

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения завода по производству сухих
строительных смесей

Обучающийся

А.А. Батыршин

(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.С. Романов

(ученая степень, звание, И. О. Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Объектом разработки является завод по производству сухих строительных смесей.

Целью выпускной работы является проектирование системы электроснабжения завода по производству сухих строительных смесей.

В процессе работы выполнены следующие разработки:

- определение нагрузки завода;
- выбор цеховых питающих трансформаторов;
- определение общей нагрузки завода;
- выбор проводников 0,4-10кВ;
- выбор силового высоковольтного электрооборудования;
- расчет заземляющего устройства и системы молниезащиты;

Разработанная схема электроснабжения имеет высокую надежность, экономичность. Она является безопасной и удобной в эксплуатации, обеспечивает надлежащее качество и уровень напряжения.

Расчеты производились на основе актуальных технических норм, стандартов и методик. Выбранное электрооборудование является актуальным, соответствующее каталогам производителей. Это делает данную работу грамотной и современной.

Выпускная квалификационная работа состоит из 43 страниц, в состав которой входит 12 таблиц, 11 рисунков.

Содержание

Введение.....	4
1 Расчет электрических нагрузок завода	5
2 Выбор цеховых трансформаторов	9
3 Расчет токов короткого замыкания	16
4 Выбор кабелей и высоковольтного оборудования	21
5 Расчет заземления и молниезащиты подстанции	33
Заключение	41
Список используемых источников.....	42

Введение

Объектом разработки является завод по производству сухих строительных смесей.

Целью выпускной работы является проектирование системы электроснабжения завода по производству сухих строительных смесей и обеспечение потребителей предприятия электроэнергией.

Завод включает в себя следующие цеха и здания:

- подготовительный цех;
- компрессорная;
- цех сухих смесей;
- ремонтно-механический цех;
- склад сырья;
- склад готовой продукции;
- АБК.

Большинство цехов и зданий завода имеют I и II категории электроснабжения. Предприятие получает питание от энергосистемы 10кВ по существующим кабельным линиям АПвП 3(1×185) длиной участка 2,1 км. Мощностью 3-ех фазного тока короткого замыкания в начале питающей кабельной линии составляет $S_{кз}=380$ МВА. Распределительная сеть завода также выполнена алюминиевым кабелем с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвП, который будет прокладываться на эстакадах при нормальных условиях. Предприятие осуществляет работу в 2 смены. Время использования максимальной нагрузки составляет $T_{max}= 4500$ ч. Низковольтная распределительная сеть завода выполнена кабелем алюминиевым кабелем с изоляцией из поливинилхлоридного материала марки АВВГ, который прокладывается открыто в воздухе.

Выпускная квалификационная работа состоит из 43 страниц, в состав которой входит 12 таблиц, 11 рисунков.

1 Расчет электрических нагрузок завода

Перед тем как начать расчет нагрузок сформируем группы цехов для выбора питающих трансформаторов, т.е. объединим цеха в соответствии их месторасположения и технологического процесса для питания их от трансформаторной подстанции. Здания с малой нагрузкой, для которых установка собственных трансформаторов нецелесообразна, будут получать питание от ТП других цехов.

По установленной мощности потребителей выделим следующие группы:

- группа 1: подготовительный цех;
- группа 2: компрессорная;
- группа 3: цех сухих смесей;
- группа 4: ремонтно-механический цех, склад сырья;
- группа 5: склад готовой продукции, АБК.

Определим расчетную нагрузку каждой ТП согласно рекомендациям РТМ 36.18.32.4.92 [16] и [12].

Расчетная силовая нагрузка на шинах ТП определяется по выражениям:

$$P_p = K_p \cdot \sum (K_{ui} \cdot P_{ni}), \quad (1)$$

$$Q_p = K_p \cdot \sum (P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i), \quad (2)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (3)$$

где K_p – коэффициент расчетной нагрузки;

K_u – коэффициент использования индивидуальный или групповой;

P_n – номинальная мощность приемника или группы приемников;

$\operatorname{tg} \phi$ – коэффициент реактивной мощности индивидуальный или групповой.

Коэффициент расчетной нагрузки K_p выбирается по [16, таблица 2]. K_p

зависит от группового коэффициента использования K_u и эффективного числа приемников $n_э$ в группе:

$$K_u = \frac{\sum P_{ni} \cdot K_{ui}}{\sum P_{ni}}, \quad (4)$$

$$n_э = \frac{(\sum P_{ni})^2}{\sum n \cdot P_{ni}^2}. \quad (5)$$

«При значительном числе электроприемников (магистральные шинопроводы, шины цеховых трансформаторных подстанций, в целом по цеху, корпусу, предприятию) эффективное число электроприемников можно определить по упрощенному выражению

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum P_{ni}}{P_{n \max}}, \quad (6)$$

где $P_{n \max}$ – мощность наиболее мощного электроприемника в группе»
[16].

При нахождении нагрузки к силовой мощности необходимо добавить расчетную осветительную нагрузку.

Определим нагрузку первой группы цехов.

$$n_э = \frac{2 \cdot 960}{80} = 17.$$

$$K_u = \frac{960 \cdot 0,51}{960} = 0,51.$$

Коэффициент расчетной нагрузки по [16, таблица 2] равен $K_p = 0,85$.

Расчетная силовая нагрузка:

$$P_p = 0,85 \cdot 960 \cdot 0,51 = 416,2 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 0,85 \cdot 960 \cdot 0,51 \cdot 0,9 = 375 \text{ квар.}$$

Суммарная нагрузка с учетом осветительной:

$$P_{pn} = 416,2 + 12 = 482,2 \text{ кВт},$$

$$Q_{pn} = 375 + 8,2 = 383,2 \text{ квар.}$$

$$S_{pn} = \sqrt{416,2^2 + 383,2^2} = 574 \text{ кВА.}$$

Определение нагрузок для оставшихся групп определяется аналогично.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Расчетные нагрузки цехов

Цех	$P_{н\max}$, кВт	P_n , кВт	k_u	$tg\varphi$	$K_u \cdot P_n$	$\frac{K_u \cdot P_n}{tg\varphi}$	n_{Σ}	K_p	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
Группа 1											
Силовая	80	960	0,51	0,9	490	441	17	0,85	416	375	-
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	12	8,2	-
Итого по группе 1	-	-	-	-	-	-	-	-	428	383,2	574
Группа 2											
Силовая	100	1480	0,51	0,94	755	710	30	0,8	604	568	-
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	15	9,2	-
Итого по группе	-	-	-	-	-	-	-	-	619	577	846
Группа 3											
Силовая	300	3460	0,5	0,93	1730	1609	23	0,85	1471	1368	-
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	24	16	-
Итого по группе	-	-	-	-	-	-	-	-	1495	1384	2037
Группа 4											
Силовая	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рем.-механ. цех	20	450	0,2	0,54	90	49	-	-	-	-	-
Склад сырья	50	620	0,57	0,95	353	336	-	-	-	-	-
Итого силовая	-	1070	0,41	0,87	443	384	42,8	0,75	333	288	440
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рем.-механ. цех	-	-	-	-	-	-	-	-	12	5	-
Склад сырья	-	-	-	-	-	-	-	-	12	7,5	-
Итого осветит.	-	-	-	-	-	-	-	-	24	12,5	-

Продолжение таблицы 1

Цех	$P_{н\max},$ кВт	$P_n,$ кВт	k_u	$tg\varphi$	$K_u \cdot P_n$	$K_u \cdot P_n \cdot$ $tg\varphi$	n_{ε}	K_p	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ кВАр	$S_p,$ кВА
Итого по группе	-	-	-	-	-	-	-	-	357	301	466
Группа 5											
Силовая	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Склад готовой продукции	50	660	0,6	0,95	396	376	-	-	-	-	-
АБК	-	620	0,4	0,8	248	198	-	-	-	-	-
Итого силовая	-	1280	0,5	0,89	644	575	51	0,8	515	460	690
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Склад готовой продукции	-	-	-	-	-	-	-	-	13	8,1	-
АБК	-	-	-	-	-	-	-	-	13	8,1	-
Итого осветит.	-	-	-	-	-	-	-	-	26	16,2	-
Итого по группе	-	-	-	-	-	-	-	-	541	476,2	721

Вывод по разделу.

В данном разделе производился расчет электрических нагрузок цехов методом коэффициента расчетной нагрузки. По данному методу расчет нагрузок силовых электроприемников производится согласно «Указаниям по расчету электрических нагрузок» РТМ 36.18.32.4.-92. Данный метод применяется для расчета, когда неизвестны графики нагрузок. На основании данных расчетов в последующем будет производиться выбор цеховых трансформаторов

2 Выбор цеховых трансформаторов

К установке примем сухие трансформаторы. По сравнению с масляными они имеют ряд преимуществ:

- не требуют дополнительных сооружений и затрат, таких как наличие маслохозяйства и др.;
- являются взрыво- и пожаробезопасными;
- имеют более низкие потери короткого замыкания;
- минимальные требования к обслуживанию.

Условие выбора мощности трансформатора:

$$S_{HT} = \frac{S_{pn}}{\beta_T \cdot N_T}, \quad (7)$$

где S_p – расчетная нагрузка;

n – количество трансформаторов;

β_T – коэффициент загрузки трансформаторов.

«Для трансформаторов цеховых ТП следует принимать следующие значения коэффициента загрузки:

0,65–0,7 – для цехов с преобладающей нагрузкой электроприемников первой категории при использовании двухтрансформаторных ТП;

0,7–0,8 – для цехов с преобладающей нагрузкой электроприемников второй категории при однотрансформаторных ТП с взаимным резервированием трансформаторов на напряжении до 1 кВ» [12].

Необходимая мощность трансформаторов для 1 группы ТП-1:

$$S_T = \frac{574}{0,7 \cdot 2} = 410 \text{ кВА.}$$

В эксплуатацию примем 2 трансформатора ТСЛ-630 мощностью

630кВА (рисунок 1). Для остальных групп расчет производится аналогично. Результаты расчетов сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результирующий расчет нагрузок по ТП

Наименование	P_p , кВт	Q_p , кВт	S_p , кВт	β_T	Трансформатор
группа 1, ТП-1	428	383,2	574	0,7	2×ТСЛ 630/10
группа 2, ТП-2	619	577	846	0,7	2×ТСЛ 630/10
группа 3, ТП-3	1495	1384	2037	0,7	2×ТСЛ 1600/10
группа 4, ТП-4	357	301	466	0,7	2×ТСЛ 400/10
группа 5, ТП-5	541	476	721	0,7	2×ТСЛ 630/10



Рисунок 1 – Трансформатор ТСЛ

Состав потребителей собственных нужд (СН) подстанций зависит от типа подстанции, типа электрооборудования. Потребители СН получают питание от трансформаторов собственных нужд (ТСН).

От ТСН запитывается распределительное устройство собственных нужд, которое выполняется с одиночной системы шин и секционным автоматическим выключателем.

Потребителями собственных нужд на подстанции являются:

- электроосвещение здания и окружающей территории;
- устройства подогрева и освещения ячеек КРУ;
- устройства отопления и вентиляции помещений;
- щит постоянного тока.

Определим мощность потребителей собственных нужд и данные сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Нагрузка СН подстанции

Электроприемники	P , кВт	$\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$	Q , квар
Подогрев и освещение шкафов КРУ 10 кВ	10	0,95/0,33	3,3
Внутреннее и внешнее освещение	15	0,95/0,33	4,95
Отопление подстанции	40	0,9/0,48	19,2
Вентиляция	10	0,88/0,54	5,4
Итого:	75	-	32,8

Расчетная мощность нагрузки СН:

$$S_{расч} = \sqrt{75^2 + 32,8^2} = 82 \text{ кВА},$$

«Трансформаторы собственных нужд выбираются по условию полной расчетной мощности. При условии полного резервирования электроснабжения номинальная мощность трансформаторов выбирается из условия питания всей нагрузки в послеаварийном режиме» [11].

Условие выбора ТСН:

$$S_{ном.тр} \geq S_{расч} = 82 \text{ кВА}.$$

Принимаем в кэсплуатацию сухой трансформатор мощностью 100 кВА ТСЛ-100/10.

«Потери активной мощности в силовом трансформаторе вычисляются по формуле:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \Delta P_K \cdot \beta_T^2, \quad (8)$$

где ΔP_X - потери холостого хода трансформатора;

ΔP_K - потери короткого замыкания трансформатора» [12].

«Потери реактивной мощности в силовом трансформаторе вычисляются по формуле:

$$\Delta Q_T = \frac{S_{HT}}{100} \cdot (I_X + U_K \cdot \beta_T^2), \quad (9)$$

где I_X - ток ХХ трансформатора, %;

U_K - напряжение КЗ трансформатора, %» [12].

Определение потерь мощности в трансформаторах произведем в таблице 4.

Таблица 4 – Расчет потерь мощности в трансформаторах

ТП			Трансформатор							Всего по ТП	
Обозначение	Трансформатор	S_H , кВА	β_T	P_X , кВт	P_K , кВт	I_X , %	U_K , %	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , квар	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , квар
ТП-1	2×630	630	0,7	1,3	7,1	0,8	6	4,8	26,7	9,6	53,4
ТП-2	2×630	630	0,7	1,3	7,1	0,8	6	4,8	26,7	9,6	53,4
ТП-3	2×1600	1600	0,7	3,3	11,5	0,6	6	8,9	100	17,8	200
ТП-4	2×400	400	0,7	1,15	5,9	1	6	4	16,3	8	32,6
ТП-5	2×630	630	0,7	1,3	7,1	0,8	6	4,8	26,7	9,6	53,4
ТСН	2×100	100	0,5	0,42	2,1	1,5	6	0,95	1,92	1,9	3,84
Итого по заводу										56,5	396,6

После определения потерь в трансформаторах необходимо произвести корректировку суммарной нагрузки завода.

«Расчетная активная нагрузка предприятия (на шинах напряжением 6-10кВ РП, ГПП или ГПВ) определяется по формуле:

$$P_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni}) + P_{po} + \Delta P_T, \quad (10)$$

где K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузок;

m – число присоединений на сборных шинах 6-10кВ РП, ГПП или ГПВ, включая высоковольтные электроприемники;

K_{ui} – среднее значение коэффициента использования i -ого присоединения;

P_{ni} – суммарная номинальная мощность электроприемников i -ого присоединения;

P_{po} – суммарная расчетная активная осветительная нагрузка i -ого присоединения;

ΔP_T – потери активной мощности трансформаторов i -ого присоединения.

Расчетная реактивная нагрузка предприятия на шинах напряжением 6-10кВ РП, ГПП или ГПВ определяется по выражению:

$$Q_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg}\varphi) + Q_{po} + \Delta Q_T, \quad (11)$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ – среднее значение коэффициента реактивной мощности i -ого присоединения;

Q_{po} – суммарная расчетная реактивная осветительная нагрузка i -ого присоединения;

ΔQ_T – потери реактивной мощности трансформаторов i -ого присоединения» [12].

Коэффициент K_o принимается по [16, таблица 3].

Групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{960 \cdot 0,51 + 1480 \cdot 0,51 + 3460 \cdot 0,5 + 450 \cdot 0,2 + 620 \cdot 0,57 + 660 \cdot 0,6 + 620 \cdot 0,4 + 82 \cdot 0,7}{960 + 1480 + 3460 + 450 + 620 + 660 + 620 + 82} = 0,49.$$

По [16, таблица 3] принимаем $K_o = 0,85$.

Расчетная силовая нагрузка:

$$P_p = 0,85 \cdot (960 \cdot 0,51 + 1480 \cdot 0,51 + 3460 \cdot 0,5 + 450 \cdot 0,2 + 620 \cdot 0,57 + 660 \cdot 0,6 + 620 \cdot 0,4 + 82 \cdot 0,7) = 3501 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 0,85 \cdot (960 \cdot 0,51 \cdot 0,9 + 1480 \cdot 0,51 \cdot 0,94 + 3460 \cdot 0,5 \cdot 0,93 + 450 \cdot 0,2 \cdot 0,54 + 620 \cdot 0,57 \cdot 0,95 + 660 \cdot 0,6 \cdot 0,95 + 620 \cdot 0,4 \cdot 0,8 + 82 \cdot 0,7 \cdot 0,44) = 3186 \text{ квар}.$$

Расчетная нагрузка с учетом осветительной и потерь в трансформаторах:

$$P_p = 3501 + 101 + 56,5 = 3659 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 3186 + 62,1 + 396,6 = 3645 \text{ квар}.$$

Расчет нагрузок на шинах РТП-10кВ оформлен в таблице 5.

Таблица 5 – Определение расчетных нагрузок предприятия

Наименование ЭП	P_n , кВт	k_u	$tg\varphi$	$K_u \cdot P_n$	$\frac{K_u \cdot P_n}{tg\varphi}$	K_o	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
Силовая									
Подготовительный цех	960	0,51	0,90	490	441	-	-	-	-
Компрессорная	1480	0,51	0,94	755	710	-	-	-	-
Цех сухих смесей	3460	0,5	0,93	1730	1609	-	-	-	-
Ремонтно-механический цех	450	0,2	0,54	90	54	-	-	-	-
Склад сырья	620	0,57	0,95	353	336	-	-	-	-
Склад готовой продукции	660	0,6	0,95	396	376	-	-	-	-

Продолжение таблицы 5

Наименование ЭП	P_n , кВт	k_u	$tg\varphi$	$K_u \cdot P_n$	$\frac{K_u \cdot P_n}{tg\varphi}$	K_o	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА
АБК	620	0,4	0,8	248	198	-	-	-	-
ТСН	82	0,7	0,44	57	25	-	-	-	-
Итого силовая	8250	0,49	0,92	4062	3723	0,85	3501	3186	-
Осветительная									
Подготовительный цех	-	-	-	-	-	-	12	8,2	-
Компрессорная	-	-	-	-	-	-	15	9,2	-
Цех сухих смесей	-	-	-	-	-	-	24	16	-
Ремонтно-механический цех	-	-	-	-	-	-	12	5	-
Склад сырья	-	-	-	-	-	-	12	7,5	-
Склад готовой продукции	-	-	-	-	-	-	13	8,1	-
АБК	-	-	-	-	-	-	13	8,1	-
Итого осветит.	-	-	-	-	-	-	54,6	392,8	-
Потери в тр-рах									
ТП-1	-	-	-	-	-	-	9,6	53,4	-
ТП-2	-	-	-	-	-	-	9,6	53,4	-
ТП-3	-	-	-	-	-	-	17,8	200	-
ТП-4	-	-	-	-	-	-	8	32,6	-
ТП-5	-	-	-	-	-	-	9,6	53,4	-
ТСН	-	-	-	-	-	-	1,9	3,84	-
Итого потери	-	-	-	-	-	-	56,5	396,6	-
Итого по РУ	-	-	-	-	-	-	3659	3645	5165

Вывод по разделу.

В данном разделе производился выбор цеховых трансформаторов. Так как большинства цехов относятся к I и II категориям электроснабжения, то цеховые трансформаторные подстанции состоят из двух трансформаторов, имеющих питание от двух независимых источников. К установке были приняты сухие трансформаторы типа ТСЛ. Достоинствами сухих трансформаторов являются пожарная безопасность, отсутствие дополнительных затрат на монтаж, отсутствие выбросов CO₂, простота обслуживания.

3 Расчет токов короткого замыкания

Токи короткого замыкания в установках выше 1000В рассчитываются согласно рекомендациям ГОСТ 27514-87 [4] и РД 153-34.0-20.527-98 [14].

«Для выбора и проверки электрооборудования допускается упрощенные методы расчета токов КЗ, если их погрешность не превышает 5-10%. При этом определяют:

- начальное значение периодической составляющей тока КЗ;
- ударный ток КЗ.» [4, п. 1.1.3].

«При приближенных расчётах начальное действующее значение периодической составляющей тока в месте КЗ допускается определять по методу эквивалентного генератора, приняв ЭДС всех источников электроэнергии равной нулю и используя формулу

$$I_{n0} = \frac{U_0}{\sqrt{3} \cdot x_{экв}}, \quad (12)$$

где U_0 – номинальное напряжение (линейное сети) сети, в которой произошло короткое замыкание, кВ;

$x_{экв}$ – результирующее эквивалентное сопротивление расчётной схемы относительно точки КЗ, Ом.» [4, п. 2.6].

«Если расчетная схема содержит только последовательно включенные элементы, то ударный ток следует определять по формуле:

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{y0}, \quad (13)$$

где K_{y0} – ударный коэффициент.» [14, п. 5.4.4].

Для оценки термической стойкости элементов электрической сети используется понятие импульс квадратичного тока, который рассчитывается как:

$$B_k = I_{n0}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \quad (14)$$

где $t_{отк}$ - время действия защиты;

T_a - постоянная времени [2, таблица 2.3].

Для каждого участка схемы питания примем следующие времена действия защит:

- питающая линия – 0,6с;
- ввод РУ-10кВ - 0,4с;
- отходящие линии РУ-6кВ - 0,2с.

«Расчетная схема, как правило, включает в себя все элементы электроустановки и примыкающей энергосистемы, исходя из условий, предусмотренных продолжительной работой электроустановки с перспективой не менее чем в 5 лет после ввода ее в эксплуатацию» [14, п.2.2.1].

Расчетная схема участка сети представлена на рисунке 2.

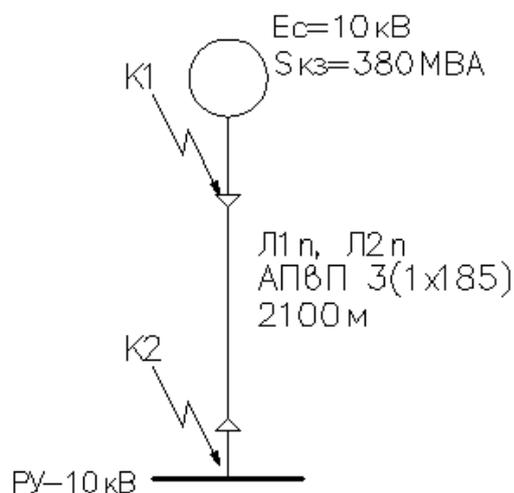


Рисунок 2 – Расчетная схема участка сети

«При проверке электрических аппаратов и жестких проводников вместе с относящимися к ним поддерживающими и опорными

конструкциями на электродинамическую стойкость расчетным видом КЗ является трехфазное КЗ. При этом в общем случае допускается не учитывать механические колебания шинных конструкций.

При проверке проводников и электрических аппаратов на термическую стойкость расчетным видом КЗ в общем случае является трехфазное КЗ» [14].

Далее необходимо составить схему замещения сети, предварительно рассчитав параметры его элементов.

«Если для конкретного узла сети известно значение тока трехфазного КЗ от системы $I_{кз.с}$, то эквивалентное индуктивное сопротивление системы в омах может быть определено по выражению:

$$X_c = \frac{U_{ср.ном}^2}{S_{кз.с}}, \quad (15)$$

где $U_{ср.ном}$ – среднее номинальное напряжение сети соответствующей ступени напряжения, в узле которой известно $I_{кз.с}$.» [4, п. 1.2.2].

Сопротивление линии электропередач:

$$R_L = R_{L.уд} \cdot L, \quad (16)$$

$$X_L = X_{L.уд} \cdot L, \quad (17)$$

где $R_{L.уд}$, $X_{L.уд}$ - удельное активное и реактивное сопротивления кабеля соответственно, Ом/км.

L – длина линии, км;

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{10,5^2}{380} = 0,29 \text{ Ом.}$$

Сопrotивление питающей кабельной линии.

$$X_{л1n} = 0,14 \cdot 2,1 = 0,266 \text{ Ом},$$

$$R_{л1n} = 0,164 \cdot 2,1 = 0,31 \text{ Ом}$$

Схема замещения участка сети представлена на рисунке 3.

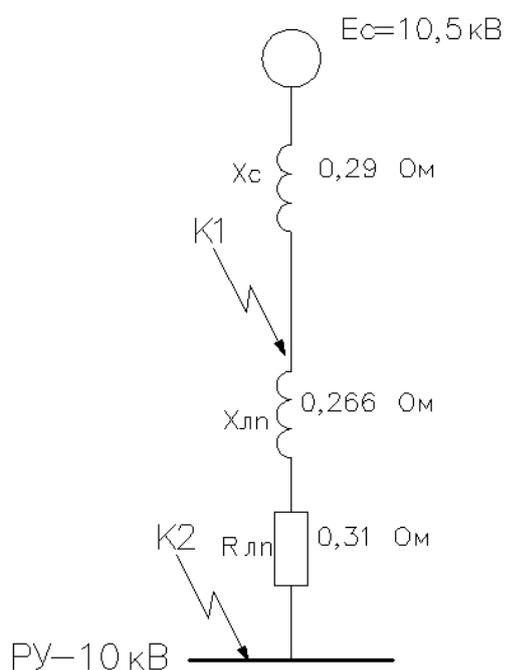


Рисунок 3 – Схема замещения участка сети

Действующее значение тока КЗ, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки *K1*:

$$I_{n0(K1)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0^2 + 0,29^2}} = 20,9 \text{ кА},$$

$$i_{y0(K1)} = \sqrt{2} \cdot 20,9 \cdot 1,6 = 47,3 \text{ кА},$$

$$B_{к(K1)} = 20,9^2 \cdot (0,6 + 0,04) = 262,2 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Действующее значение тока КЗ, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки К2:

$$I_{n0(K2)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,31^2 + (0,29 + 0,266)^2}} = 9,5 \text{ кА},$$

$$i_{y0(K2)} = \sqrt{2} \cdot 9,5 \cdot 1,6 = 21,5 \text{ кА},$$

$$B_{k(K2)} = 9,5^2 \cdot (0,4 + 0,04) = 18,1 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Вывод по разделу.

Расчет токов короткого замыкания проводился согласно рекомендациям ГОСТ 27514-87 «Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1кВ», который устанавливает общую методику расчета токов короткого замыкания, необходимых для выбора и проверки электрооборудования по условиям короткого замыкания; для выбора установок и оценки возможного действия релейной защиты и автоматики.

4 Выбор кабелей и высоковольтного оборудования

Перед выбором кабелей необходимо сформировать схему распределительной сети завода. Цеха и здания, относящиеся к I и II категориям электроснабжения, будут иметь питания от двух независимых источников (от двух разных секций РУ-6кВ). Цеха и здания III категории будут иметь один источник питания [8], [13].

На рисунках 4 и 5 приведен план распределительной сети предприятия и соответствующая ему схема.

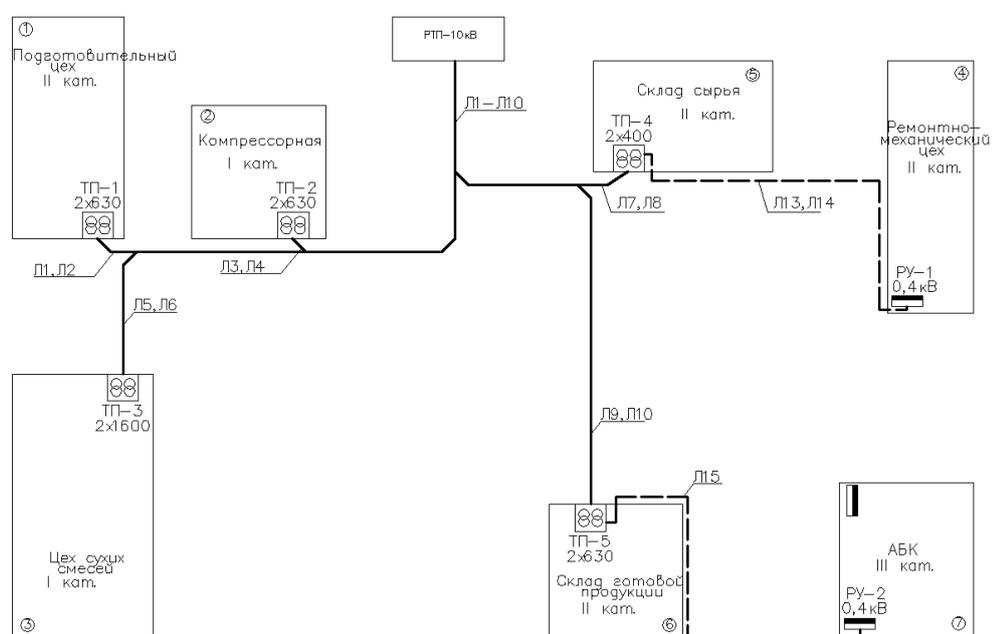


Рисунок 4 – Предварительный план распределительной сети

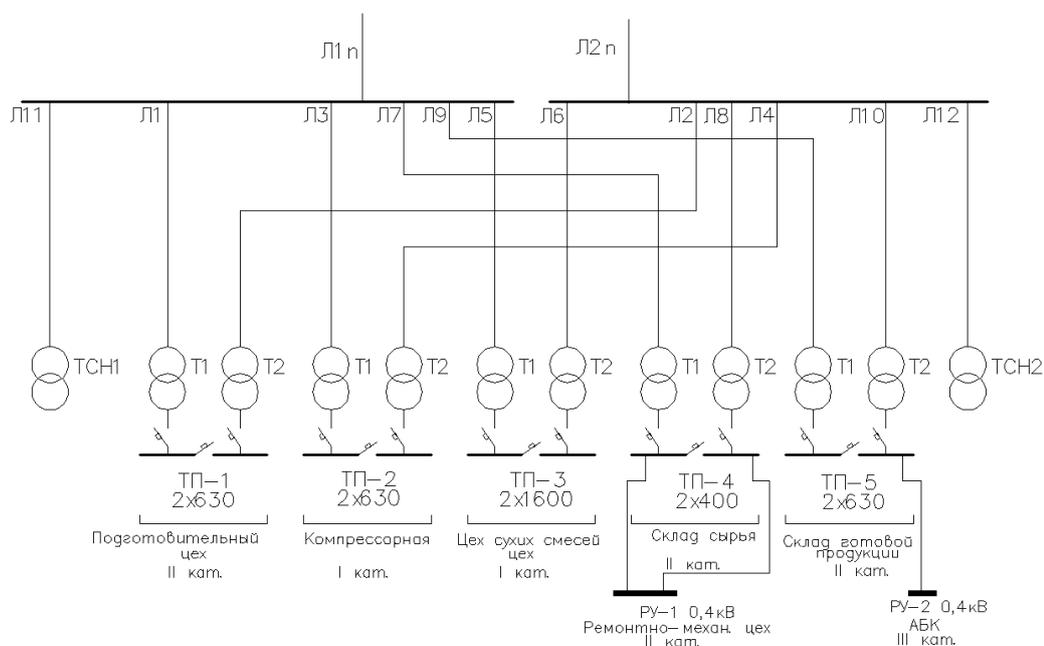


Рисунок 5 – Предварительная схема распределительной сети

Распределительная сети напряжением 10кВ организована с питанием:

- трансформаторов ТП1 от двойной радиальной линии Л1, Л2;
- трансформаторов ТП2 от двойной радиальной линии Л3, Л4;
- трансформаторов ТП3 от двойной радиальной линии Л5, Л6;
- трансформаторов ТП4 от двойной радиальной линии Л7, Л8;
- трансформаторов ТП5 от двойной радиальной линии Л9, Л10.

Потребитель 4 и 7 питаются на напряжении 0,4кВ от трансформаторов ТП4 и ТП5 соответственно. Для данных потребителей предусмотрены низковольтные распределительные устройства РУ-1 и РУ-2.

Далее необходимо определить нагрузки кабельных линий.

«При проектировании систем электроснабжения ток в послеаварийном режиме рассчитывается с учетом перегрузочной способности трансформаторов. Допустимую систематическую перегрузку масляных трансформаторов принимают равной 40 %, а сухих – 20 %» [11].

Исходя из выше сказанного ток в нормальном и послеаварийном режимах для сухих трансформаторов равен:

$$I_{p(III)} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (18)$$

$$I_{pa(III)} = 1,2 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (19)$$

«Расчет нагрузки присоединенных потребителей электроэнергии выполняется для каждого РУ6-10кВ. Расчётную нагрузку каждой секции сборных шин напряжением 6-10кВ в нормальном режиме рекомендуется принимать как произведение общей нагрузки и коэффициента 0,6, учитывающего неравномерность распределения нагрузки по секциям сборных шин:

$$I_{p(PII)} = \frac{0,6 \cdot S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (20)$$

$$I_{pa(PII)} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \gg [12, \text{страница } 43]. \quad (21)$$

Определим расчетные токи в нормальном и послеаварийном режимах для линий Л1, Л2, питающих ТП-1:

$$I_{p(ТП-1)} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 37 \text{ А},$$

$$I_{pa(ТП-1)} = 1,2 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 44 \text{ А}.$$

Аналогичный расчет для остальных отходящих линий произведен в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетные токи линий 10-0,4кВ

Линия	U_n , кВ	S_n , кВА	I_p , А	I_{pa} , А
Л1п, Л2п	10	5165	179	298
Л1, Л2	10	630	37	44
Л3, Л4	10	630	37	44
Л5, Л6	10	1600	93	111
Л7, Л8	10	400	23	28
Л9, Л10	10	630	37	44
Л11, Л12	10	100	5,8	7
Л13, Л14	0,4	77	111	-
Л15	0,4	254	367	-

«Сечения проводников должны быть проверены по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение определяется из соотношения:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}}, \quad (22)$$

где I_p – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{э}}$ – нормированное значение экономической плотности тока для заданных условий работы, А/мм²» [10, п.1.3.25]

Экономическая плотность тока выбирается по [10, таблица 1.3.36].

Выбранные по $j_{\text{эк}}$ кабели проверяются:

- по допустимому току из условий нагрева;
- на термическую стойкость при воздействии токов КЗ;

«Проводники любого назначения должны удовлетворять требованиям в отношении предельно допустимого нагрева с учетом не только нормальных, но и послеаварийных режимов, а также режимов в период ремонта и возможных неравномерностей распределения токов между линиями, секциями шин и т.п.» [10, п.1.3.2].

Проверка кабелей по допустимому току:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{ра}} \quad (23)$$

где $I_{\text{дон}}$ – длительно допустимый ток проводника, А;

$I_{\text{ра}}$ – ток в послеаварийном режиме, А.

Сечение кабеля по термической устойчивости:

$$F \geq \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C_T}, \quad (24)$$

где B_{κ} – тепловой импульс тока КЗ, $\text{А}^2\text{с}$;

C_T – коэффициент проводника, $\text{А} \cdot \text{с}^{0.5}/\text{мм}^2$.

Произведем проверку питающей кабельной линии 10кВ, выполненную кабелем АПвП 3(1×185). Данный проводник проходит проверку по нагреву током аварийного режима:

$$370\text{А} \geq 298\text{А}$$

Минимальное сечение по термической стойкости:

$$F_T = \frac{\sqrt{262 \cdot 10^6}}{90} = 180 \text{ мм}^2$$

Питающий кабель проходит проверку. Выберем кабель для линии Л1.
Сечение по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{37}{1,4} = 26 \text{ мм}^2.$$

Примем кабель АПвП (3×35) с $I_{\text{дон}} = 134 \text{ А}$.

Проверка кабеля на действие тока нагрева:

$$134A \geq 44A.$$

Тепловой импульс тока КЗ:

$$B_{\kappa} = 9,5^2 \cdot 0,2 = 18,1 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с}.$$

Минимальное сечение по термической стойкости:

$$F_T = \frac{\sqrt{18,1 \cdot 10^6}}{90} = 47 \text{ мм}^2.$$

Кабель АПвП (3×35) не допускается к прокладке, так он его сечение не проходит проверку по термической стойкости. Примем кабель с большим сечением АПвП (3×50) с $I_{доп} = 159$ А. Выбор остальных проводников произведен в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор кабельных линий 10кВ

Линия	Расчетные токи		Расчетные сечения		Выбранный кабель		
	I_p , А	$I_{ра}$, А	$F_{э}$, мм ²	F_T , мм ²	Марка	Число и сечение жил	$I_{доп}$, А
Л1, Л2 (ТП-1)	37	44	26	47	АПвП	3×50	159
Л3, Л4 (ТП-2)	37	44	26	47	АПвП	3×50	159
Л5, Л6 (ТП-3)	93	111	66	47	АПвП	3×70	193
Л7, Л8 (ТП-4)	23	28	16	47	АПвП	3×50	159
Л9, Л10 (ТП-5)	37	44	26	47	АПвП	3×50	159
Л11, Л12 (ТСН)	5,8	7	4,1	47	АПвП	3×50	159

Выбор сечение кабелей 0,4кВ производится по допустимому нагреву максимальным расчетным током.

«Проверке по экономической плотности тока не подлежат сети промышленных предприятий и сооружений напряжением до 1кВ при числе

часов использования максимума нагрузки предприятий до 5000» [10, п.1.3.28].

Питание нагрузки 0,4кВ III категории электроснабжения осуществляется одной кабельной линией.

Исходные данные линий 0,4кВ:

- Ремонтно-механический цех: РУ-1, $I_p = 111$ А;
- АБК: РУ-2, $I_p = 367$ А;
- Проводники: АВВГ, прокладка на эстакаде.

Для РУ-1 принимаем кабель АВВГ (4х50) с $I_{дон} = 147$ А.

Для РУ-2 принимаем кабель АВВГ (4х240) с $I_{дон} = 420$ А.

В общем случае оборудование выбирается по каталогам, исходя из номинальных условий работы, сравнивая паспортные данные аппаратов с соответствующими расчетными значениями сети.

Высоковольтное коммутационное в зависимости от типа проверяется по следующим расчетным условиям согласно [1] и [11]:

- по номинальному напряжению:

$$U_n \geq U_p. \quad (25)$$

- по номинальному току:

$$I_n \geq I_p. \quad (26)$$

- по электродинамической стойкости:

$$i_{дин} \geq i_{уд}. \quad (27)$$

- по термической стойкости:

$$I_{\text{тер.н.}}^2 \cdot t_{\text{тер.н}} \geq B_{\text{к}}. \quad (28)$$

- по отключающей способности:

$$I_{\text{отк}} \geq I_{\text{н}}. \quad (29)$$

Измерительные аппараты такие трансформаторы тока и напряжения проверяется по следующим условиям согласно [1] и [11]:

- по номинальному напряжению:

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{р}}. \quad (30)$$

- по номинальному току первичной цепи:

$$I_{1\text{н}} \geq I_{\text{р}}. \quad (31)$$

- по электродинамической стойкости:

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}. \quad (32)$$

- по термической стойкости:

$$I_{\text{тер.н.}}^2 \cdot t_{\text{тер.н}} \geq B_{\text{к}}. \quad (33)$$

- по нагрузке во вторичной цепи:

$$S_{2\text{н}} \geq S_{\text{р}}. \quad (34)$$

Допускается применение трансформаторов тока с завышенным коэффициентом трансформации (по условиям электродинамической и термической стойкости или защиты шин), если при максимальной нагрузке присоединения ток во вторичной обмотке трансформатора тока будет составлять не менее 40% номинального тока счетчика, а при минимальной рабочей нагрузке - не менее 5%.

РУ-10кВ будет выполнено в виде комплектного распределительного устройства. В качестве КРУ принимаем ячейки типа КРУ-СВЭЛ фирмы СВЭЛ (рисунок 6). Сравнение технических характеристик КРУ с расчетными данными сети представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор и проверка КРУ-10кВ

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: КРУ-СВЭЛ-КЗ.1
$U_n \geq U_p$, кВ	6	12
$I_n \geq I_p$, А	298	630
$i_{дин} \geq i_{уд}$, кА	21,5	51
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с	18,1	3000



Рисунок 6 – Ячейка КРУ-СВЭЛ

Выбор выключателя 6кВ оформлен в таблице 9. Внешний вид выбранного выключателя представлен на рисунке 7.

Таблица 9 – Выбор и проверка выключателей 10кВ

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: VD4.12.20
$U_n \geq U_p$, кВ	10	12
$I_n \geq I_p$, А	298	630
$I_{откл} \geq I_n$, кА	9,5	31,5
$i_{дин} \geq i_{уд}$, кА	21,5	50
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с	18,1	1400



Рисунок 7 – Вакуумный выключатель VD4.12

Сравнительный выбор заземляющих ножей ячеек КРУ оформлен в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор и проверка ЗН

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Паспортные данные: ЗР-10
$U_n \geq U_p$, кВ	10	12
$i_{дин} \geq i_{уд}$, кА	21,5	51
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$, кА ² с	18,1	800

Сравнительный выбор трансформаторов тока оформлен в таблице 11. Внешний вид выбранного трансформатора тока представлен на рисунке 8.

Таблица 11 – Выбор и проверка трансформаторов тока 10кВ

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: ТОЛ-СВЭЛ-10
$U_n \geq U_p, \text{кВ}$	6	12
$I_n \geq I_p, \text{А}$	385	50-500
$S_{2n} \geq S_p, \text{ВА}$	5	10
$i_{дин} \geq i_{уд}, \text{кА}$	21,5	51
$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k, \text{кА}^2\text{с}$	18,1	800



Рисунок 8 – Трансформатор тока ТОЛ-СВЭЛ-10

Сравнительный выбор трансформаторов напряжения оформлен в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор и проверка трансформаторов напряжения 6кВ

Условие выбора и проверки	Расчетные данные	Каталожные данные: ЗНОЛ-СВЭЛ-10
$U_n = U_p, \text{кВ}$	10	10
$S_{2n} \geq S_p, \text{ВА}$	2	30

Внешний вид выбранного трансформатора напряжения представлен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Трансформатор напряжения ЗНОЛ-СВЭЛ-10

Вывод по разделу.

В данном разделе производился расчет распределительной сети завода. Выбор сечения кабелей проводился по экономической плотности тока, затем проверялся на нагрев аварийным током и на термическое действие тока короткого замыкания. В качестве проводников был принят кабель марки АПвП с изоляцией из сшитого полиэтилена. Преимуществами данного кабеля являются увеличенная допустимая температура нагрева, высокий ток термической устойчивости, низкий вес, меньшие потери в изоляции, экологическая безопасность.

Затем производился выбор высоковольтного оборудования. Выбор производился исходя их параметров сети, рассчитанных ранее (расчетный ток, ток КЗ, ударный ток КЗ и др.).

5 Расчет заземления и молниезащиты подстанции

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

«Заземляющее устройство электроустановок напряжением выше 1кВ (электрических станций и подстанций) должны обеспечивать нормируемые параметры по условиям обеспечения электробезопасности и ЭМС для нормальных и наиболее опасных аварийных режимах:

- однофазное (двухфазное) КЗ на землю на РУ;
- КЗ на землю на линиях, отходящих РУ;
- двойное замыкание на землю (замыкание на землю двух фаз в различных точках) в сети с изолированной нейтралью;
- стекание токов молнии с молниеотводов, установленных на зданиях и в РУ электрических станций и подстанций, и токов через ограничители перенапряжений;
- стекание токов несимметрии и токов шунтирующих реакторов» [5, п.7.4.1.1].

«Горизонтальные заземлители должны быть проложены по краю территории, занимаемой ЗУ так, чтобы они в совокупности образовывали замкнутый контур» [5, п.7.4.3.6].

«Продольные заземлители должны быть проложены вдоль рядов электрооборудования со стороны обслуживания на глубине 0,5-0,7 м от поверхности земли и на расстоянии 0,8-1,0 м от фундаментов или оснований оборудования. Допускается увеличение расстояний от фундаментов или оснований оборудования до 1,5 м с прокладкой одного заземлителя для двух рядов оборудования, если стороны обслуживания обращены одна к другой, а расстояние между основаниями или фундаментами двух рядов не превышает 3,0 м» [5, п.7.4.3.8].

Удельное сопротивление грунта:

$$\rho_p = \rho \cdot K_{сез}, \quad (35)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$K_{сез}$ – коэффициент сезонности, принимается по [20, таблица 1.13.2].

Сперва необходимо определиться с конфигурацией заземляющего устройства, его типом, также выбрать сечение проводников заземлителя.

Затем рассчитывается сопротивление вертикального заземлителя по соответствующим формулам [6, таблица 8.4], которые зависят от принятого типа и сечения заземлителя.

Далее определяется сопротивление горизонтального электрода R_z [6, таблица 8.4], которое также зависит от принятого типа и сечения заземлителя.

Общее сопротивление искусственных заземлителей:

$$R_u = \frac{R_g \cdot R_z}{R_g \cdot \eta_g + R_z \cdot \eta_z \cdot n}, \quad (36)$$

где η_g и η_z – коэффициенты использования вертикальных и горизонтальных заземлителей соответственно, [20, таблица 1.13.5];
 n – количество вертикальных заземлителей.

Необходимое количество вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{L_z}{a}, \quad (37)$$

где L_z – длина горизонтального электрода, м;

a – расстояние между вертикальными заземлителями.

«При выполнении ЗУ электроустановок напряжением выше 1 кВ используют искусственные и естественные заземлители. Материал, конструкция и размеры заземлителей должны обеспечивать устойчивость к механическим, химическим и термическим воздействиям в течение всего периода эксплуатации» [5, п.7.4.5.1].

«В качестве естественных заземлителей могут быть использованы:

- металлические и железобетонные конструкции зданий и сооружений, находящиеся в соприкосновении с землей, в том числе железобетонные фундаменты зданий и сооружений, имеющие защитные гидроизоляционные покрытия в неагрессивных, слабоагрессивных и среднеагрессивных средах;
- металлические трубы водопровода, проложенные в земле;
- обсадные трубы буровых скважин;
- подъездные рельсовые пути при устройстве стыковых соединителей между рельсами;
- металлические оболочки бронированных кабелей, проложенных в земле;
- заземлители опор ВЛ, соединенные с ЗУ электроустановок при помощи грозозащитного троса ВЛ, если трос не изолирован от опор ВЛ;
- другие находящиеся в земле металлические конструкции и сооружения» [5, п.7.4.5.2].

«Использование естественных заземлителей в качестве элементов ЗУ не должно приводить к их повреждению при протекании по ним токов короткого замыкания или к нарушению работы устройств, с которыми они связаны» [5, п.7.4.5.5].

«При использовании естественных заземлителей общее сопротивление устройства заземления определяется:

$$R_u' = \frac{R_u \cdot R_e}{R_u + R_e}, \quad (38)$$

где R_e – сопротивление естественного заземления, Ом» [6].

В качестве естественного заземления выступает здание цеха.
«Сопротивление заземления железобетонных фундаментов здания:

$$R_e = \frac{\rho}{\sqrt{S}}, \quad (39)$$

где S – площадь здания, м^2 » [6].

«Сопротивление заземляющего устройства не должно превышать допустимого значения R_z , которое определяется в зависимости от типа электроустановки:

$$R_z \leq R_\zeta \gg [6]. \quad (40)$$

К прокладке принимаем вертикальный электрод в виде стальной трубы длиной $L_e = 5$ м и диаметром $d = 15$ мм, горизонтальный заземлитель – стальная полоса 40×4 , уложенная в грунт (суглинок), на глубине $t = 0,7$ м. Здание размещено в третьей климатической зоне ($K_{сез} = 1,5$).

Выберем контурное размещение заземлителей (рисунок 10).

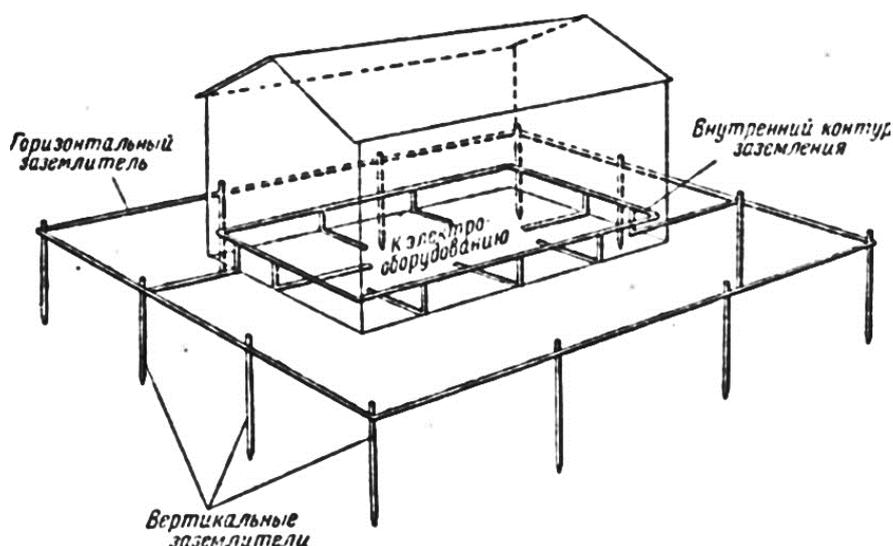


Рисунок 10 – Эскиз контурного размещения заземлителей

Заземлители будут располагаться по контуру здания на расстоянии 1 м от здания. Длина горизонтального электрода по периметру:

$$L_g = (A + 1) \cdot 2 + (B + 1) \cdot 2 = (16 + 1) \cdot 2 + (6 + 1) \cdot 2 = 48 \text{ м.}$$

Сопротивление грунта:

$$\rho_p = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Сопротивление вертикального заземлителя:

$$R_g = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L_g} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L_g}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4(L_g / 2 + t) + L_g}{4(L_g / 2 + t) + L_g} \right) \right) =$$
$$\frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 5}{0,015} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4(5 / 2 + 0,7) + 5}{4(5 / 2 + 0,7) + 5} \right) \right) = 33 \text{ Ом.}$$

Принимаем однократное расстояние между вертикальными электродами:

$$a = 1 \cdot L_g = 1 \cdot 5 = 5 \text{ м.}$$

Предварительно количество вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{48}{5} \approx 10.$$

Сопротивление горизонтального электрода:

$$R_z = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L_z} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot L_z^2}{0,5 \cdot b \cdot t} \right) = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 48} \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 48^2}{0,5 \cdot 0,004 \cdot 0,7} \right) = 7,5 \text{ Ом.}$$

По [20, таблица 1.13.5] определяем $\eta_e = 0,55$ и $\eta_z = 0,34$.

Сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_u = \frac{33 \cdot 7,5}{33 \cdot 0,55 + 7,5 \cdot 0,34 \cdot 10} = 5,7 \text{ Ом.}$$

Сопротивление естественного заземлителя:

$$R_e = \frac{150}{\sqrt{15 \cdot 6}} = 10,5 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление устройства заземления:

$$R'_u = \frac{5,7 \cdot 10,5}{5,7 + 10,5} = 3,6 \text{ Ом.}$$

«В электроустановках напряжением выше 1кВ сети с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства при прохождении расчетного тока замыкания на землю в любое время года с учетом сопротивления естественных заземлителей должно быть не более 10 Ом» [10, п.1.7.96].

«Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока» [10, п.1.7.101].

Принимаем к сравнению меньшее значение. Расчетное значение сопротивления заземляющего устройства меньше допустимого значения.

Молния – высокоэнергетический разряд атмосферного электричества между облаками либо между облаками и землей.

«В соответствии с назначением зданий и сооружений необходимость выполнения молниезащиты и ее категория, а при использовании стержневых и тросовых молниеотводов — тип зоны защиты определяются в зависимости от среднегодовой продолжительности гроз в месте нахождения здания или сооружения, а также от ожидаемого количества поражений его молнией в год» [15].

Молниезащита состоит из 3 основных составляющих: молниеприемник, токоотвод, заземлитель.

Молниеприёмник - это устройство, которое принимает удар молнии на себя. В качестве молниеприемники делятся на естественные - элементы самого здания или рядом находящихся конструкций, и искусственные

«Классификация объектов определяется по опасности ударов молнии для самого объекта и его окружения.

Непосредственное опасное воздействие молнии - это пожары, механические повреждения, травмы людей и животных, а также повреждения электрического и электронного оборудования. Последствиями удара молнии могут быть взрывы и выделение опасных продуктов - радиоактивных и ядовитых химических веществ, а также бактерий и вирусов.

Удары молнии могут быть особо опасны для информационных систем, систем управления, контроля и электроснабжения. Для электронных устройств, установленных в объектах разного назначения, требуется специальная защита» [17].

В соответствии с инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [17] и РД 34.21.122–87 [15] здание относится к III категории молниезащиты с уровнем надежности от прямых ударов молнии 0,9. На основании этого молниезащиту реализуем с

помощью молниеприемной сетки (рисунок 11), которая прокладывается по периметру всей кровли с шагом ячейки, который зависит от категории молниезащиты. Шаг ячеек сетки должен составлять не менее 12×12м. Молниеприемная сетка присоединяется к заземляющему устройству, рассчитанному ранее, в четырех точках, расположенных по углам здания подстанции.

Для защиты электротехнического оборудования КП, ТП и кабельных линий от грозовых и коммутационных перенапряжений в шкафах КРУ установлены ограничители перенапряжения.

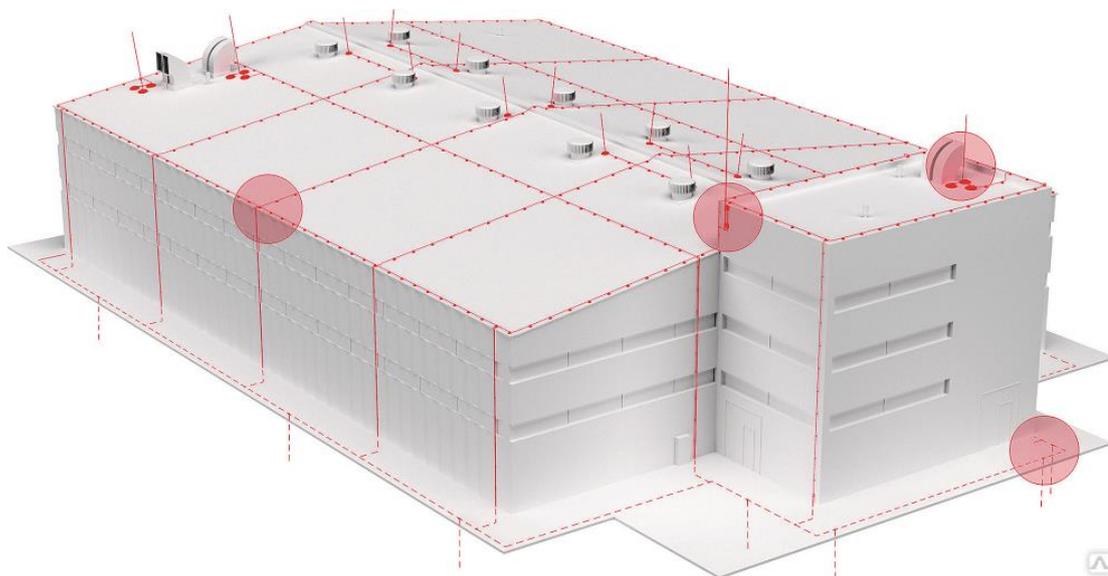


Рисунок 11 – Пример реализации молниеприемной сетки

Вывод по разделу.

В данном разделе производилось расчет заземляющего устройства и системы молниезащиты. Заземляющее устройство будет располагаться по контуру здания, на расстоянии 2 м от стен здания. Система молниезащиты была реализована с помощью молниеприемной сетки, которая монтируется на крыше здания.

Заключение

В ходе работ была выполнено проектирование системы электроснабжения завода по производству сухих строительных смесей.

Питание завод осуществляется от энергосистем кабельной линией 10кВ протяженностью 2,1км по существующим кабельным линиям АПвП 3(1×185). В пункте приема используется распределительное устройство 10кВ со шкафами КРУ-СВЭЛ-10. Ячейки расположены в два ряда с нижним шинным мостом. В шкафах установлен вакуумный выключатель VD4-12 с пружинным приводом. Распределительная сеть завода выполнена алюминиевыми кабелями с изоляцией из сшитого полиэтилена марки АПвП, которые прокладываются на эстакадах при нормальных условиях. Низковольтная распределительная сеть завода выполнена алюминиевым кабелем с изоляцией из поливинилхлоридного материала марки АВВГ, который прокладывается открыто в воздухе.

В процессе работы выполнены следующие разработки:

- определение нагрузки завода;
- выбор цеховых трансформаторов;
- расчет аварийных токов КЗ
- выбор проводников распределительной сети 10кВ;
- выбор силового высоковольтного электрооборудования;
- расчет заземляющего устройства и системы молниезащиты;

Разработанная схема электроснабжения имеет высокую надежность, экономичность. Она является безопасной и удобной в эксплуатации, обеспечивает надлежащее качество и уровень напряжения.

Расчеты производились на основе актуальных технических норм, стандартов и методик. Выбранное электрооборудование является актуальным, соответствующее каталогам производителей. Это делает данную работу грамотной и современной.

Список используемых источников

1. Барыбин Ю.Г., Федорова Л.Е. Справочник по проектированию электроснабжения. М. : Энергоатомиздат, 1990. 576 с.
2. Бохан А.Н. Практическое пособие к решению задач по курсу "Электрическая часть станций и подстанций" для студентов дневной и заочной форм обучения по специальности Т.01.01 "Электроэнергетика". Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2000.
3. ГОСТ 21.210-2014 Условные графические изображения электрооборудования и проводок на планах.
4. ГОСТ 27514-87 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1кВ.
5. ГОСТ Р 58882-2020 Заземляющие устройства. Системы уравнения потенциалов. Заземлители. Заземляющие проводники. Технические требования.
6. Карякин Р.Н. Нормы устройства сетей заземления. Москва : ФОРУМ, 2010. 240 с.
7. Каталог продукции группы СВЭЛ URL: <https://svel.ru/catalog/> (дата обращения 05.02.2023).
8. Коновалова Л.Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник для средних специальных учебных заведений. М : Энергоатомиздат, 1989г. 528с.
9. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М. : Высш. школа, 1990. 363 с.
10. Правило устройство электроустановок – 7 издание, перераб. и доп.. М. : Энергоатомиздат, 2003.
11. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий: пособие для студентов специальности «Электроснабжение». Минск : БНТУ, 2017. 173 с.

12. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие. Минск : БНТУ, 2013. 124 с.
13. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения. Минск : НПО «Пион», 2001. 288 с.
14. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
15. РД 34.21.122–87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
16. РТМ 36.18.32.4-92 «Указания к расчету электрических нагрузок», 1993.
17. СО 153-34.21.122 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций, 2003.
18. Сумаркова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Томск : издательство Томского политехнического университета, 2012. 288 с.
19. Ус А. Г., Евминов Л. И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. Минск : НПО «ПИОН», 2002. 457 с.
20. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению 2-е изд. ФОРУМ, 2011г. 202 с.