

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 электрической части подстанции 35/6кВ Мобильная - 2»

Обучающийся

А.В. Гапоненко

(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., И.В. Горохов

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

Тольятти 2022

Аннотация

Объектом разработки является подстанция 35/6кВ Мобильная - 2 ОАО «Речицкий метизный завод».

Цель проекта: проектирование электрической части подстанции 35/6кВ Мобильная - 2 ОАО «Речицкий метизный завод».

В процессе проектирования выполнены следующие разработки:

- светотехнический расчет здания подстанции 6кВ;
- определение электрической нагрузки собственных нужд, выбор трансформаторов собственных нужд;
- расчет внутренних электрических сетей собственных нужд;
- определение суммарной нагрузки завода, выбор силовых питающих трансформаторов;
- выбор электрооборудования 35-6кВ.

Спроектированная схема электроснабжения предприятия удовлетворяет ряду требований: высокая надежность и экономичность, безопасность и удобство в эксплуатации, обеспечено требуемое качество электроэнергии, соответствующие уровни напряжения.

Проектирование производится на основе действующих технических норм и методик расчета с использованием актуального электрооборудования, что делает данный проект расчета электрической части подстанции завода современным и актуальным.

Содержание

Введение.....	4
1 Светотехнический расчет	5
2 Расчет системы собственных нужд подстанции	26
2.1 Определение расчетной электрической нагрузки собственных нужд. Выбор трансформаторов собственных нужд	26
2.2 Расчет распределительной сети собственных нужд.....	26
3 Определение расчетной электрической нагрузки завода. Выбор питающего трансформатора	38
4 Расчет токов короткого замыкания	45
5 Выбор сечения кабельных линий и электрооборудования напряжением 6-110кВ	50
6 Релейная защита и автоматика.....	61
Заключение	63
Список используемых источников.....	64

Введение

Целью данного дипломного проекта является проектирование электрической части подстанции 35/6кВ Мобильная – 2 ОАО «Речицкого метизного завода».

По степени надежности электроснабжения потребители завода относятся, в основном, к I и II категории электроснабжения. Питание рабочих и резервных электроприемников осуществляется от разных секций РУ-6кВ.

Компенсация реактивной мощности на установке не производится в соответствии с принципами распределения электроэнергии на заводе в целом.

Внешнее электроснабжение завода осуществляется по 2-м воздушным линиям 35кВ энергосистемы мощностью 1500. Питающая сеть выполнена воздушными линиями типа АС-150/24 длиной 1,2 км.

РУ-6кВ комплектуется шкафами КРУ для внутренней установки, с выдвижными элементами и одинарными системами сборных шин. Расположение шкафов двурядное. Шкафы укомплектованы вакуумными выключателями с пружинным приводом. Управление, защита, измерение и контроль сетей выполняется на базе микропроцессорных терминалов защиты. Для определения наличия рабочего напряжения 6 кВ в вводных шкафах устанавливается емкостной интегрированный индикатор KUVAG. Вся аппаратура защиты и управления размещена в шкафах КРУ и является устойчивой к термическим и динамическим действиям токов КЗ.

В проекте предусматривается расчет внутреннего электроосвещения подстанции РУ-6кВ.

Для освещения помещения подстанции применены светильники с энергосберегающими светодиодными лампами типа ДПП.

Годовое число часов использования максимума нагрузки составляет 6100 ч/год.

1 Светотехнический расчет

В помещениях общественных зданий, как правило, следует применять систему общего освещения. Общее освещение - свечение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно (общее равномерное освещение) или применительно к расположению оборудования (общее локализованное освещение).

Для освещения помещения подстанции применены светильники с энергосберегающими светодиодными лампами типа ДПП [7].

Характеристика предварительно выбранных к установке светильников приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики светильников

Тип светильника	Φ_l , лм	P , Вт	Тип КСС	Размеры	
				Длина, мм	Ширина, мм
ДПП 22-36-136.18	3900	36	Д	1305	700

Параметры помещений подстанции приведены в таблице 2

Таблица 2 – Параметры помещений

Наименование помещений	Размер помещения (АхВхН), м	Площадь, м ²	Нормированная освещенность (E_{min}), лк
РУ-6кВ	12х12х4,8	144	150
ЩПТ	6х3,3х4,8	19,8	150
Приточная венткамера	6х3,3х4,8	19,8	50

Светотехнический расчет производится согласно учебно-методических рекомендаций [5].

Параметры размещения светильников изображенных на рисунку 1:

H – высота помещения;

h_c – высота свеса светильника ($h_c = 0...1,5$ м);

h_p – высота рабочей поверхности ($h_p = 0...0,8$ м);

H_p – высота подвеса светильника над освещаемой поверхностью.

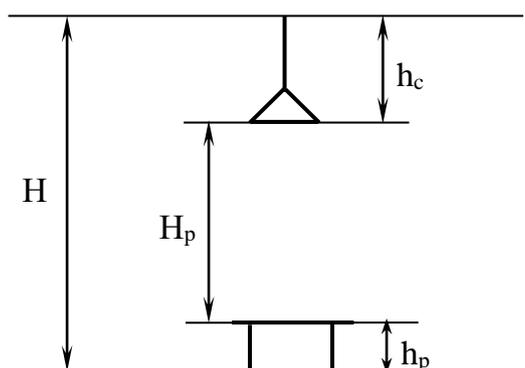


Рисунок 1 - Размещение светильника по высоте помещения

В общем случае расчетная высота подвеса светильников определяется по выражению (1):

$$H_p = H - (h_c + h_p). \quad (1)$$

Определим расчетную высоту подвеса светильников для каждого основного помещения:

$$H_{P(PV-6KB)} = 4,8 - (1,3 + 0) = 3,5 \text{ м,}$$

$$H_{P(ШПТ)} = 4,8 - (2,3 + 0) = 2,5 \text{ м,}$$

$$H_{P(ПВ)} = 4,8 - (2,3 + 0) = 2,5 \text{ м.}$$

Расстояние между соседними светильниками:

$$L = \left(\frac{L}{H_p} \right) \cdot H_p, \quad (2)$$

где $\left(\frac{L}{H_p} \right)$ - наивыгоднейшее относительное расстояние между

светильниками, для кривой Д – 1,4, для Г – 0,8.

Расстояние от стены до светильников:

$$l = (0,2\dots0,4) \cdot L, \quad (3)$$

Число рядов светильников:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (4)$$

где B – ширина помещения, м.

Полученный результат округляются до ближайшего целого числа и пересчитываются реальные расстояния между рядами светильников:

$$L_B = \frac{B - 2l}{R - 1}, \quad (5)$$

Расстояние между соседними светильниками в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2 \cdot l - N_R \cdot l_c}{N_R - 1}, \quad (6)$$

где l_c – длина одного светильника, м.

Произведем расчет расположения рядов светильников для РУ-6кВ

Расстояние между соседними светильниками:

$$L = 1,4 \cdot 3,5 = 4,9 \text{ м.}$$

Расстояние от стены до светильников:

$$l = (0,2\dots0,4) \cdot 4,9 = 1,5 \text{ м.}$$

По расположению оборудования в помещении РУ-6кВ крайние ряды

светильников будут крепиться к стене, следовательно, расстояние от стены до светильников $l = 0$ м

Число рядов светильников:

$$R = \frac{12 - 2 \cdot 0}{4,9} + 1 = 3,4 \approx 4$$

Фактическое расстояние между рядами светильников:

$$L_B = \frac{12 - 2 \cdot 0}{4 - 1} = 4 \text{ м.}$$

Для остальных помещений расчет производится аналогично.

Результаты расчетов по выражениям (2) – (6) для всех помещений занесем в таблицу 3

Таблица 3 – Результаты расчетов расположения светильников

Наименование помещений	h_c , м	h_p , м	H_p , м	L , м	l , м	R	L_B , м
РУ-6кВ	1,3	0	3,5	4,9	0/1	4	4
ЩПТ	2,3	0	2,5	3,5	1,4	1	-
Приточная венткамера	2,3	0	2,5	3,5	-	1	-

В помещении приточной венткамеры светильники будут размещаться в один ряд вдоль стены. Это связано с особенностями расположения оборудования.

Для расчета рабочего освещения применяется метод коэффициента использования.

Световой поток ламп, необходимый для создания требуемой освещенности в одном ряду:

$$\Phi_R = \frac{E_H \cdot K_3 \cdot S \cdot z}{R \cdot \eta}, \quad (7)$$

где E_H – нормированная освещённость, лк;

K_3 – коэффициент запаса;

S – площадь освещаемой поверхности, м²;

z – коэффициент неравномерности светового потока ($z = 1,05$ для СД ламп, $z = 1,1$ для ЛЛ);

R – число рядов;

η – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования определяется в зависимости от значений индекса помещения i и коэффициентов отражения потолка, стен, рабочей поверхности – ρ_n, ρ_c, ρ_p .

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (A + B)}, \quad (8)$$

где A и B – соответственно длина и ширина помещения.

После расчета общего светового потока ламп ряда определяют количество ламп, мощность которых выбрана предварительно:

$$N_R = \frac{\Phi_R}{\Phi_l}, \quad (9)$$

где Φ_l – световой поток лампы, лм.

Произведем светотехнический расчет для основного помещения.

Индекс помещения цеха:

$$i = \frac{12 \cdot 12}{3,5 \cdot (12 + 12)} = 1,7$$

По [9] коэффициент использования светового потока для данного помещения при выбранных типах светильников равен 0,48.

Необходимый световой поток одного ряда:

$$\Phi_R = \frac{150 \cdot 1,4 \cdot 144 \cdot 1,05}{3,5 \cdot 0,48} = 16540 \text{ лм.}$$

Необходимое количество светильников ДПП 66-126-22х (354) для данного цеха:

$$N_R = \frac{16540}{3900} = 4,24.$$

Принимаем $N_R = 5$.

Фактическое расстояние между светильниками ряда:

$$L_A = \frac{12 - 2 \cdot 0,8 - 5 \cdot 1,3}{5 - 1} = 1 \text{ м.}$$

Принимаем к установке светильники ДПП-22-36-136.18. Для остальных помещений расчет производится аналогично. Результаты расчетов расположения светильников, а также, конечно, выбранных к установке светильников приведены в таблицах 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов расположения светильников

Наименование помещений	i	η	R	Φ_R , лм	N_R , шт	L_A , м	L_B , м
РУ-6кВ	1,7	0,48	4	16540	5	1	2,2
ЩПТ	0,8	0,44	1	9020	2	0,6	1,9
Приточная венткамера	0,8	0,44	1	3000	2	0,6	1,9

Для расчёта аварийного эвакуационного освещения воспользуемся точечным методом. При расчетах, проводимых точечным методом, светильник представляется точечным. В качестве контрольных точек выбираются точки с наименьшей освещенностью.

Для создания аварийного освещения выделим часть светильников из числа рабочего освещения и присоединим их к сети аварийного освещения.

Расположение светильников эвакуационного освещения показано на рисунке 2.

Угол между направлением к расчетной точке осью симметрии светильника:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{d}{H_p} \right), \quad (10)$$

где d – расстояние от расчетной точки до проекции оси симметрии светильника на плоскость, ей перпендикулярного и проходящую через расчетную точку (рисунок 3).

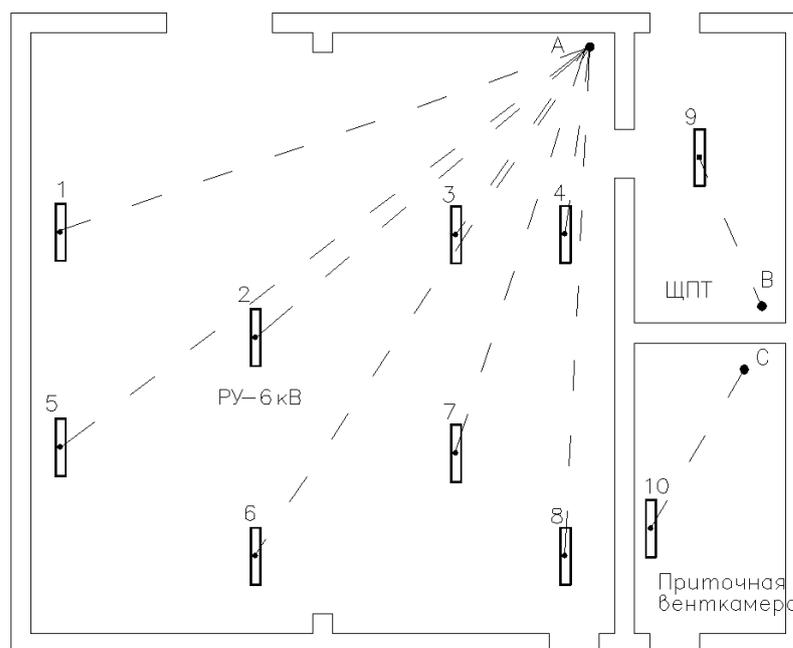


Рисунок 2 – План помещения с расположением светильников и контрольных точек

Далее производится расчет освещенности согласно таблице 6.12 [9] в зависимости от значений угла α и световым потоком лампы $I_{\alpha(1000)}$:

$$E_{(1000)} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{H_p^2}. \quad (11)$$

Искомая освещенность от светильника со световым потоком Φ_l :

$$E = \frac{E_{(1000)} \cdot \Phi_l \cdot \mu}{1000 \cdot K_z}, \quad (12)$$

где K_z – коэффициент запаса;

μ - коэффициент дополнительной освещенности, учитывающий освещенность, создаваемую от неучтённых светильников, стен и потолка (принимается 1,1-1,2).

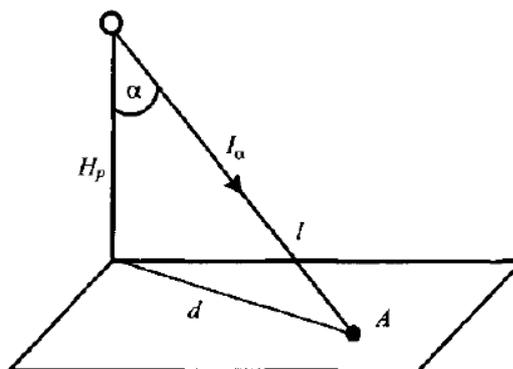


Рисунок 3 - Пояснение к расчету освещенности от точечного источника света

Для аварийного освещения минимальная освещенность составляет 0,5 лк.

Расстояние d от каждого светильника до контрольной точки А определим графически по масштабу.

Угол между направлением к расчетной точке d_1 :

$$\alpha = \arctg\left(\frac{10}{3.5}\right) = 71^\circ.$$

Для КСС типа Д по табл. 6.12 [9] при $\alpha = 71^\circ$ сила света $I_{\alpha(1000)} = 134,3$ кд.

Значение освещенности при значении светового потока 1000 лк для точки d_1 :

$$E_{(1000)} = \frac{134,3 \cdot 0,33^3}{3,5} = 0,395 \text{ лк.}$$

Освещенность в точке А от источника d_1 при использовании светильника ДПП-22-36:

$$E = \frac{0,395 \cdot 3900 \cdot 1,1}{1000 \cdot 1,4} = 1,21 \text{ лк.}$$

Освещенность в точке А от остальных светильников рассчитывается аналогично. Результаты расчетов сведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет аварийного освещения

№ светильника	d , м	α , град	I_{α} , кд	$E_{(1000)}$, лк	E , лк
1	10	71	134,3	0,395	1,21
2	9	68	143,1	0,556	1,7
3	4	49	180	4,2	12,8
4	3	41	199	7,1	21,8
5	13	75	121	0,17	0,5
6	11	72	130	0,29	0,9
7	8	66	145	0,76	2,3
8	9	69	138	0,53	1,6
9	3	50	180	7,5	23
10	3	50	180	7,5	23

Суммарная освещенность в контрольных точках:

$$\Sigma E_{(A)} = E_{d1} + E_{d2} + \dots + E_{d8} = 1,21 + 1,7 + 12,8 + 21,8 + 0,5 + 0,9 + 2,3 + 1,6 = 42,8 \text{ лк}$$

$$\Sigma E_{(B)} = E_{d8} = 23 \text{ лк,}$$

$$\Sigma E_{(C)} = E_{d9} = 23 \text{ лк.}$$

Суммарная освещенность выше нормированного значения, таким образом, светильник ДПП-22-36 с данной схемой расположения подходит к установке.

Каждый тип освещения подключается к распределительной сети соответствующего щитка освещения ЩРО, ЩАО, устанавливаемого в помещении РУ-6кВ.

Питающая сеть щитков выполнена по I-ой категории от комплектного

распред. устройства 0,4кВ, укомплектованного автоматами S2X, кабелями типа ВВГнг. Распределительная сеть щитков выполнена кабелями типа ВВГнг (рисунок 4).

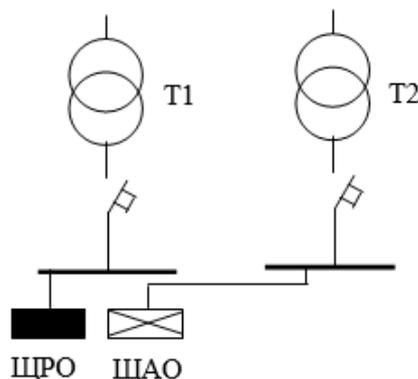


Рисунок 4 - Схема питания рабочего и аварийного освещения

Прокладка распределительной сети щитков освещения выполнена в пластиковых коробах по внутреннему периметру подстанции. Для установки светильников и прокладки распределительной сети щитков освещения между секциями подстанции РУ-6кВ применена тросовая прокладка кабельных линий. Трос с 2-х сторон заземлен от существующего контура заземления.

Заземление щитков освещения выполнено свободной жилой питающего кабеля от существующего контура заземления подстанции. Заземление светильников выполнено свободной жилой кабеля от щитка освещения.

В качестве распределительного устройства для рабочего и аварийного освещения принят щит распределительный навесной на 6 модулей типа ЩРН-6-П УХЛЗ.

Сперва определим расчётные токи групповых линий.

Номинальные токи автоматического выключателя $I_{ном\cdot a}$ и его расцепителя $I_{ном\cdot p}$ выбираются по следующим условиям [10, с. 67]:

$$I_{ном..a} \geq I_p, \quad (13)$$

$$I_{ном..p} \geq I_p, \quad (14)$$

где I_p – расчетный ток в защищаемой цепи, А.

Расчётная мощность осветительной нагрузки:

$$P_{p0} = K_{co} \cdot K_{пра} \cdot P_l \cdot N_R \cdot n_{св}, \quad (15)$$

где K_{co} – коэффициент спроса;

$K_{пра}$ – коэффициент потерь в ПРА;

P_l – установленная мощность ламп, Вт

N_R – количество светильников;

$n_{св}$ – количество ламп в светильнике.

Для расчета групповой сети рабочего освещения и всех звеньев сети аварийного освещения производственных объектов, а также наружного освещения коэффициент спроса принимается равным единице.

Значение $K_{пра}$ принимается равным:

1,0 – для ламп накаливания и светодиодных ламп;

1,1 – для ламп типа ДРЛ, ДРИ, ДНаТ;

1,2 – для люминесцентных ламп (ЛЛ) со стартерной схемой пуска;

1,3 – для ЛЛ при бесстартерной схеме пуска.

Расчетные токи осветительной сети [15, стр. 136]:

для однофазных участков:

$$I_p = \frac{P_{p0}}{U_\phi \cdot \cos\varphi}. \quad (16)$$

для двухфазных участков:

$$I_p = \frac{P_{p0}}{2 \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi}. \quad (17)$$

для трехфазных участков:

$$I_p = \frac{P_{p0}}{3 \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi} = \frac{P_{p0}}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos\varphi}. \quad (18)$$

Ток нагрузки в питающей линии:

$$I_{p(n)} = \frac{P_{p0} \cdot 10^3}{3 \cdot U_\phi \cdot \cos\varphi_{cp}} = \frac{P_{p0}}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos\varphi_{cp}}, \quad (19)$$

$$\cos\varphi_{cp} = \frac{\Sigma \cos\varphi \cdot P_{p0}}{\Sigma P_{p0}}. \quad (20)$$

Исходные данные групповых линий приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Расчетные данные групповых линий

Групповая линия	K_{co}	K_{npa}	P_l , Вт	N_R	$n_{св}$	$\cos\varphi$	Число фаз на групповую линию
РО гр.1	1	1	36	12	1	0,9	1
РО гр.2	1	1	36	2	1	0,9	1
АО гр.1	1	1	36	8	1	0,9	8
АО гр.2	1	1	36	2	1	0,9	2

Проведем расчет для ряда гр.1 сборочного цеха.

Расчетная мощность ряда:

$$P_{p0} = 1 \cdot 1 \cdot 63 \cdot 12 \cdot 1 = 432 \text{ Вт}$$

Расчетный ток ряда:

$$I_p = \frac{432}{220 \cdot 0,9} = 2,18 \text{ А}$$

Примем к установке автомат типа ВА-47-29-1 с номинальным током $I_n = 16 \text{ А}$ [18, табл. П29].

Аналогично проводится расчет для остальных рядов и помещений. Результаты расчетов сведены в таблице 7. По результатам расчета выбирается тип защитного автоматов в групповых осветительных щитках.

Групповые линии, имеющие однофазное питание и включенные на фазное напряжение, необходимо распределить наиболее равномерно:

$$P_A = P_{POep1} = 432 \text{ Вт};$$

$$P_B = P_{POep2} = 72 \text{ Вт};$$

$$P_C = 0 \text{ Вт}.$$

В случае неравномерной нагрузки фаз расчетная активная нагрузка линии принимается равной утроенному значению нагрузки наиболее загруженной фазы:

$$P_{ЩРО} = 3 \cdot P_A = 3 \cdot 432 = 1296 \text{ Вт}.$$

Ток щитка ЩРО:

$$I_{p(ЩРО)} = \frac{1296}{3 \cdot 220 \cdot 0,9} = 2,18 \text{ А}.$$

Для питающей линии аварийного освещения расчет производится

аналогично. Результаты расчетов и выбора автоматов сведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчетов групповых и питающих линий

Групповая линия	P_{p0} , Вт	I_p , А	Кол-во и тип автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.р}$, А
РО гр.1	432	2,18	ВА-47-29-1	63	2,5
РО гр.2	72	0,36	ВА-47-29-1	63	2,5
АО гр.1	288	1,45	ВА-47-29-1	63	2,5
АО гр.2	72	0,36	ВА-47-29-1	63	2,5
ЩРО	1296	2,18	-	-	-
ЩАО	864	1,45	-	-	-

В общем случае момент нагрузки вычисляется по формуле:

$$M = P_{p0} \cdot L, \quad (21)$$

где P_{p0} – расчётная нагрузка;

L – длина участка, м.

Если группа светильников одинаковой мощности присоединена к линии с равными интервалами:

$$L = L_1 + \frac{L_A \cdot (N_R - 1)}{2}, \quad (22)$$

где L_1 – расстояние от осветительного щитка до первого светильника, м.

Для линии, показанной на рисунке 5, суммарный момент нагрузки:

$$M = (P_1 + P_2 + P_3) \cdot L_1 + (P_2 + P_3) \cdot L_2 + P_3 \cdot L_3. \quad (23)$$

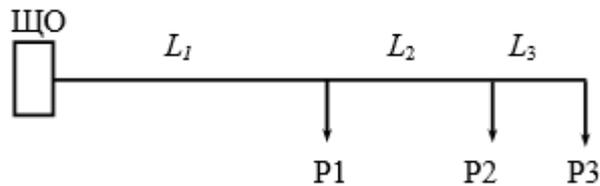


Рисунок 5 - Схема групповой осветительной линии

Для сети сложной конфигурации приведенный момент определяется как:

$$M_{np} = \Sigma M + \alpha \Sigma m, \quad (24)$$

где ΣM – сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке, Вт/м;

Σm – сумма моментов, питаемых через данный участок линии с иным числом проводов, чем на данном рассчитываемом участке, Вт/м;

α – коэффициент приведения моментов [9, таблица 3.5].

Момент нагрузки для линии гр.1:

$$M_{PO_{гр.1}} = 36 \cdot 12 \cdot 27 + 36 \cdot 9 \cdot 4 + 36 \cdot 6 \cdot 4 + 36 \cdot 3 \cdot 6 = 14472 \text{ Вт/м.}$$

Для остальных линий расчет производится аналогично согласно выражениям (21) – (24). Результаты расчетов сведены в таблице 8.

Длительно допустимые токи проводников сети освещения определяются из условия:

$$I_{дон} \geq I_p / K_n \quad (25)$$

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

I_p – расчетное значение тока нагрузки, А;

K_n – поправочный коэффициент на условия прокладки [18].

Механическая прочность обеспечивается применением проводов и кабелей, алюминиевые жилы которых должны быть не менее $2,5 \text{ мм}^2$ в сечении, а медные – не менее $1,5 \text{ мм}^2$.

Допустимое значение потерь напряжения в осветительной сети:

$$\Delta U_{\text{доп}} = U_{xx} - U_{\text{min}} - \Delta U_T, \quad (26)$$

где U_{xx} – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора (105%);

U_{min} – минимально допустимое напряжение у наиболее удалённых ламп (принимается 95%);

ΔU_T – потери напряжения в трансформаторе, %.

Потери напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_{KA} \cdot \cos \varphi + U_{KP} \cdot \sin \varphi), \quad (27)$$

где β_T – коэффициент загрузки трансформатора;

U_a и U_p – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора, %.

Активное сопротивление обмоток трансформатора:

$$U_{KA} = \frac{P_K \cdot 100}{S_T}, \quad (28)$$

где P_K – потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

S_T – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Реактивное сопротивление обмоток трансформатора:

$$U_{KP} = \sqrt{U_{\kappa}^2 - U_{\kappa a}^2}, \quad (29)$$

где U_K – напряжение короткого напряжения, %.

Приведенный момент нагрузки для питающей ЦРО:

$$M_{\text{ЦРО}} = 1,296 \cdot 20 = 26 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Требуемое сечение проводника по условию допустимой потере напряжения:

$$F = \frac{M}{C \cdot \Delta U_{\text{дон}}}, \quad (30)$$

где C – коэффициент, определяемый в зависимости от системы напряжения, системы сети и материала проводника. [9].

Найденное сечение округляется до стандартного большего значения, затем вычисляется действительное значение потерь напряжения на участке:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{M}{c \cdot F}. \quad (31)$$

Последующие участки рассчитываются аналогично по оставшейся потере напряжения:

$$\Delta U_{\text{до}} = \Delta U_{\text{д}} - \Delta U_{\phi}. \quad (32)$$

Согласование сечения проводникового материала с током уставки защитного аппарата выполняется по условию:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{ном.з}} \geq I_P \quad (33)$$

где $I_{\text{ном.з}}$ – номинальный ток устройства защиты (плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автомата), А.

Питание цеха от двухтрансформаторной подстанции. На подстанции установлено два трансформатора ТСЛ 100/6 с паспортными данными: $P_k=2,1$ кВт; $U_k=6$ % [20, табл 5.1.3]. Трансформатор работают с коэффициентом мощности $\cos\varphi=0,86$ и коэффициентом загрузки $\beta \approx 0,5$ (см. раздел 2).

Определим потерю напряжения в трансформаторе и допустимую потерю напряжения по выражениям (26) - (29):

$$U_{KA} = \frac{2,1 \cdot 100}{100} = 2,1\%;$$

$$U_{KP} = \sqrt{6^2 - 2,1^2} = 5,6\%;$$

$$\Delta U_T = 0,5 \cdot (2,1 \cdot 0,86 + 5,6 \cdot 0,51) = 2,33\%;$$

$$\Delta U_{\text{дон}} = 10 - 2,33 = 7,67\%.$$

Требуемое сечение проводника для питающей линии ЩРО по условию допустимой потере напряжения (30):

$$F = \frac{26}{72 \cdot 7,67} = 0,05 \text{ мм}^2;$$

По таблице ПЗ.4 [13] выбираем сечений для проводов ВВГнг – 4 мм² с длительно допустимым током $I_{\text{дон}}=35$ А.

Проверка сечения по условию допустимого тока (25):

$$35 \geq 2,18/1$$

Проверка сечения проводникового материала на соответствие току уставки защитного аппарата (33):

$$35 \geq 8$$

Таким образом к прокладке примем кабель марки ВВГнг 5х4.

Действительное значение потерь напряжения в питающей линии и допустимая потеря напряжения в групповых линиях соответственно:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{26}{72 \cdot 4} = 0,1\%;$$

$$\Delta U_{\text{дон}} = 7,67 - 0,1 = 7,57\% .$$

Аналогично производится выбор сечений для остальных линий. Результаты приведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор сечений проводов

Групповая линия	Выбор по допустимому падению напряжения				Выбор по длительно доп. току		Выбор по ном. току аппарата защиты		Принятое сечение		
	M , кВт·м	c	$\Delta U_{\text{дон}}$, %	F (ΔU), мм ²	I_p , А	F ($I_{\text{дон}}$), мм ²	$I_{\text{НР}}$, А	F ($I_{\text{НР}}$), мм ²	F , мм ²	$I_{\text{дон}}$, А	ΔU_{ϕ} , %
ЩРО	26	72	7,67	0,05	2,18	2,5	8	2,5	4	35	0,1
ЩАО	17,3	72	7,67	0,03	1,45	2,5	8	2,5	4	35	0,1
РО гр.1	14,4	12	7,57	0,16	2,18	2,5	2,5	2,5	2,5	25	0,9
РО гр.2	8,2	12	7,57	0,02	0,36	2,5	2,5	2,5	2,5	25	0,35
АО гр.1	13,2	12	7,57	0,15	1,45	2,5	2,5	2,5	2,5	25	0,55
АО гр.2	8,3	12	7,57	0,03	0,36	2,5	2,5	2,5	2,5	25	0,35

На основании расчетов составим план размещения осветительной аппаратуры и прокладки сети освещения в помещении РУ-6кВ, а также принципиальную схему щитков освещения. Данные чертежи приведены в приложении А.

Вывод по разделу 1.

Произведен анализ и указаны уели рассматриваемые в рамка выпускной квалификационной работы

Цель расчета общего освещения - определение количества светильников необходимых для обеспечения нормированной освещенности и мощность осветительной установки. Расчет общего освещения был произведен методом коэффициента использования светового потока.

Рациональное освещение помещений - один из наиболее важных факторов, от которых зависит эффективность трудовой деятельности человека. Хорошее освещение необходимо для выполнения большинства задач.

Спроектированная система освещения выполнена согласно существующих норм и требований. Уровень освещенности во всех помещениях соответствует нормативным требованиям.

2 Расчет системы собственных нужд подстанции

2.1 Определение расчетной электрической нагрузки собственных нужд. Выбор трансформаторов собственных нужд

Состав потребителей собственных нужд (СН) зависит от типа подстанции, мощности силовых трансформаторов, типа используемого электрооборудования. Мощность СН достаточно мала, поэтому они присоединяются к сети 380/220 В, которая получает питание от понижающих трансформаторов.

Определим нагрузку по секциям и ТСН в целом по форме Ф636-92 согласно РТМ 36.18.32.4-92 [17] и [14].

Перед определением нагрузок необходимо выбрать коэффициент использования $K_{и}$ для каждого электроприемника, который зависит от характерной категории ЭП и является справочной величиной либо применяется исходя из производственной практики.

Составим ведомость электроприемников СН (таблица 9), в которой будут сведены все расчетные данные ЭП.

Таблица 9 – Ведомость электроприемников СН

№ на плане	Наименование ЭП	P_n , кВт	$\cos\varphi_n$	$K_{и}$
1	2	3	4	5
П-1	Приточный вентилятор	5,5	0,8	0,8
П-1А	Приточный вентилятор (резерв)	5,5	0,8	0,8
О-1 РУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	5	0,9	0,3
О-2 РУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	5	0,9	0,3
М-1	Прожекторная мачта М-1	4	0,85	0,4
М-2	Прожекторная мачта М-2	4	0,85	0,4
М-3	Прожекторная мачта М-3	4	0,85	0,4
М-4	Прожекторная мачта М-4	4	0,85	0,4
ЩРО	Щиток рабочего освещения	1,3	0,9	0,2
ЩАО	Щиток аварийного освещения	0,86	0,9	0,2

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
ЩПТ-1	Щит постоянного тока. Ввод 1	15	0,83	1
ЩПТ-2	Щит постоянного тока. Ввод 2	15	0,83	1
НО-1	Наружное освещение	5	0,9	0,4
НО-2	Наружное освещение	5	0,9	0,4
ШПОТ	Шкаф питания обдува трансформаторов	10	0,85	0,3
ШПП	Шкаф подогрева приводов выключателей и разъединителей 35кВ	6	0,9	0,3
ЭКО	Блок управления электрокалорифером	50	0,9	0,6

Электрических нагрузки электроприемников до 1кВ рассчитываются для каждого узла питания, а также по цеху в целом.

Для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы их номинальная мощность не приводится к длительному режиму (ПВ = 100%).

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников ($n > 1$) определяется по выражению:

$$P_p = K_p \cdot \sum K_{ui} \cdot P_{ni}, \quad (34)$$

где K_p – коэффициент расчетной нагрузки.

Величина K_p принимается в зависимости от эффективного (приведенного) числа электроприемников группы $n_э$ и группового коэффициента использования [2, таблицы 1, 2].

Величина $n_э$ называется эффективным (приведенным) числом электроприемников, которые обуславливает ту же величину расчетной нагрузки, что и группа электроприемников различных по мощности и режиму, определяется по формуле:

$$n_э = \frac{(\sum P_{ni})^2}{\sum n \cdot P_{ni}^2}. \quad (35)$$

Групповой коэффициент использования группы электроприемников или цеха, определяется по формуле:

$$K_u = \frac{\sum P_{ni} \cdot K_{ui}}{\sum P_{ni}}. \quad (36)$$

Расчетная силовая реактивная нагрузка:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \text{ при } n_э \leq 10, \quad (37)$$

$$Q_p = \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \text{ при } n_э > 10, \quad (38)$$

где $\operatorname{tg} \phi_i$ - средний коэффициент мощности i -ого электроприемника.

Расчетная силовая реактивная нагрузка для магистральных шинопроводов, на шинах цеховых ТП, а также для цеха, корпуса и предприятия в целом:

$$Q_p = K_p \cdot \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i. \quad (39)$$

Расчетный ток нагрузки:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (40)$$

Произведем расчет нагрузок для секции 1. Эффективное число электроприемников:

$$n_э = \frac{(5,5 + 5 + 4 + 4 + 1,3 \cdot 15 + 5 + 10 + 50)^2}{5,5^2 + 5^2 + 4^2 + 4^2 + 1,3^2 + 15^2 + 5^2 + 10^2 + 50^2} \approx 3,4.$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{5,5 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 4 \cdot 0,4 + 1,3 \cdot 0,2 + 15 \cdot 1 + 5 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,3 + 50 \cdot 0,6}{5,5 + 5 + 2 \cdot 4 + 1,3 + 15 + 5 + 10 + 50} = 0,59$$

По таблице 2 [17] определяем коэффициент расчетной нагрузки K_P .
При $n_3 = 3,4$ и $K_u = 0,59$ $K_P = 1,04$.

Расчетная мощность группы:

$$P_p = 1,04 \cdot (5,5 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 4 \cdot 0,4 + 1,3 \cdot 0,2 + 15 \cdot 1 + 5 \cdot 0,4 + 10 \cdot 0,3 + 50 \cdot 0,6) = 61,7 \text{ кВт.}$$

Т.к. эффективное число электроприемников $n_3 \leq 10$, то Расчетная реактивная нагрузка определяется по выражению 37:

$$Q_p = 1,1 \cdot (5,5 \cdot 0,8 \cdot 0,75 + 5 \cdot 0,3 \cdot 0,48 + 2 \cdot 4 \cdot 0,4 \cdot 0,48 + 1,3 \cdot 0,2 \cdot 0,48 + 15 \cdot 1 \cdot 0,67 + 5 \cdot 0,4 \cdot 0,48 + 10 \cdot 0,3 \cdot 0,62 + 50 \cdot 0,6 \cdot 0,48) = 36,5 \text{ квар.}$$

Расчет нагрузок для остальных узлов и в целом по подстанции производится аналогично. Результаты расчетов нагрузки представлены в форме Ф636-92 в таблице 10.

На подстанциях используется режим скрытого резервирования, т.е. каждый ТСН выбирается на полную мощность СН. и в нормальном режиме работает с половинной нагрузкой, а при выходе из строя одного из них, другой несет полную нагрузку СН.

Таблица 10 – Определение расчетных нагрузок СН

Исходные данные							Расч. величины				Расч. мощность				
по заданию технологов				по справ. данным			$K_u \cdot P_n$	$K_u \cdot P_n \cdot \text{tg} \varphi$	$n \cdot p_n$	n_{Σ}	K_p	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА	I_p , А
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт. n	Ном. мощность, кВт		k_u	к-т мощности										
		одного p_n	общая $P_n = n \cdot p_n$		$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$									
<u>Секция 1</u>															
П-1	1	5,5	5,5	0,8	0,8	0,75	4,4	3,3	30,3	-	-	-	-	-	-
О-1 РУ-6 кВ	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,73	25	-	-	-	-	-	-
М-1	1	4	4	0,4	0,9	0,48	1,6	0,77	16	-	-	-	-	-	-
М-2	1	4	4	0,4	0,9	0,48	1,6	0,77	16	-	-	-	-	-	-
ЩРО	1	1,3	1,3	0,2	0,9	0,48	0,26	0,13	1,7	-	-	-	-	-	-
ЩПТ-1	1	15	15	1	0,83	0,67	15	10,1	225	-	-	-	-	-	-
НО-1	1	5	5	0,4	0,9	0,48	2	0,97	25	-	-	-	-	-	-
ШПОТ	1	10	10	0,3	0,85	0,62	3	1,86	100	-	-	-	-	-	-
ЭКО	1	50	50	0,6	0,9	0,48	30	14,53	2500	-	-	-	-	-	-
<u>Итого</u>	-	-	99,8	0,59	0,87	0,56	59,36	33,14	2934	3,4	1,04	61,7	36,5	71,7	108,9
<u>Секция 2</u>															
П-2	1	5,5	5,5	0,8	0,8	0,75	4,4	3,3	30,3	-	-	-	-	-	-
О-2 РУ-6 кВ	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,73	25	-	-	-	-	-	-
М-3	1	4	4	0,4	0,9	0,48	1,6	0,77	16	-	-	-	-	-	-
М-4	1	4	4	0,4	0,9	0,48	1,6	0,77	16	-	-	-	-	-	-
ЩАО	1	0,86	0,86	0,2	0,9	0,48	0,17	0,08	0,7	-	-	-	-	-	-
ЩПТ-2	1	15	15	1	0,83	0,67	15	10,08	225	-	-	-	-	-	-
НО-2	1	5	5	0,4	0,9	0,48	2	0,97	25	-	-	-	-	-	-
ШПП	1	6	6	0,3	0,9	0,48	1,8	0,87	36	-	-	-	-	-	-
<u>Итого</u>	-	-	45,4	0,62	0,85	0,63	28,07	17,58	374	5,5	0,93	26,1	19,3	32,5	49,4
<u>СН</u>															
П-1(П-1А)	1	5,5	5,5	0,8	0,8	0,75	4,4	3,3	30,3	-	-	-	-	-	-
О-1 РУ-6 кВ	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,73	25	-	-	-	-	-	-
О-2 РУ-6 кВ	1	5	5	0,3	0,9	0,48	1,5	0,73	25	-	-	-	-	-	-
М-1	1	4	4	0,4	0,85	0,62	1,6	0,99	16	-	-	-	-	-	-
М-2	1	4	4	0,4	0,85	0,62	1,6	0,99	16	-	-	-	-	-	-
М-3	1	4	4	0,4	0,85	0,62	1,6	0,99	16	-	-	-	-	-	-
М-4	1	4	4	0,4	0,85	0,62	1,6	0,99	16	-	-	-	-	-	-
ЩРО	1	1,3	1,3	0,2	0,9	0,48	0,26	0,13	1,7	-	-	-	-	-	-
ЩАО	1	0,86	0,86	0,2	0,9	0,48	0,17	0,08	0,7	-	-	-	-	-	-
ЩПТ-1	1	15	15	1	0,83	0,67	15	10,08	225	-	-	-	-	-	-
ЩПТ-2	1	15	15	1	0,83	0,67	15	10,08	225	-	-	-	-	-	-
НО-1	1	5	5	0,4	0,9	0,48	2	0,97	25	-	-	-	-	-	-
НО-2	1	5	5	0,4	0,9	0,48	2	0,97	25	-	-	-	-	-	-
ШПОТ	1	10	10	0,3	0,85	0,62	3	1,86	100	-	-	-	-	-	-
ШПП	1	6	6	0,3	0,9	0,48	1,8	0,87	36	-	-	-	-	-	-
ЭКО	1	50	50	0,6	0,9	0,48	30	14,53	2500	-	-	-	-	-	-
<u>Итого</u>	-	-	139,66	0,59	0,86	0,58	83,03	48,29	3283	5,9	0,92	76,4	28,1	81,4	123,7

Произведем выбор трансформатора собственных нужд:

$$S_{\text{ном.тр}} \geq S_{\text{расч}} = 81,4 \text{ кВА.}$$

Принимаем к установке трансформатор сухого исполнения мощностью 100кВА.

2.2 Расчет распределительной сети собственных нужд

Перечень электроприемников собственных нужд приведен в таблице 9. Определим расчетные токи в распределительных линиях. Данный расчет необходим для выбора распределительных устройств, устройств защиты, а также сечения проводников.

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi}. \quad (41)$$

Пусковой ток:

$$I_{\text{пуск}} = I_p \cdot K_n, \quad (42)$$

где K_n – кратность пускового тока, определяется по паспортным данным ЭП.

Для примера определим расчетный и пусковой токи приточного вентилятора П-1:

$$I_p = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,8} = 9,9 \text{ А};$$

$$I_n = 9,9 \cdot 6 = 59,5 \text{ А}.$$

Для остальных приемников расчет производится аналогично. Результаты вычислений и пусковых токов представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Ведомость электроприемников СН

№ на плане	Наименование ЭП	P_n , кВт	$\cos\varphi_n$	K_n	I_p , А	I_n , А
П-1	Приточный вентилятор	5,5	0,8	6	9,9	59,5
П-1А	Приточный вентилятор (резерв)	5,5	0,8	6	9,9	59,5
О-1 РУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	5	0,9	1	8	-
О-2 РУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	5	0,9	1	8	-
М-2	Прожекторная мачта М-2	4	0,85	1	6,8	-
М-3	Прожекторная мачта М-3	4	0,85	1	6,8	-
М-4	Прожекторная мачта М-4	4	0,85	1	6,8	-
ЩРО	Щиток рабочего освещения	1,3	0,9	1	2,1	-
ЩАО	Щиток аварийного освещения	0,86	0,9	1	1,4	-
ЩПТ-1	Щит постоянного тока. Ввод 1	15	0,83	1	26,1	-
ЩПТ-2	Щит постоянного тока. Ввод 2	15	0,83	1	26,1	-
НО-1	Наружное освещение	5	0,9	1	8	-
НО-2	Наружное освещение	5	0,9	1	8	-
ШПОТ	Шкаф питания обдува трансформаторов	10	0,85	6	17	101,9
ШПП	Шкаф подогрева приводов выключателей и разъединителей 110кВ	6	0,9	1	9,6	-
ЭКО	Блок управления электрокалорифером	50	0,9	1	80,2	-

Для электроприемников собственных нужд предусматривается комплектная трансформаторная подстанция КТП-2×100 кВА фирмы АВВ, с технологией выдвижных модулей типа MNS. Подстанция однорядная с трансформаторами сухого исполнения типа TESAR.

Условия выбора номинальных токов автоматического выключателя и расцепителя:

$$I_{ном..a} \geq I_p, \quad (43)$$

$$I_{ном..p} \geq I_p. \quad (44)$$

Ток срабатывания электромагнитного расцепителя отстраивается от максимального тока линии:

$$I_{ср..р} \geq k \cdot I_{пуск}, \quad (45)$$

где k – коэффициент разброс защитных характеристик, принимается $k = 1,25$.

Ток срабатывания автоматического выключателя:

$$I_{ср..р} = K_{ТО} \cdot I_{ном.р}, \quad (46)$$

где $K_{ТО}$ – кратность тока отсечки.

Исходя из всех описанных условий, произведем выбор аппаратов защиты распределительных линий. В модулях серии MNS используются автоматические выключатели типа S2X. Выбор аппаратов защиты произведен в таблице 12.

Таблица 12 – Выбор аппаратов защиты

№ на плане	Наименование защищаемого объекта (линии)	I_p , А	$I_{пуск}$, А	Тип ВЫК-ля	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.р}$, А	$I_{ср.р}$, А
1	2	3	4	5	6	7	8
П-1	Приточный вентилятор	9,9	59,5	S2X80	80	12,5	125
П-1А	Приточный вентилятор (резерв)	9,9	59,5	S2X80	80	12,5	125
О-1 РУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	8	8	S2X80	80	10	100
О-2 РУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	8	8	S2X80	80	10	100
М-1	Прожекторная мачта М-1	6,8	6,8	S2X80	80	10	100
М-2	Прожекторная мачта М-2	6,8	6,8	S2X80	80	10	100
М-3	Прожекторная мачта М-3	6,8	6,8	S2X80	80	10	100
М-4	Прожекторная мачта М-4	6,8	6,8	S2X80	80	10	100
ЩРО	Щиток рабочего освещения	2,1	2,1	S2X80	80	8	80
ЩАО	Щиток аварийного освещения	1,4	1,4	S2X80	80	8	80
ЩПТ-1	Щит постоянного тока. Ввод 1	26,1	26,1	S2X80	80	32	320
ЩПТ-2	Щит постоянного тока. Ввод 2	26,1	26,1	S2X80	80	32	320

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4	5	6	7	8
НО-1	Наружное освещение	8	8	S2X80	80	10	100
НО-2	Наружное освещение	8	8	S2X80	80	10	100
ШПОТ	Шкаф питания обдува трансформаторов	17	101,9	S2X80	80	25	250
ШПП	Шкаф подогрева приводов выключателей и разъединителей 110кВ	9,6	9,6	S2X80	80	10	100
ЭКО	Блок управления электрокалорифером	80,2	80,2	S2X100	100	100	1000

Магнитные пускатель выбирается по условию:

$$I_{ном.п} \geq I_p, \quad (48)$$

где $I_{ном.п}$ – номинальный ток пускателя, А.

Условие выбора пускателя с тепловым реле:

$$I_{ном.т} \geq I_{ном}, \quad (49)$$

$$I_{min} < I_p < I_{max}, \quad (50)$$

где $I_{ном.т}$ – номинальный ток теплового реле, А;

I_{min} и I_{max} – пределы регулирования тока несрабатывания теплового реле, А.

Произведем выбор магнитного пускателя с тепловым реле для приточного вентилятора П-1. Определяем номинальный ток магнитного пускателя по условию (48):

$$I_{ном.п} \geq 9,9 \text{ А.}$$

Принимаем магнитный пускатель типа АХ18-30 фирмы АВВ с

номинальным током $I_{ном.п.} = 18$ А. В качестве теплового реле используется реле ТА25ДУ14М с диапазоном уставки 10...14А.

Для остальных электроприемников выбор пускателей производится аналогично. Результаты выбора сведены в таблице 13.

Таблица 13 – Выбор магнитных пускателей

№ на плане	Наименование защищаемого объекта	I_p, A	Магнитный пускатель		Тепловое реле		
			Тип	$I_{ном.п.}, A$	Тип	I_n, A	Пределы регул., A
П-1, П-1А	Приточный вентилятор	9,9	АХ18-30	18	ТА25ДУ14М	25	10-14
М-1, М-2, М-3, М-4	Прожекторная мачта	6,8	АХ12-30	12	-	-	-

Для силовых цепей, выполненных кабельным проводником и медными проводящими жилами минимальное сечение составляет 2,5 мм².

По допустимому нагреву сечения кабелей выбираются по условию:

$$I_{доп} \geq I_p / K_n, \quad (51)$$

где $I_{доп}$ – длительно допустимый ток кабеля, А;

K_n – поправочный коэффициент на фактические условия прокладки проводов и кабелей.

Для электрических сетей до 1кВ поправочный коэффициент K_n определяется как:

$$K_n = K_1 \cdot K_2, \quad (52)$$

где K_1, K_2 – коэффициенты, учитывающие фактическую температуру окружающей среды и количество совместно проложенных проводников.

Согласование сечения проводникового материала с током уставки защитного аппарата выполняется по условию:

$$I_{доп} \geq I_{ном.з} \quad (53)$$

где $I_{ном.з}$ – номинальный ток устройства защиты (плавкой вставки предохранителя, теплового или комбинированного расцепителя автомата), А.

Для распределительных линий принимаем кабеля марки ВВГ. Кабели до электроприемников будет прокладываться на кабельных лотках, расположенных под полом. Определим сечение кабеля приточного вентилятора П-1.

Допустимый ток нагрева кабеля:

$$I_{доп} \geq 3,8 / (1 \cdot 1) = 9,9 \text{ А.}$$

Согласование сечения проводникового материала с током уставки защитного аппарата:

$$I_{доп} \geq 12,5 \text{ А.}$$

По таблице ПЗ.4 [13] выбираем кабель ВВГ 4×2,5 с $I_{доп} = 25 \text{ А}$.

Для остальных электроприемников кабель выбирается аналогично. Результаты выбора кабелей сведены в таблице 14.

Таблица 14 – Выбор кабелей для ЭП

№ на плане	Наименование защищаемого объекта (линии)	I_p , А	K_1	K_2	$I_{ном.р.}$, А	Марка и сечение кабеля	$I_{доп}$, А
П-1	Приточный вентилятор	9,9	1	1	12,5	ВВГ 4×2,5	25
П-1А	Приточный вентилятор (резерв)	9,9	1	1	12,5	ВВГ 4×2,5	25
О-1 РУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	8	1	1	10	ВВГ 4×2,5	25
О-2 РУ-6кВ	Освещение релейного отсека КРУ-6кВ	8	1	1	10	ВВГ 4×2,5	25
М-1	Прожекторная мачта М-1	6,8	1	1	10	ВВГ 5×2,5	25
М-2	Прожекторная мачта М-2	6,8	1	1	10	ВВГ 5×2,5	25
М-3	Прожекторная мачта М-3	6,8	1	1	10	ВВГ 5×2,5	25
М-4	Прожекторная мачта М-4	6,8	1	1	10	ВВГ 5×2,5	25
ЩРО	Щиток рабочего освещения	2,1	1	1	8	ВВГ 5×4	25
ЩАО	Щиток аварийного освещения	1,4	1	1	8	ВВГ 5×4	25
ЩПТ-1	Щит постоянного тока. Ввод 1	26,1	1	1	32	ВВГ 4×4	35
ЩПТ-2	Щит постоянного тока. Ввод 2	26,1	1	1	32	ВВГ 4×4	35
НО-1	Наружное освещение	8	1	1	10	ВВГ 5×2,5	25
НО-2	Наружное освещение	8	1	1	10	ВВГ 5×2,5	25
ШПОТ	Шкаф питания обдува трансформаторов	17	1	1	25	ВВГ 4×4	35
ШПП	Шкаф подогрева приводов выключателей и разъединителей 35кВ	9,6	1	1	10	ВВГ 4×2,5	25
ЭКО	Блок управления электрокалорифером	80,2	1	1	100	ВВГ 4×35+1×16	120

Из проделанного расчета составим принципиальную однолинейную схему собственных нужд. Представлена данная схема в приложении Б.

Вывод по разделу 2.

При проектировании системы собственных нужд вся нагрузка была равномерно распределена на 2 секции, что обеспечивает ее надежное, бесперебойное электроснабжение. На подстанции используется режим скрытого резервирования, т.е. каждый ТСН выбирается на полную мощность СН и в нормальном режиме работает с половинной нагрузкой, а при выходе из строя одного из них, другой несет полную нагрузку СН.

3 Определение расчетной электрической нагрузки завода. Выбор питающего трансформатора

Основными потребителями подстанции являются трансформаторные подстанции различных технологических установок, высоковольтные насосы. Характеристики потребителей подстанции приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики потребителей 6кВ

Наименование потребителя	S_n , кВА	$\cos\varphi$	K_u
Гвоздильный цех Т-1	1000	0,85	0,6
Гвоздильный цех Т-2	1000	0,85	0,6
Крепежно-калибровочный цех Т-1	1000	0,85	0,6
Крепежно-калибровочный цех Т-2	1000	0,85	0,6
Цех специализированных крепежных инструментов Т-1	1600	0,84	0,6
Цех специализированных крепежных инструментов Т-2	1600	0,84	0,6
Котельная Т-1	1000	0,85	0,6
Котельная Т-2	1000	0,85	0,6
Насосная станция Т-1	1600	0,88	0,6
Насосная станция Т-2	1600	0,88	0,6
Инструментальный цех Т-1	630	0,75	0,6
Инструментальный цех Т-2	630	0,75	0,6
Цех электроснабжения Т-1	400	0,8	0,6
Цех электроснабжения Т-2	400	0,8	0,6
Ремонтно-механический цех Т-1	400	0,7	0,6
Ремонтно-механический цех Т-2	400	0,7	0,6
Транспортный цех Т-1	400	0,72	0,8
Административный корпус Т-1	400	0,8	0,8
ТСН-1	100	0,87	0,5
ТСН-2	100	0,85	0,5

Расчет нагрузки делается по РТМ 36.18.32.4-92 «Указания по расчету электрических нагрузок» [17] с использованием формы Ф636-92.

Расчетная нагрузка секции определяется по формулам:

$$P_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni}), \quad (54)$$

$$Q_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg}\varphi), \quad (55)$$

где K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузок;

m – число присоединений на сборных шинах 6кВ;

K_{ui} – коэффициент использования i -ого присоединения;

P_{ni} – номинальная мощность i -ого присоединения, кВт.

Коэффициент одновременности K_o зависит от числа подключений m и группового коэффициента использования силовой нагрузки:

$$K_u = \frac{\sum P_{ni} \cdot K_{ui}}{\sum P_{ni}}. \quad (56)$$

Коэффициент одновременности K_o определяется по таблице 3 [17].

Групповой коэффициент использования силовой нагрузки 1 секции:

$$K_u = \frac{0,5 \cdot (1000 + 1000 + 1600 + 1000 + 1600 + 630 + 400 + 400) + 0,8 \cdot 400 + 0,5 \cdot 100}{1000 + 1000 + 1600 + 1000 + 1600 + 630 + 400 + 400 + 400 + 100} = 0,61$$

При числе подключений $m = 10$ и коэффициенте использования $K_u = 0,61$ по таблице 3 [17] принимаем коэффициент одновременности $K_o = 0,9$.

Расчетная силовая нагрузка 1 секции:

$$P_p = 0,9 \cdot (0,6 \cdot (1000 + 1000 + 1600 + 1000 + 1600 + 630 + 400 + 400) + 0,8 \cdot 400 + 0,5 \cdot 100) = 4453 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 0,9 \cdot (0,6 \cdot (0,62 \cdot 1000 + 0,62 \cdot 1000 + 0,65 \cdot 1600 + 0,62 \cdot 1000 + 0,54 \cdot 1600 + 0,88 \cdot 630 + 0,75 \cdot 400 + 1,33 \cdot 400) + 0,8 \cdot 0,96 \cdot 400 + 0,5 \cdot 0,57 \cdot 100) = 3082 \text{ квар}.$$

Нагрузка 2 секции определяется аналогично. Расчет нагрузок на шинах 6кВ оформлен в таблице 16

Таблица 16 – Определение расчетных нагрузок

Исходные данные							Расч. величины					Расч. мощность			
по заданию технологов				по справ. данным			K _н ·P _н	K _н ·P _н ·tgφ	n·p _н ²	n _э	K _р	P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	I _р , А
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт. n	Ном.мощность кВт		k _и	к-т мощности										
		одного p _н	общая P _н =n·p _н		cosφ	tgφ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 секция															
Гвоздильный цех Т-1	1	1000	1000	0,6	0,85	0,62	600	371,8	-	-	-	-	-	-	-
Крепежно-калибровочный цех Т-1	1	1000	1000	0,6	0,85	0,62	600	371,8	-	-	-	-	-	-	-
Цех спец. крепежных инструментов Т-1	1	1600	1600	0,6	0,84	0,65	960	620,1	-	-	-	-	-	-	-
Котельная Т-1	1	1000	1000	0,6	0,85	0,62	600	371,8	-	-	-	-	-	-	-
Насосная станция Т-1	1	1600	1600	0,6	0,88	0,54	960	518,2	-	-	-	-	-	-	-
Инструментальный цех Т-1	1	630	630	0,6	0,75	0,88	378	333,4	-	-	-	-	-	-	-
Цех электроснабжения Т-1	1	400	400	0,6	0,8	0,75	240	180,0	-	-	-	-	-	-	-
Ремонтно-механический цех Т-1	1	400	400	0,6	0,6	1,33	240	320,0	-	-	-	-	-	-	-
Транспортный цех Т-1	1	400	400	0,8	0,72	0,96	320	308,4	-	-	-	-	-	-	-
ТСН-1	1	100	100	0,5	0,87	0,57	50	28,3	-	-	-	-	-	-	-
Итого по 1 секции	-	-	8130	0,61	-	0,69	4948	3424	-	-	0,9	4453	3082	5415	496
2 секция															
Гвоздильный цех Т-2	1	1000	1000	0,6	0,85	0,62	600	371,8	-	-	-	-	-	-	-
Крепежно-калибровочный цех Т-2	1	1000	1000	0,6	0,85	0,62	600	371,8	-	-	-	-	-	-	-
Цех специализированных крепежных инструментов Т-2	1	1600	1600	0,6	0,84	0,65	960	620,1	-	-	-	-	-	-	-
Котельная Т-2	1	1000	1000	0,6	0,85	0,62	600	371,8	-	-	-	-	-	-	-
Насосная станция Т-2	1	1600	1600	0,6	0,88	0,54	960	518,2	-	-	-	-	-	-	-
Инструментальный цех Т-2	1	630	630	0,6	0,75	0,88	378	333,4	-	-	-	-	-	-	-
Цех электроснабжения Т-2	1	400	400	0,6	0,8	0,75	240	180,0	-	-	-	-	-	-	-
Ремонтно-механический цех Т-2	1	400	400	0,6	0,6	1,33	240	320,0	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Административный корпус Т-1	1	400	400	0,8	0,8	0,75	320	240,0	-	-	-	-	-	-	-
ТСН-2	1	100	100	0,5	0,85	0,62	50	31,0	-	-	-	-	-	-	-
Итого по 2 секции	-	-	8130	0,61	-	0,68	4948	3358	-	-	0,9	4453	3022	5382	493
По заводу															
Гвоздильный цех	2	1000	2000	0,6	0,85	0,62	1200	743,7	-	-	-	-	-	-	-
Крепежно-калибровочный цех	2	1000	2000	0,6	0,85	0,62	1200	743,7	-	-	-	-	-	-	-
Цех спец. крепежных инструментов	2	1600	3200	0,6	0,84	0,65	1920	1240,2	-	-	-	-	-	-	-
Котельная	2	1000	2000	0,6	0,85	0,62	1200	743,7	-	-	-	-	-	-	-
Насосная станция	2	1600	3200	0,6	0,88	0,54	1920	1036,3	-	-	-	-	-	-	-
Инструментальный цех	2	630	1260	0,6	0,75	0,88	756	666,7	-	-	-	-	-	-	-
Цех электроснабжения	2	400	800	0,6	0,8	0,75	480	360,0	-	-	-	-	-	-	-
Ремонтно-механический цех	2	400	800	0,6	0,6	1,33	480	640,0	-	-	-	-	-	-	-
Транспортный цех	1	400	400	0,8	0,72	0,96	320	308,4	-	-	-	-	-	-	-
Административный корпус	1	400	400	0,8	0,8	0,75	320	240,0	-	-	-	-	-	-	-
ТСН-1	1	100	100	0,5	0,87	0,57	50	28,3	-	-	-	-	-	-	-
ТСН-2	1	100	100	0,5	0,85	0,62	50	31,0	-	-	-	-	-	-	-
Итого по заводу	-	-	16260	0,61	-	0,69	9896	6782	-	-	0,9	8906	6104	10797	989

Определим расчетные токи в питающих и распределительных линиях. Данный расчет необходим для выбора сечения проводников, а также для выбора силового оборудования подстанции.

Таким образом, для линий ТП расчётный ток и ток в послеаварийном режиме:

$$I_{p(ТП)} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (57)$$

$$I_{p(ТП)} = 1,2 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (58)$$

Расчетный ток в линии к подстанции в нормальном режиме можно определить по его расчетной мощности. В послеаварийном режиме, когда один из вводов отключен, а другой несет всю нагрузку, расчетный ток в

линии к подстанции равен сумме мощностей двух секций (для двухсекционной подстанции). Расчетный ток линии к РП в нормальном и послеаварийном режиме:

$$I_{p(PИ)} = \frac{S_{PИ1c}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (59)$$

$$I_{pa(PИ)} = \frac{\Sigma S_{PИ}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (60)$$

Определение расчетных токов в нормальном и послеаварийном режимах отходящих линий произведено в таблице 17.

Расчетный ток питающих линий подстанции в нормальном и послеаварийном режимах на стороне 6кВ по выражениям (59) и (60) соответственно:

$$I_{p(PИ1c)} = \frac{5415}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 496,2 \text{ А};$$

$$I_{p(PИ2c)} = \frac{5382}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 493,2 \text{ А};$$

$$I_{pa(PИ)} = \frac{10797}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 989 \text{ А}.$$

Таблица 17 – Расчетные токи линий 6кВ

Линия	Нагрузка S_H , кВА	I_p , А	I_{pa} , А
1	2	3	4
РУ-6кВ ввод 1	5415	496	989
РУ-6кВ ввод 2	5382	493	989
Гвоздильный цех Т-1	1000	91,6	110
Гвоздильный цех Т-2	1000	91,6	110
Крепежно-калибровочный цех Т-1	1000	91,6	110
Крепежно-калибровочный цех Т-2	1000	91,6	110
Цех специализированных крепежных инструментов Т-1	1600	146,6	176

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4
Цех специализированных крепежных инструментов Т-2	1600	146,6	176
Котельная Т-1	1000	91,6	110
Котельная Т-2	1000	91,6	110
Насосная станция Т-1	1600	146,6	176
Насосная станция Т-2	1600	146,6	176
Инструментальный цех Т-1	630	57,7	69,3
Инструментальный цех Т-2	630	57,7	69,3
Цех электроснабжения Т-1	400	36,7	44
Цех электроснабжения Т-2	400	36,7	44
Ремонтно-механический цех Т-1	400	36,7	44
Ремонтно-механический цех Т-2	400	36,7	44
Транспортный цех Т-1	400	36,7	44
Административный корпус Т-1	400	36,7	44
ТСН-1	100	9,2	11
ТСН-2	100	9,2	11

Номинальную мощность питающих трансформаторов определяют по условию:

$$S_{ном.тр} \geq \frac{S_p}{n \cdot \beta_T}, \quad (61)$$

где S_p – расчетная мощность суммарной нагрузки;

n – количество трансформаторов;

β_T – коэффициент загрузки трансформаторов. Для двухтрансформаторной подстанции $\beta_T = 0,6-0,7$.

При использовании двух и более трансформаторов расчетным является условие отказа одного из трансформаторов, при этом оставшиеся в работе трансформаторы с учетом их аварийной перегрузки должны передать всю необходимую мощность:

$$S_{ном.тр} \geq \frac{S_p}{k_{нав} \cdot (n-1)} \quad (62)$$

где $k_{нав}$ – коэффициент аварийной перегрузки трансформаторов. Для масляных трансформаторов принимается равным 1,4.

Определим номинальную мощность питающих трансформаторов проектируемой подстанции:

$$S_{ном.тр} = \frac{10797}{2 \cdot 0,6} = 8998 \text{ кВА};$$

$$S_{ном.тр} \geq \frac{10797}{1,4} = 7712 \text{ кВА}.$$

По расчетным данным принимаем к установке 2 трансформатора типа ТД-10000/35/6,6

Расчетный ток питающих линий подстанции в нормальном и послеаварийном режимах на стороне 35кВ:

$$I_{p(110кВ)} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 165 \text{ А};$$

$$I_{pa(110кВ)} = \frac{1,4 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 231 \text{ А}.$$

В данном разделе производился расчет электрических нагрузок завода, а так же происходил выбор силовых трансформаторов, питающих завод. На основании расчетов были приняты к установке 2 трансформатора типа ТД-10000/35/6,6.

На основании расчета электрических нагрузок и токов линий в дальнейшем будет происходить выбор кабельных линий и электрооборудования подстанции.

4 Расчет токов короткого замыкания

Токи короткого замыкания в установках выше 1000В рассчитываются согласно рекомендаций ГОСТ 27514-87 [4] и РД 153-34.0-20.527-98 [16].

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени в относительных и именованных единицах соответственно:

$$I_{n0*} = \frac{E_{\Sigma}}{X_{\Sigma}}; \quad (63)$$

$$I_{n0} = I_{n0*} \cdot I_{\sigma}, \quad (64)$$

где E_{Σ} - суммарное значение источников ЭДС в точке КЗ, отн. ед.;

X_{Σ} - суммарное сопротивление ветви в точке КЗ, отн. ед.;

I_{σ} - базисный ток, А.

Базисный ток рассчитывается по следующему выражению:

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}, \quad (65)$$

где S_{σ} - базисная мощность, МВА;

U_{σ} - базисное напряжение, кВ.

Ударный ток КЗ:

$$I_{y0} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{y0}, \quad (66)$$

где K_{y0} - ударный коэффициент [2, таблица 2.3].

Импульс квадратичного тока:

$$B_k = I_{n0}^2 (t_{отк} + T_a), \quad (67)$$

где $t_{отк}$ - время действия защиты (зависит от селективности действия защит энергосистемы);

T_a - постоянная времени [1, таблица 2.3].

Время отключения линии 35кВ (рисунок 6) принимается $t_{откл(110кВ)}=0,8с$, время отключения ввода РУ-6кВ - $t_{откл(ввод)}=0,4с$. Время отключения отходящих фидеров - $t_{откл(отх)}=0,2с$.

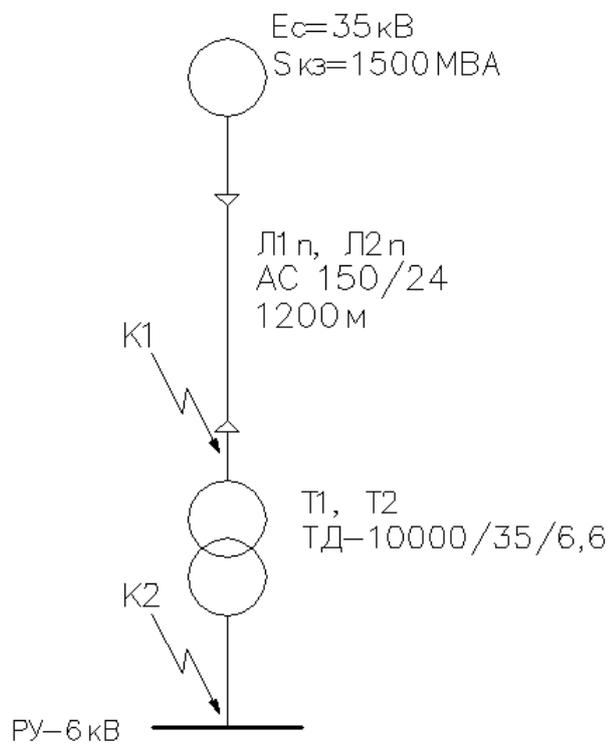


Рисунок 6 – Расчетная схема участка сети

Расчет будем проводить в относительных единицах с приближенным приведением к основной ступени, поэтому в качестве базисных единиц выберем $S_{б}=100$ МВА, $U_{б1}=35$ кВ, $U_{б2}=6,3$ кВ.

Базисные токи для каждой ступени:

$$I_{\delta 1} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 1650 \text{ A};$$

$$I_{\delta 2} = \frac{100 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 10^3} = 9164 \text{ A}.$$

Далее необходимо составить схему замещения сети с расчетными параметрами элемента. Сопротивления трансформатора, системы и ЛЭП в относительных единицах соответственно [19, табл.5.4]:

$$X_T^* = \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{ном.тр}}, \quad (68)$$

$$X_c^* = \frac{S_{\delta}}{S_{кз.с}}, \quad (69)$$

$$X_L^* = Z_L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\delta}^2}, \quad (70)$$

где $U_{к\%}$ - напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{ном.тр}$ - номинальная мощность трансформатора, МВА;

$S_{кз.с}$ - мощность короткого замыкания системы, МВА;

Z_L - полное сопротивление линии, Ом.

Значение сопротивления линии:

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \sqrt{(R_{L,y\delta} \cdot L)^2 + (X_{L,y\delta} \cdot L)^2}, \quad (71)$$

где L - длина линии, км;

$R_{L,y\delta}$, $X_{L,y\delta}$ - удельное активное и реактивное сопротивления соответственно, Ом/км.

Удельное активное и индуктивное сопротивление линий определяется по справочным таблицам в зависимости от класса напряжения, сечения и марки проводника.

Рассчитаем сопротивления элементов схемы замещения (рисунок 7) по выражениям (68) - (71).

$$X_T^* = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{100}{10} = 1,05;$$

$$X_{L1}^* = \sqrt{(0,198 \cdot 1,2)^2 + (0,406 \cdot 1,2)^2} \cdot \frac{100}{35^2} = 0,044;$$

$$X_c^* = \frac{100}{1500} = 0,067.$$

Во всех приближенных расчетах рекомендуется принимать средние значения ЭДС в относительных единицах при номинальных условиях для системы $E_c = 1$.

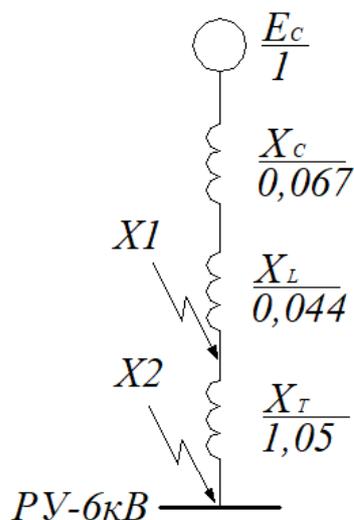


Рисунок 7 – Схема замещения участка сети

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки $K1$ по выражениям (63) - (67):

$$I_{n0^{*(K1)}} = \frac{1}{0,067 + 0,044} = 9;$$

$$I_{n0(K1)} = 9 \cdot 1,65 = 14,9 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial(K1)} = \sqrt{2} \cdot 14,9 \cdot 1,8 = 37,8 \text{ кА};$$

$$B_{\kappa(K1)} = 14,9^2 \cdot (0,8 + 0,04) = 186 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки К2 по выражениям (63) - (67):

$$I_{n0^{*(K2)}} = \frac{1}{0,067 + 0,044 + 1,05} = 0,861;$$

$$I_{n0(K2)} = 0,861 \cdot 9,164 = 7,89 \text{ кА};$$

$$i_{y\partial(K2)} = \sqrt{2} \cdot 7,89 \cdot 1,8 = 20 \text{ кА};$$

$$B_{\kappa(K2)} = 7,89^2 \cdot (0,4 + 0,04) = 27,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Короткие замыкания являются аварийными режимами в сети электроснабжения, которые приводят к повреждению электрооборудования, к технико-экономическим ущербам, ухудшению условия работы потребителей, а также несет угрозу безопасности и жизни человека.

Расчет токов короткого замыкания необходим для выбора аппаратуры и проверки элементов электроустановок (шин, изоляторов, кабелей и т. д.) на электродинамическую и термическую устойчивость, а также уставок срабатывания защит и проверки их на чувствительность срабатывания.

5 Выбор сечения кабельных линий и электрооборудования напряжением 6-35кВ

Выбор сечения кабельных линий 6кВ производится по экономической плотности тока согласно ПУЭ п.1.3.25-1.3.32 [12]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}}, \quad (72)$$

где I_p – расчетный ток проводника в нормальном режиме, А;

$j_{\text{э}}$ – экономическая плотность тока, А/мм².

Экономическая плотность тока выбирается по [12, таблица 1.3/36] и зависит от типа проводника и времени использования максимальной нагрузки T_{max} .

Затем выбирается ближайшее к $F_{\text{э}}$ стандартное сечение проводника из ряда: 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500 и 800 мм².

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

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

Проводники должны выдерживать расчетный ток утяжеленного режима:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{ра}} \quad (73)$$

где $I_{\text{дон}}$ – длительно допустимый ток проводника, А, определяется по справочным таблицам ПУЭ, ГОСТ, ТУ, каталогам;

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

Проверка термической устойчивости кабеля сводится к определению допустимого по условиям нагрева токами КЗ сечения:

$$F_T = \frac{\sqrt{B_k}}{C_T}, \quad (74)$$

где B_k – тепловой импульс тока КЗ, A^2c ;

C_T – коэффициент, значение которого принимается в зависимости от начальной и конечной температуры при КЗ, материала проводника и изоляции, $A \cdot c^{0.5}/mm^2$.

Значение коэффициента C_T можно принять для кабелей до 10кв с алюминиевыми жилами $90 A \cdot c^{0.5}/mm^2$; с медными - $140 A \cdot c^{0.5}/mm^2$.

Термическая стойкость проводника обеспечивается если:

$$F \geq F_T \quad (75)$$

Произведем проверку питающей воздушной линии 110кВ. Исходные данные для данного участка:

- проводники: АС 150/24 с $I_{don} = 450 A$;
- $I_p = 165 A$, $I_{pa} = 231 A$;
- $T_{max} = 6100$ ч.

Провод АС150/24 проходит проверку по нагреву током утяжеленного режима:

$$450A \geq 231A$$

Минимальное сечение по термической стойкости:

$$F_T = \frac{\sqrt{186 \cdot 10^6}}{90} = 149 \text{ мм}^2$$

Выбранный провод допускается к прокладке. Произведем выбор

сечения кабеля линии гвоздильного цеха Т-1. Исходные данные для данного участка:

- проводники: АПвП, трехжильный;
- $I_p = 91,6 \text{ А}$, $I_{pa} = 110 \text{ А}$;
- $T_{max} = 6100 \text{ ч}$.

Сечение проводника по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{91,6}{1,6} = 57 \text{ мм}^2.$$

Примем кабель АПвП (3×50) с $I_{дон} = 156 \text{ А}$.

Выбранный кабель проходит по нагреву током утяжеленного режима:

$$156 \text{ А} \geq 110 \text{ А}$$

Тепловой импульс тока КЗ:

$$B_k = 7,89^2 \cdot 0,2 = 15 \cdot 10^6 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Минимальное сечение по термической стойкости:

$$F_T = \frac{\sqrt{15 \cdot 10^6}}{90} = 43 \text{ мм}^2.$$

Выбранный кабель допускается к прокладке. Для остальных линий проверка производится аналогично. Выбор проводников произведен в таблице 18

Таблица 18 – Выбор кабельных линий 6кВ

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
Гвоздильный цех Т-1	91,6	110	57	44	АПвП	3×50	156
Гвоздильный цех Т-2	91,6	110	57	44	АПвП	3×50	156
Крепежно-калибровочный цех Т-1	91,6	110	57	44	АПвП	3×50	156
Крепежно-калибровочный цех Т-2	91,6	110	57	44	АПвП	3×50	156
Цех специализированных крепежных инструментов Т-1	146,6	176	91	44	АПвП	3×95	233
Цех специализированных крепежных инструментов Т-2	146,6	176	91	44	АПвП	3×95	233
Котельная Т-1	91,6	110	57	44	АПвП	3×50	156
Котельная Т-2	91,6	110	57	44	АПвП	3×50	156
Насосная станция Т-1	146,6	176	91	44	АПвП	3×95	233
Насосная станция Т-2	146,6	176	91	44	АПвП	3×95	233
Инструментальный цех Т-1	57,7	69,3	36	44	АПвП	3×50	156
Инструментальный цех Т-2	57,7	69,3	36	44	АПвП	3×50	156
Цех электроснабжения Т-1	36,7	44	23	44	АПвП	3×50	156
Цех электроснабжения Т-2	36,7	44	23	44	АПвП	3×50	156
Ремонтно-механический цех Т-1	36,7	44	23	44	АПвП	3×50	156
Ремонтно-механический цех Т-2	36,7	44	23	44	АПвП	3×50	156
Транспортный цех Т-1	36,7	44	23	44	АПвП	3×50	156
Административный корпус Т-1	36,7	44	23	44	АПвП	3×50	156
ТСН-1	9,2	11	6	44	АПвП	3×50	156
ТСН-2	9,2	11	6	44	АПвП	3×50	156

Условия выбора электрооборудования представлены в таблицах 19-21.

Таблица 19 – Условия выбора измерительных трансформаторов напряжения

Вид	Условия
Класс точности обмоток	не ниже 0,5
Номинальное напряжение	$U_n \geq U_p$
Номинальное напряжение вторичной цепи	$U_{2н} \geq U_{нр}$
Нагрузка во вторичной цепи	$S_{2н} \geq S_p$

Таблица 20 – Условия выбора высоковольтного коммутационного оборудования

Вид	Условия	Ячейки КСО, КРУ	Выключатель	Разъединитель	Заземлитель	Предохранитель
Номинальное напряжение	$U_n \geq U_p$	+	+	+	+	+
Номинальный ток	$I_n \geq I_p$	+	+	+	-	+
Динамическая стойкость	$i_{дин} \geq i_{уд}$	+	+	+	+	-
Термическая стойкость	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	+	+	+	+	-
Отключающая способность	$I_{отк} \geq I_n$	-	+	-	-	+

Таблица 21 – Условия выбора измерительных трансформаторов тока

Вид	Условия
Класс точности обмоток	не ниже требуемых
Номинальное напряжение	$U_n \geq U_p$
Номинальный ток в первичной цепи	$I_{1н} \geq I_p$
Номинальный ток вторичной цепи	$I_{2н} \geq I_{np}$
Динамическая стойкость	$i_{дин} \geq i_{уд}$
Термическая стойкость	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$
Нагрузка во вторичной цепи	$S_{2н} \geq S_p$

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% (п. 1.5.17 ПУЭ).

Расчетная нагрузка трансформатора тока определяется по выражению:

$$S_p = S_{np} + I_{2н}^2 \cdot (r_{конт} + r_{пров}), \quad (76)$$

где $r_{конт}$ – сопротивление контактных соединений, принимается 0,1 Ом;

$r_{\text{пров}}$ – сопротивление проводников от ТТ до приборов, Ом;

$S_{\text{пр}}$ – суммарная мощность подключенных приборов, ВА.

Сопротивление проводников от трансформатора тока до приборов:

$$r_{\text{пров}} = \rho \cdot l' / F, \quad (77)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, можно принять 0,0175

Ом·мм²/м;

l' – расстояние от трансформаторов тока до приборов, м;

F – сечение проводника, мм².

В таблице 22 приводятся приблизительные значения длины для разных присоединений.

Таблица 22 – Длины соединительных проводов

Типы присоединений	Длина в метрах
Все цепи ГРУ 6–10 кВ, кроме линий к потребителям	40–60
Линии 6–10 кВ к потребителям	4–6
Цепи генераторного напряжения блочных станций	20–40
Все цепи РУ 35 кВ	60–75
Все цепи РУ 110 кВ	75–100
Все цепи РУ 220 кВ	100–150
Все цепи РУ 330–500 кВ	150–175

Перечень используемых измерительных приборов приведен в таблице 23.

Таблица 23 – перечень измерительных приборов

Наименование прибор	Тип прибора	$S_{\text{пр}}$, ВА
Счетчик комплексный	СЕ302, СС-301	1,5
Вольтметр	ЦП8501/15	0,5
Амперметр	ЦП8501/14	1

Трансформаторы тока нулевой последовательности выбираются по номинальному напряжению, термической стойкости току КЗ во вторичной цепи.

В качестве коммутационного оборудования принимаем вакуумный выключатель OVB-VBF 40.5 и разъединитель NRB-52 фирмы ABB. Разъединитель NRB-52 комплектуется заземляющим ножом с двигательным приводом. Условия выбора выключателя и разъединителя представлены в таблицах 24 и 25 соответственно.

Таблица 24 – Выбор выключателя 35кВ

Тип и место установки оборудования	Условия	Параметры выключателя	Расчетные данные	Единицы измерения
OVB-VBF 40.5	$U_n \geq U_p$	40,5	35	кВ
	$I_n \geq I_p$	1600	231	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	63	37,8	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	1250	186	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{отк} \geq I_n$	25	14,9	кА

Таблица 25 – Выбор разъединителя 35кВ

Тип и место установки оборудования	Условия	Параметры разъединителя	Расчетные данные	Единицы измерения
NRB-52	$U_n \geq U_p$	52	35	кВ
	$I_n \geq I_p$	1250	231	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	31,5	37,8	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	1250	186	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

Произведем выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения. К трансформаторам тока будут подключены амперметры и счетчик комплексный, мощность которых составляет. Паспортные данные выбранных приборов указаны в таблице 6. Расчетная нагрузка

трансформаторов тока:

$$S_p = 1 + 1,5 + 5^2 \cdot (0,1 + 0,0175 \cdot 75 / 4) = 13,8 \text{ ВА.}$$

В качестве измерительного трансформатора тока примем трансформатор тока наружной установки типа ТРО 7 фирмы АВВ. Условия выбора измерительных трансформаторов представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Выбор трансформаторов тока

Тип и место установки оборудования	Условия	Параметры ТТ	Расчетные данные	Единицы измерения
ТРО 7	$U_n \geq U_p$	40,5	35	кВ
	$I_{1n} \geq I_p$	400	231	А
	$I_{2n} \geq I_{np}$	5	5	А
	$i_{дин} \geq i_{yd}$	100	37,8	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	10000	186	$\cdot 10^6, \text{А}^2 \cdot \text{с}$
	$S_{2n} \geq S_p$	30	13,8	ВА

В качестве измерительного трансформатора напряжения примем трансформатор наружной установки типа ТЮ 7 фирмы АВВ. К трансформаторам напряжения будут подключены вольтметры и счетчик комплексный. Паспортные данные выбранных приборов указаны в таблице 27.

Таблица 27 – Выбор трансформатора напряжения

Тип и место установки	Условия	Параметры ТН	Расчетные данные	Единицы измерения
ТЮ 7	Класс точности	0,2	0,2	-
	$U_n = U_p$	35	35	кВ
	$U_{2n} = U_{np}$	100	100	В
	$S_{2n} \geq S_p$	50	2	ВА

В качестве устройства защиты от перенапряжений примем ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН) POLIM-D-35 фирмы АВВ.

РУ-6кВ будет выполнено в виде комплектного распре устройства. В качестве КРУ принимаем ячейки типа UniGear ZS1-12кВ. Сравнение параметров представлено в таблице 28.

Таблица 28 – Выбор ячеек КРУ

Тип и место установки оборудования	Условия	Параметры КРУ	Расчетные данные	Единицы измерения
UniGear ZS1-12	$U_n \geq U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	2000	989	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	125	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$50^2 \cdot 3 = 7500$	27,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

В качестве коммутационного оборудования принимаем вакуумный выключатель VD4.12 фирмы АВВ. В РУ-6кВ разъединители не предусмотрены т.к. выключатели будут находится на выкатных тележках. Условия выбора выключателя представлены в таблицах 29

Таблица 29 – Выбор выключателя 6кВ

Тип и место установки	Условия	Параметры выключателя	Расчетные данные	Единицы измерения
VD4.12.20 (вводной, секционный)	$U_n \geq U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	2000	989	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	50	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$31,5^2 \cdot 3 = 2976$	27,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{отк} \geq I_n$	31,5	7,89	кА
VD4.12.6 (линейный)	$U_n \geq U_p$	12	6,3	кВ
	$I_n \geq I_p$	630	146,6	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	40	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$25^2 \cdot 3 = 1875$	15	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{отк} \geq I_n$	25	7,89	кА

Согласно схемам ячеек, заземляющий разъединитель необходим для всех шкафов КРУ. Для заземления шин РУ используется заземлитель в шкафу измерительного трансформатора напряжения, поэтому отдельный шкаф с заземляющим разъединителем не требуется. Во всех ячейках устанавливается заземлитель одного типа ЕК6 фирмы АВВ. Выбор заземляющих ножей представлен в таблице 30.

Таблица 30 – Выбор заземляющего устройства

Тип оборудования	Условия	Параметры ЗН	Расчетные данные	Единицы измерения
ЕК6	$U_n \geq U_p$	12	6,3	кВ
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	63	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$20^2 \cdot 1 = 400$	27,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

Произведем выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения. К трансформаторам тока будут подключены амперметры. Паспортные данные выбранных приборов указаны в таблице 6. Расчетная нагрузка трансформаторов тока:

$$S_p = 1 + 5^2 \cdot (0,1 + 0,0175 \cdot 5 / 2,5) = 4,4 \text{ ВА.}$$

В качестве измерительного трансформатора тока примем трансформатор типа ТРУ 45.13. Условия выбора трансформаторов тока представлены в таблице 31.

Таблица 31 – Выбор трансформаторов тока

Тип и место установки выключателя	Условия	Параметры ТТ	Расчетные данные	Единицы измерения
ТПУ 45.13	$U_n \geq U_p$	12	6,3	кВ
	$I_{1н} \geq I_p$	15-2000	11-989	А
	$I_{2н} \geq I_{нр}$	5	5	А
ТПУ 45.13	$i_{дин} \geq i_{y\partial}$	50	20	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$20^2 \cdot 1 = 400$	27,4	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$S_{2н} \geq S_p$	10	4,4	ВА

В качестве измерительного трансформатора напряжения примем трансформатор типа ТПР 4.2. К трансформаторам напряжения будут подключены вольтметры и счетчик комплексный. Паспортные данные выбранных приборов указаны в таблице 32.

Таблица 32 – Выбор трансформатора напряжения

Тип и место установки оборудования	Условия	Параметры ТН	Расчетные данные	Единицы измерения
ТПР 4.2	Класс точности	0,2	0,2	-
	$U_n = U_p$	6,3	6,3	кВ
	$U_{2н} = U_{нр}$	100	100	В
	$S_{2н} \geq S_p$	30	0,5	ВА

Для защиты от однофазных замыканий на землю, действующей на сигнализацию или отключение, на кабельных линиях электропередачи устанавливаются трансформаторы тока нулевой последовательности типа КОЛМА 06D1, 10P10.

В качестве устройства защиты от перенапряжений примем ограничитель перенапряжений нелинейный (ОПН) MVD-7 фирмы АВВ.

Выбранное электрооборудование является актуальным и соответствует всем техническим параметрам и нормам.

6 Релейная защита и автоматика

Защиты трансформаторов, линий, вводов питания, секционных выключателей и отходящих фидеров секций выполнены на базе цифровых комплексов защит. Выбор используемых защит и их уставок производился из условий защиты присоединения от возможных повреждений, обеспечения сохранения селективности и чувствительности работы защит.

Защиты вводов питания секций подстанции будут выполнены на базе цифрового комплекса защит REF-545.

В REF-545 должны быть задействованы следующие защиты:

- максимальная токовая защита ввода питания (NOC3High) – защита от междуфазных коротких замыканий на секции и резервирование защит отходящих фидеров при их отказе или отказе выключателей данных фидеров. Защита отстроена от самозапуска секции при АВР и чувствительна к минимальному двухфазному току КЗ в конце защищаемого участка.

В данной защите задействованы две группы уставок с различным временем срабатывания. При отсутствии сигнала о старте МТЗ отходящих фидеров данной секции или секционного выключателя активна группа уставок 1, при наличии сигнала о старте МТЗ отходящих фидеров данной секции или секционного выключателя активной становится группа уставок 2;

- защита от понижения напряжения (UV3High) – отключение рабочего ввода при исчезновении или снижении напряжения на секции для включения резервного источника питания при наличии готовности АВР секции. При запуске МТЗ данного ввода защита блокируется, защита также блокируется на 2с при включении данного выключателя;
- защита от понижения частоты (Freq1St1) - отключение рабочего ввода при понижении частоты ниже уставки для включения

резервного источника питания при наличии готовности АВР секции;

Защиты секционного выключателя выполнены на базе цифрового комплекса защит REF-541.

В REF-541 должны быть задействованы следующие защиты:

- максимальная токовая защита (NOC3High) – защита от междуфазных коротких замыканий на секции и резервирование защит отходящих фидеров при их отказе или отказе выключателей данных фидеров. Защита отстроена от самозапуска секции при АВР и чувствительна к минимальному двухфазному току КЗ в конце защищаемого участка.

Данная защита имеет ускорение работы МТЗ при ручном включении выключателя.

Защиты трансформаторов 6/0,4 кВ выполнены на базе цифрового комплекса защит REF-541.

В REF-541 задействованы следующие защиты:

- токовая отсечка (NOC3Inst) – защита от междуфазных коротких замыканий на кабеле питания или в обмотке трансформатора 6/0,4 кВ. Защита отстроена коротких замыканий на стороне 0,4 кВ трансформатора 6/0,4 кВ;
- максимальная токовая защита (NOC3High) – защита от междуфазных коротких замыканий на стороне 0,4 кВ трансформатора 6/0,4 кВ. Защита отстроена по времени от токовых защит отходящих фидеров секций 0,4 кВ;
- защита от однофазных замыканий на землю (NEF1High) – сигнализация о наличии однофазного замыкания на землю;
- направленная защита от однофазных замыканий на землю (DEF2High) – сигнализация о наличии однофазного замыкания на землю на данном присоединении.

Заключение

Спроектированная ГПП Речицкого метизного завода имеет следующую структуру. Подстанция получает питание от энергосистемы по воздушной линии электропередач длиной 1,2 км напряжением 35кВ. В качестве пункта приёма служит РУ-35кВ с силовыми трансформаторами ТД-10000/35/6,6. В качестве распределительного устройства среднего напряжения используется КРУ-6кВ со шкафами типа ZS1 фирмы АВВ. Вся электроэнергия распределяется по трансформаторам 6,3/0,4кВ.

В результате проделанной работы были определены следующие параметры электроснабжения. Расчётные нагрузки потребителей собственных нужд определены по методу коэффициента использования. Питание потребителей завода осуществляется кабельными линиями, проложенными на эстакадах. Для выбора элементов схемы электроснабжения был проведён расчёт токов короткого замыкания. На основании этих данных были выбраны аппараты на сторонах 35-6кВ, а также проведена проверка КЛЭП на термическую стойкость.

В проекте производился расчёт внутреннего электроосвещения подстанции РУ-6кВ. Для освещения помещения подстанции применены светильники с энергосберегающими светодиодными лампами типа ДПП.

В качестве реле защит были использованы микропроцессорные терминалы защиты и управления серии REF541, REF545.

Спроектированная схема электроснабжения предприятия удовлетворяет ряду требований: высокая надёжность и экономичность, безопасность и удобство в эксплуатации, обеспечено требуемое качество электроэнергии, соответствующие уровни напряжения.

Проектирование производилось на основе действующих технических норм и методик расчета с использованием актуального электрооборудования, что делает данный проект расчета электрической части подстанции завода современным и актуальным.

Список используемых источников

1. Барыбин Ю.Г., Федорова Л.Е. - Справочник по проектированию электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 1990
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. Елкин В.Д. Электрическое освещение: учебно-методическое пособие. Гомель: ГГТУ, 2020. – 101 с.
6. Зоммер В. AutoCAD 2008 Руководство чертежника, конструктора, архитектора. М.: Издательство БИНОМ, 2008.
7. Каталог продукции ДПП 22 «Prima» URL: <https://www.belintegra.by/catalog/svetodiodnaya-produkciya/dpp-22-prima/>
8. Каталог. Решение АВВ для распределительных сетей
9. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацкевич В.Н. - Электрическое освещение: учебник. – Минск: Техноперспектива, 2011 – 543 с.
10. Коновалова Л.Л. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник для средних специальных учебных заведений. – М: Энергоатомиздат, 1989г. – 528с.
11. Липкин Б.Ю. - Электроснабжение промышленных предприятий и установок – М.: Высш. школа, 1990.
12. Правило устройство электроустановок – 7 издание, перераб. И.доп. – М.; Энергоатомиздат, 2003.

13. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. – Выбор электрооборудования систем электроснабжения промышленных предприятий: пособие для студентов специальности «Электроснабжение» - Минск, БНТУ, 2017.
14. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. – Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие. Минск, БНТУ, 2013.
15. Радкевич В.Н. – Проектирование систем электроснабжения. Минск НПО «Пион», 2001.
16. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
17. РТМ 36.18.32.4-92 «Указания к расчету электрических нагрузок», 1993
18. Сумаркова Л.П. – Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Томск: издательство Томского политехнического университета, 2012.
19. Ус А. Г., Евминов Л. И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. – Минск, НПО «ПИОН», 2002.
20. Шеховцов В.П - Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – 2-е изд. ФОРУМ, 2011г.