита не сработала.

$$t_{\text{п.п}} = t_{\text{з.р.}} + t_{\text{отк}} + t_{\text{авр}} = 1,25 + 0,055 + 0,5 = 1,805 \text{ с}, \quad (115)$$

где $t_{\text{з.р.}}$ – время срабатывания резервной защиты,

с; $t_{\text{в.отк.}}$ – время отключения выключателя, с;

– время автоматического ввода резерва, с.

По полученному $t_{\text{п.п}}$ определяется $K_t = 0,75$ по рис. 14.

$t_{\text{АВР}}$

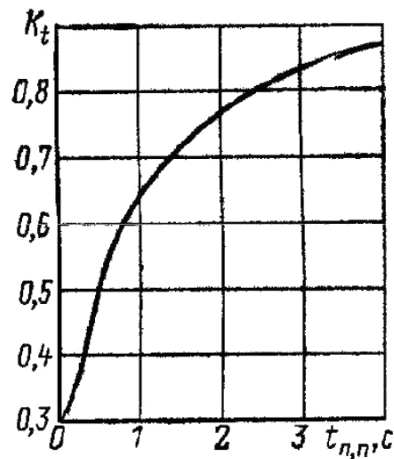


Рисунок 14 – Зависимость $K_t(t_{п.п})$

Определим пусковой ток для эквивалентного двигателя:

$$I_{дв.н} = \frac{P_{дв.н}}{U_{дв.н} \cdot \cos \varphi_{дв} \cdot \sqrt{3}} = \frac{4}{0.94 \cdot 0.87 \cdot \sqrt{3} \cdot 6.3} = 448 \text{ А.} \quad (116)$$

где $P_{дв.н} = P_{дв.с} = S_{ном.т}$ – мощность эквивалентного двигателя, которая равна мощности трансформатора ($P_{дв.н} = 4$ МВт); $\eta_{дв}$ – КПД двигателя ($\eta_{дв} = 0,94$);

$\cos \varphi_{дв}$ – коэффициент мощности двигателя ($\cos \varphi_{дв} = 0,87$).

Суммарный пусковой ток полностью заторможенного эквивалентного двигателя:

$$I_{п} = K_{п} \cdot I_{дв.н} = 5,6 \cdot 448 = 2508,8 \text{ А.} \quad (117)$$

где $K_{п}$ – коэффициент пуска ($K_{п} = 5,6$).

Подставив полученные значения в формулу (33) получим:

$$I_{п} = 1 + \frac{2 \cdot 2508,8 \cdot 2508,8}{6 \cdot 10^3} = 4,82 \text{ кВ} \geq \frac{6 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 6,3} = 3,78 \text{ кВ.}$$

Условие выполняется, следовательно, самозапуск электродвигателей С.Н. будет успешным.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

57

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

5 ВЫБОР И РАСЧЁТ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Назначение релейной защиты и автоматики (РЗА) для ТЭЦ осуществляется по «Правилам устройства электроустановок».

Проведём расчёт дифференциальной токовой защиты (ДЗТ) для трансформаторов связи. Схема соединений представлена на рисунке 15.

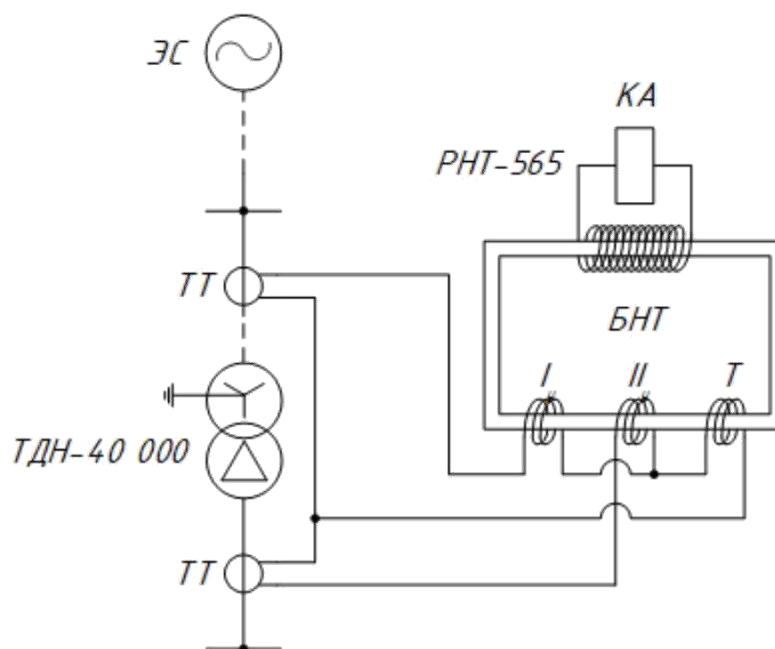


Рисунок 15 – Схема соединений

Примечание. БНТ – быстронасыщающийся трансформатор. ДЗТ состоит из БНТ и реле тока РТ-40.

Данные для последующих расчётов для удобства сведены в таблицу 26.

Таблица 26 – Исходные данные для расчётов

Тип	S , МВ·А	$U_{номВН}$, кВ	$U_{номНН}$, кВ	$U_{кВН}$, %	P_x , кВт	P_k , кВт	Сх. и группа соед. обмот.
2хТДН– 40000/110	40	115	10,5	10,5	50	160	Y/Δ

5.4 Расчёт максимального тока при трёхфазном КЗ за трансформатором

Изобразим на рисунке 16 схему замещения (СЗ) левой части схемы соединений без БНТ.

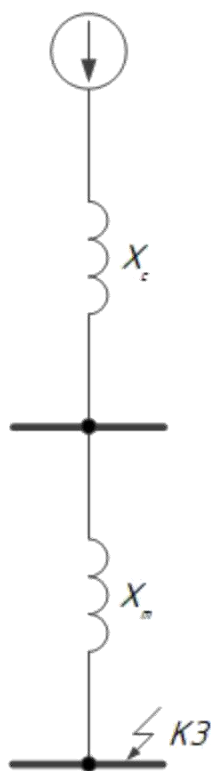


Рисунок 16 - СЗ для системы и трансформатора

ЭДС системы E_c принимаем по шкале средних номинальных напряжений равной 115 кВ.

Сопротивление системы X_c найдём по следующей формуле:

$$X_c = \frac{(U_{\text{ср. ном. ВН}})^2}{S_{\text{КЗ}}} = \frac{115^2}{3000} = 4,4 \text{ Ом} \quad (118),$$

где $U_{\text{ср. ном. ВН}}$ – среднее номинальное напряжение (для 110 равняется

115), кВ.

А сопротивление трансформатора X_T – по формуле:

$$X_T = \frac{U_k (U_{\text{ср. ном. ВН}})^2}{100\% \cdot S_{\text{н}}} = \frac{13 \cdot 115^2}{100 \cdot 40} = 42,9 \text{ Ом} \quad (119)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

59

Приведём ток КЗ к стороне ВН:

$$I_{КЗВН}^{(3)} = \frac{E_c \cdot 10^3}{\sqrt{3(X_c + X_c)}} = \frac{115 \cdot 10^3}{\sqrt{3(4,4 + 42,9)}} = 1403,8 \text{ А} \quad (120)$$

И к стороне НН:

$$I_{КЗНН} = I_{КЗВН} \frac{U_{ном2}}{U_{ном1}} = 1403,8 \cdot \frac{110}{10} = 15442 \text{ А} \quad (121)$$

5.5 Расчёт номинальных токов обмоток

Для стороны ВН:

$$I_{н1} = \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{ном1}} = \frac{40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 110}$$

И НН:

$$I_{НН1} = \frac{S_n \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_{ном2}} = \frac{40 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10} = 2309,4 \text{ А} \quad (123)$$

5.6 Рабочие токи в максимальном режиме

Согласно ПУЭ принимаем коэффициент перегрузки за 1,4.

$$I_{раб. макс. ВН} = K_n \cdot I_{НН1} = 1,4 \cdot 2309,4 = 3213,2 \text{ А} \quad (124)$$

$$I_{раб. макс. НН} = K_n \cdot I_{НН1} = 1,4 \cdot 2309,4 = 3213,2 \text{ А} \quad (125)$$

5.7 Трансформаторы тока (ТТ) и схемы соединения их цепей

На стороне НН имеем ТТ – ТОЛ-Э-6, а на стороне ВН – ТГФМ-220.

Т. к. трансформатор соединён по схеме Y/Δ-11, то на стороне ВН примем схему «полный треугольник» (коэффициент схемы равен корню из трёх), а на стороне НН – «полная звезда» (коэффициент схемы равен единице) для компенсации сдвига фаз между токами плеч.

Выберем коэффициенты трансформации в соответствии с номинальными коэффициентами трансформации для ТТ:

$$T. K. I_{\text{раб. макс. ВН}} = 3081,4 \text{ A} \quad (120)$$

$$I_{\text{раб. макс. ВН}} = 3233,16 \text{ A} \quad (121)$$

$$n_{\text{ТВН}} = \frac{3100}{5} = 620$$

$$n_{\text{ТТНН}} = \frac{3300}{5} = 660$$

Найдём токи во вторичных цепях ТТ в рабочем режиме.

$$I_{\text{ВН2}} = \frac{I_{\text{раб. макс. ВН}}}{n_{\text{ТВН}}} = \frac{3081,4}{620} = 4,97 \text{ A} \quad (122)$$

$$I_{\text{ТТНН2}} = \frac{I_{\text{раб. макс. ВН}}}{n_{\text{ТТНН}}} = \frac{3233,16}{660} = 4,91 \text{ A} \quad (123)$$

Разница получившихся токов плеч соответствует наибольшему небалансу в рабочем режиме трансформатора.

5.8 Расчёт тока срабатывания защиты

Ток срабатывания защиты найдём по следующей формуле:

$$I_{\text{с. з. мин}} = K_n \cdot K_b \cdot I_{\text{ВН1}} = 1,5 \cdot 1 \cdot 2201 = 3301,5 \text{ A} \quad (128)$$

где K_n — коэффициент надёжности (принимается равным 1,5); K_b — коэффициент выгоды (равен единице).

5.9 Ток срабатывания реле

Определим ток срабатывания по формуле:

$$I_{\text{с. р.}} = I_{\text{с. з. мин}} K_{\text{сх}} = 3301,5 \sqrt{3} = 5715,5 \text{ A} \quad (129)$$

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

61

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

5.10 Определение числа витков

Найдём число витков в первой уравнительной обмотке (I_y), считая, что для БНТ достаточно сформировать минимальную МДС срабатывания реле в 100 А.

$$W = \frac{F_{\text{нр}}}{I_y} = \frac{100}{8,6} = 11,744186046511628 \approx 11,744186046511628 (130)$$

Округлим в меньшую сторону. Следовательно, $W'_{Iy} = 11$.

Определим число витков во второй уравнительной обмотке:

$$W = W' \cdot \frac{I_{\text{нр}}}{I_{\text{нб}}} = 11 \cdot \frac{8,6}{8,4} = 11,30952380952381 (131)$$

Округлим до $W_{\text{нб}}$

$$y = 11$$

5.11 Расчёт тока небаланса и числа витков тормозной обмотки

Ток небаланса рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{нб}}^I = I_{\text{нб}}^I + I_{\text{нб}}^{II} + I_{\text{нб}}^{III},$$

где $I_{\text{нб}}^I$ — ток, обусловленный погрешностью ТТ, А;

$I_{\text{нб}}^{II}$ — ток,

обусловленный работой регулировки под нагрузкой

(РПН), А;

$I_{\text{нб}}^{III}$ — ток, обусловленный округлением числа витков, А.

$$I_{\text{нб}}^I = K_a \cdot K_{\text{одн}} \cdot \varepsilon \cdot I_{\text{КЗВН}}^{(3)} = 1 \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 1403,8 = 140,38 \text{ А},$$

где K_a — коэффициент,

учитывающий бросок апериодической

составляющей (если в схеме имеется БНТ, принимается равным единице);

$K_{\text{одн}}$ — коэффициент однотипности ТТ (если ТТ во всех фазах

одинаковы, то принимается равным единице);

ε — полная погрешность ТТ (для точности 10Р принимается равным 0,1).

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

62

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

$$I_{нб} II = \Delta u 100\% R_{ПН} I_{КЗВН}^{(3)} = 100^{10} 1403,8 = 140,38 \text{ А} \quad (132)$$

где

$\Delta u_{ПН}$ — максимальное отклонение напряжения, обеспечиваемое

РПН.



Итого:

$$I_{нб} = 70 + 70 + 0,06 \approx 140 \text{ А}$$

Число витков тормозной обмотки находим по формуле:

$$W = K \frac{I_{нб}}{I_r} W' = 1,5 \frac{140}{11} = 1,6 \quad (134)$$

Т. к. дифференциальное реле защиты (ДЗТ) имеет наклонную характеристику торможения, то:

$$W'_{\text{диф}} = \frac{W_{\text{диф}}}{\tan \varphi} = \frac{1,6}{0,75} = 2,19 \quad (135)$$

где $\tan \varphi$ — коэффициент, учитывающий наклон характеристики торможения (принимается равным 0,75).

Округлим полученное значение в большую сторону и определим фактическое число витков.

$$W'_{\text{диф}} = 3$$

5.12 Оценка коэффициентов чувствительности

Находится при КЗ за трансформатором, когда торможение отсутствует.

$$K_{\text{с}} = \frac{I_{КЗВН}^{(3)}}{\sqrt{3} I_{нб}} = \frac{1403,8}{\sqrt{3} \cdot 140} = 2,30315$$

где $K_{\text{с}}$ — коэффициент относительной чувствительности (для схемы «полная звезда» равен единице).

Согласно ПУЭ коэффициент чувствительности должен быть больше 2.

Как видно из результата, условие соблюдается.

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

63

Изм. Лист № докум. Подпись Дата

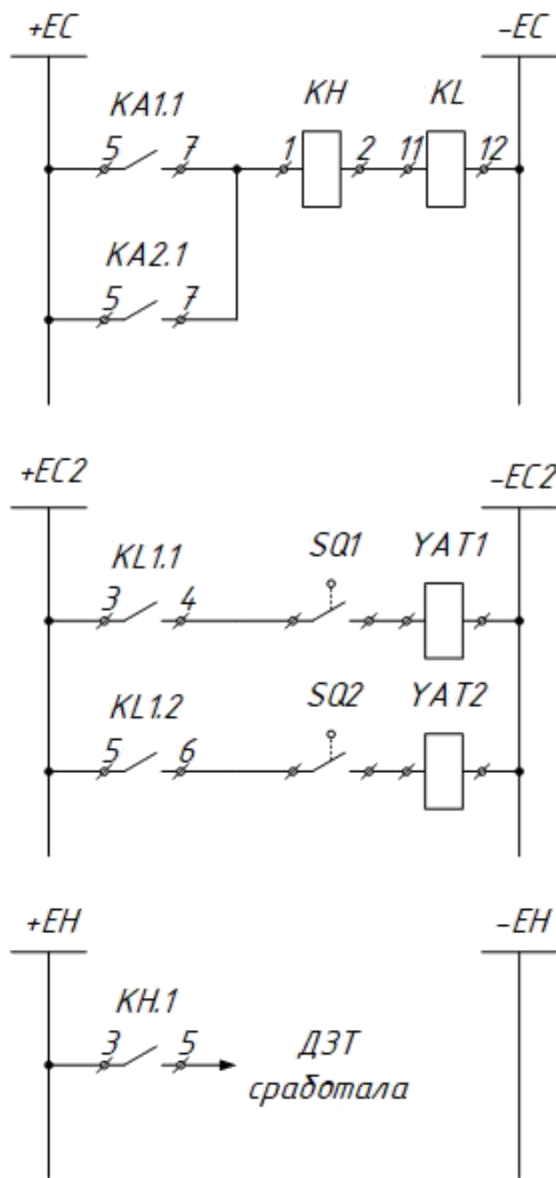


Рисунок 18 – Схема цепей оперативного тока

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Результаты анализа принятые средства защиты и значения нормативных уровней вредных факторов представлены в табл. 28.

Опасные и вредные факторы	Источники, места, причины возникновения опасных и вредных факторов	Нормируемые параметры	Основные средства защиты
1	2	3	4
Вредные факторы			
Аномальные параметры микроклимата	В теплый период времени повышенная температура воздуха из-за работающего оборудования.	холодный период теплый период	Применение приточно-вытяжной вентиляции.
Аномальное освещение	Недостаточная площадь оконных проемов и освещенность от источников искусственного света.	$e_n=1,5, \%$ $E_n=200, \text{лк}$	Очистка поверхности стекол Оконных проемов, увеличение количества ламп и т.д.
Механическое оборудование с движущимися и вращающимися частями.	Вращающиеся валы, маховики, муфты сцепления.		Устройства ограждения, дистанционное управление, знаки безопасности, звуковые сигналы.
Повышенный уровень шума в помещении	Соударение металлических частей машин и механизмов, течение жидкостей по трубам и каналам	$L_A=80 \text{ дБА}$	Звукоизоляция ограждающих конструкций, устройства звукоизолированных кабин

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

13.03.02.2018.236.00.00.ПЗ

Лист

68

Продолжение таблицы 28

<p>Производственная вибрация</p>	<p>Компрессора, насосы.</p>	<p>$m/s * 10^{-2}$ m/c</p>	<p>Установка вибрирующих машин на отдельный фундамент. Виброизоляция, т.е. установка других элементов между вибрирующей машиной и основанием; применение вибропоглощающих мастик, нанесенных на кожу и ограждения.</p>
----------------------------------	-----------------------------	---	--

Опасные факторы

<p>Опасность поражения электрическим током</p>	<p>Токоведущие части оборудования, находящиеся под напряжением, корпуса электрооборудования.</p>	<p>Ом – удельное сопротивление заземлителя I, mA – ток проходящий через тело человека</p>	<p>Защитные ограждения, устройства автоматического контроля и сигнализации, устройство защитного заземления и зануления, устройства автоматического отключения, дистанционное управление</p>
--	--	---	--

Продолжение таблицы 28.

Опасность возникновения пожаров и взрывов	Встроенное распределительное устройство и высоковольтное оборудование.	Введение категорий по взрыво-, пожароопасности А, Б, В, Г, Д	Устройства аварийной сигнализации, применение средств пожаротушения с непроводящим ток веществом.
Опасность поражения молнией	Распределительное устройство.	Устройства молниезащиты	Установка молниеотводов.

6.2.1. Производственное освещение.

Естественное освещение положительно влияет не только на зрение, но также тонизирует организм человека в целом и оказывает благоприятное психологическое воздействие. В связи с этим все помещения в соответствии с санитарными нормами и правилами должны иметь естественное освещение.

Оценка количественной характеристики естественного освещения выражается через коэффициент естественного освещения (КЕО) в процентах. КЕО - отношение естественной освещенности, создаваемой в некоторой точке внутри помещения светом неба, к одновременному значению наружной освещенности, создаваемой светом полностью открытого небосвода.

Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем, когда по условиям технологии, организации производства или климата в месте строительства требуются объемно-планировочные решения, которые не позволяют обеспечить нормированные значения КЕО. При недостаточном по

