

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 Электроснабжение группы цехов промышленного предприятия

Обучающийся

Ф.А. Шаронин

(И. О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Объектом разработки является промышленное предприятие по производству серной кислоты.

Цель проекта: проектирование системы электроснабжения группы цехов промышленного предприятия.

В процессе проектирования выполнены следующие разработки:

- светотехнический расчет производственного цеха;
- расчет системы электроснабжения производственного цеха;
- расчет системы электроснабжения предприятия;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор высоковольтного электрооборудования;
- расчет системы заземления и молниезащиты.

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 производственного цеха завода.....	5
2 Расчет системы электроснабжения производственного цеха.....	32
2.1 Определение расчетной электрических нагрузок.....	32
2.2 Расчет распределительной сети цеха.....	38
3 Расчет системы электроснабжения предприятия.....	45
3.1 Определение расчетных нагрузок.....	45
3.2 Расчет распределительной сети завода.....	52
4 Расчет токов короткого замыкания.....	58
5 Выбор высоковольтного электрооборудования.....	65
6 Расчет системы заземления и молниезащиты.....	71
Заключение.....	77
Список используемой литературы.....	78

Введение

Целью данного дипломного проекта является проектирование системы электроснабжения группы цехов промышленного предприятия.

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-10кВ.

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

Электроснабжение завода осуществляется от энергосистемы напряжением 10кВ с мощностью 3-ех фазного КЗ $S_{кз}=1500$ МВА. Ударный коэффициент принимается равным $K_{уд}= 1,6$.

Питающая линия выполнена кабелем АПвП длиной участка 2,5 км.

Распределительная сеть предприятия выполнена кабелем АПвП, проложенным в воздухе на эстакадах при нормальных условиях.

Предприятие работает в 3 смены с временем использования максимальной нагрузки $T_{max}= 5100$ ч.

РУ-10кВ 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. Вся аппаратура защиты и управления размещена в шкафах КРУ и является устойчивой к термическим и динамическим действиям токов КЗ.

1 Светотехнический расчет производственного цеха завода

1.1 Выбор источников света

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

Для освещения основного помещения цеха применены светильники с энергосберегающими светодиодными лампами типа ДСП [8], для вспомогательных помещений - люминесцентные лампы со светильником типа ЛПП 22.

Параметры помещений цеха приведены в таблице 1

Таблица 1 – Параметры помещений

Номер по плану	Наименование помещений	Высота, H , м	Длина A , м	Ширина B , м	Площадь F , m^2	Нормированная освещенность E_n , лк	Коэффициент запаса K_3	Коэффициенты отражения, %
1	Производственный цех	6	54	12	972	300	1,6	50/50/30
2	Склад	3	10	4,5	45	75	1,4	50/30/10
3	Коридор	3	-	-	57	75	1,4	50/30/10
4	Комната мастера	3	4,6	4,6	21,2	300	1,4	50/30/10
5	Операторная	3	10	4,6	46	300	1,4	50/30/10
6	Венткамера	3	2,7	4,6	12,4	75	1,4	50/30/10

1.2 Светотехнический расчет рабочего освещения

Светотехнический расчет производится согласно учебно-методических рекомендаций [5]. Требования по размещению светильников на рисунке 1.

Параметры размещения светильников:

H – высота помещения;

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

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

H_p – высота подвеса светильника над освещаемой поверхностью.

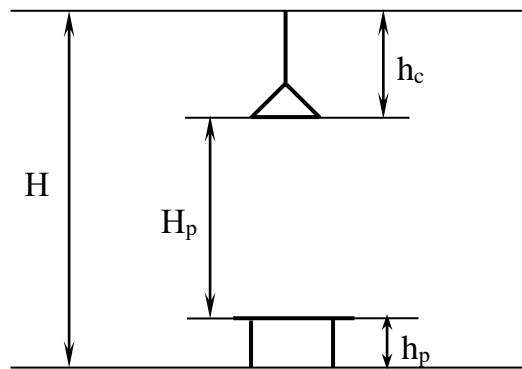


Рисунок 1 - Размещение светильника по высоте помещения

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:

$$H_{p(осн)} = 6 - (0,2 + 0,8) = 5 \text{ м}$$

$$H_{p(всп)} = 3 - (0 + 0,8) = 2,2 \text{ м}$$

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:

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

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 основного помещения.

Расстояние между соседними светильниками:

$$L = 1,4 \cdot 5 = 7 \text{ м.}$$

Расстояние от стены до светильников:

$$l = (0,2 \dots 0,4) \cdot 7 = 2,25 \text{ м.}$$

Число рядов светильников:

$$R = \frac{18 - 2 \cdot 2,25}{7} + 1 \approx 4.$$

Фактическое расстояние между рядами светильников:

$$L_B = \frac{18 - 2 \cdot 2,15}{4 - 1} = 4,5 \text{ м.}$$

Результаты расчетов по выражениям (2) – (6) занесем в таблицу 2

Таблица 2 – Результаты расчетов расположения светильников

Наименование помещений	h_c , м	h_p , м	H_p , м	L , м	l , м	R	L_B , м
Производственный цех	0,2	0,8	5	7	2,25	4	4,5
Склад	0	0,8	2,2	-	-	-	-
Коридор	0	0,8	2,2	-	-	-	-
Комната мастера	0	0,8	2,2	-	-	-	-
Операторная	0	0,8	2,2	-	-	-	-
Венткамера	0	0,8	2,2	-	-	-	-

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:

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

где Φ_l – световой поток лампы, лм.

Произведем светотехнический расчет для основного помещения.

Индекс помещения цеха:

$$i = \frac{54 \cdot 18}{5 \cdot (54 + 18)} = 2,7$$

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

Необходимый световой поток одного ряда:

$$\Phi_R = \frac{300 \cdot 1,6 \cdot 972 \cdot 1,05}{4 \cdot 0,83} = 147600 \text{ лм.}$$

Необходимое количество светильников ДСП 04-90-50-Д120 для данного цеха:

$$N_R = \frac{147600}{12600} \approx 12.$$

Расстояние между осями светильников ряда:

$$L_A = \frac{18 - 2 \cdot 2,25}{4 - 1} = 4,5 \text{ м.}$$

Результаты расчетов расположения светильников приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов расположения светильников

Наименование помещений	i	η	R	Φ_R , лм	N_R , шт	L_A , м	L_B , м
Производственный цех	2,7	0,83	4	12600	12	4,5	4,5

Расчет освещенности для вспомогательных помещений будем производить по методу удельной мощности.

Удельная мощность осветительной установки определяется по формуле:

$$p_y = \frac{P_l \cdot N}{F}, \quad (10)$$

где P_l – мощность одной лампы;

N – число ламп;

F – площадь освещаемого помещения.

Приняв значение удельной мощности в соответствии с заданными условиями, можно определить расчетное значение требуемой мощности одной лампы, по которому выбирается лампа ближайшей стандартной мощности:

$$P_{pl} = \frac{p_y \cdot F}{N}. \quad (11)$$

Произведем расчет освещенности для склада.

Предполагается использовать светильники типа ЛПП 22-36 (КСС типа Д, КПД=92%) Площадь помещения составляет $F = 45 \text{ м}^2$. По таблице 6.8 [9] определяется табличное значение удельной мощности освещения $p_{ym} = 4,2 \text{ Вт/м}^2$. Но так как в таблице это значение соответствует $E_n = 100 \text{ лк}$, $K_3 = 1,5$ и КПД = 100%, пропорциональным пересчетом определяется это значение:

$$P_y = \frac{4,2 \cdot 1,4 \cdot 75}{1,5 \cdot 0,92 \cdot 100} = 3,2 \text{ Вт/м}^2.$$

Число светильников:

$$N = \frac{P_y \cdot F}{P_n} = \frac{3,2 \cdot 45}{36} = 4.$$

Для освещения помещения примем 1 ряд с 4 светильниками. Проверим, поместятся ли светильники по длине помещения. Общая длина ряда светильников составляет $4 \times 1270 \text{ мм} = 5080 \text{ мм}$, что меньше длины помещения. Следовательно, принимаем для освещения помещения 1 ряд с 4 светильниками. Для остальных помещений расчет производится аналогично. Результаты расчетов занесем в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчета освещения для вспомогательных помещений

Наименование помещений	H_p , м	E , лк	P_y , Вт/м ²	F , м ²	Тип светиль-ника	Общее кол-во светиль-ников	Кол-во рядов
Склад	2,2	75	3,2	45	ЛПП 22-36	4	1
Коридор	2,2	75	2,66	57	ЛПП 22-36	5	1
Комната мастера	2,2	300	16	21,1	ЛПП 22-2×36	6	3
Операторная	2,2	300	14	46	ЛПП 22-2×36	10	2
Венткамера	2,2	75	4,6	12,4	ЛПП 22-36	2	1

Характеристика выбранных к установке светильников приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики светильников

Наименование помещений	Тип светильника	P, Вт	Тип КСС	КПД	Размеры	
					Длина, мм	Ширина, мм
Производственный цех	ДСП 04-90-50-Д120	90	Д	0,95	-	-
Склад	ЛПП 22-36-7	36	Д	0,92	1270	95
Коридор	ЛПП 22-36-7	36	Д	0,92	1270	95
Комната мастера	ЛПП 22-2×36-7	2х36	Д	0,84	1270	145
Операторная	ЛПП 22-2×36-7	2х36	Д	0,84	1270	145
Венткамера	ЛПП 22-36-7	36	Д	0,92	1270	95

1.3 Светотехнический расчет аварийного освещения

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.

Расчетная высота подвеса светильников аварийного освещения:

$$H_p = 6 - (0,2 + 0) = 5,8 \text{ м}$$

Угол между направлением к расчетной точке осью симметрии светильника:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{d}{H_p}\right), \quad (12)$$

где d – расстояние от расчетной точки до проекции оси симметрии

светильника на плоскость, ей перпендикулярного и проходящую через расчетную точку (рисунок 3).

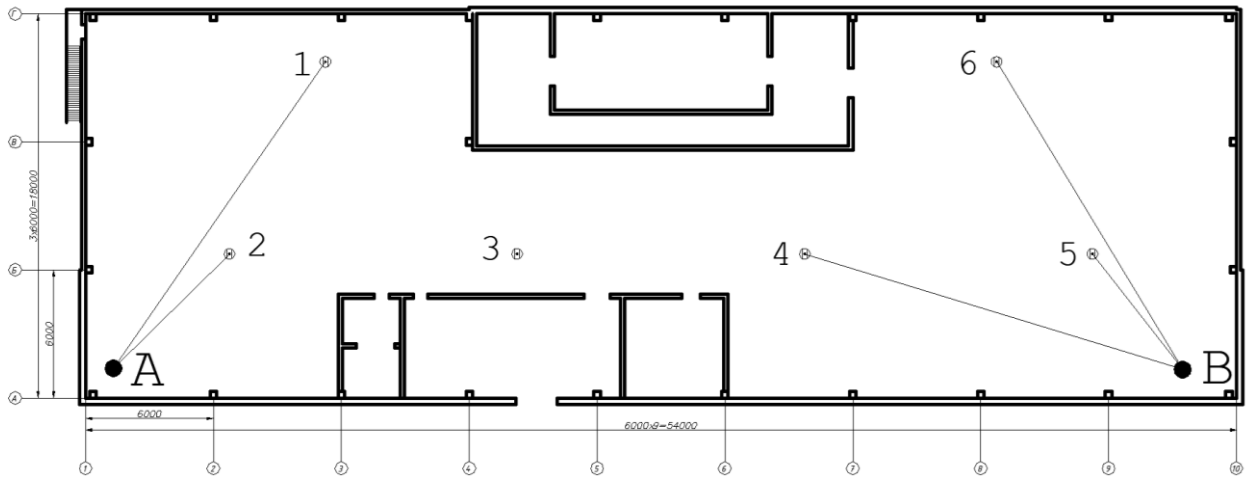


Рисунок 2 – План помещения с расположением светильников и контрольных точек

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

$$E_{(1000)} = \frac{I_{\alpha} \cos^3 \alpha}{H_p^2}. \quad (13)$$

Искомая освещенность от светильника со световым потоком Φ_l :

$$E = \frac{E_{(1000)} \cdot \Phi_l \cdot \mu}{1000 \cdot K_3}, \quad (12)$$

где K_3 – коэффициент запаса;

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

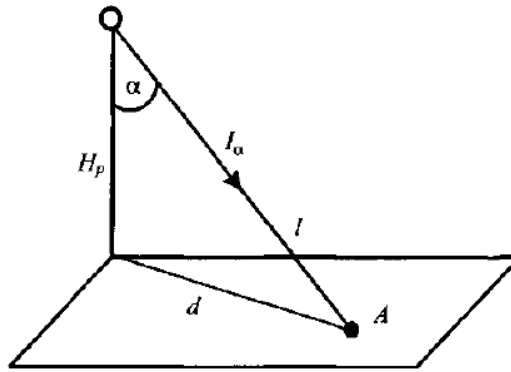


Рисунок 3 - Пояснение к расчету освещенности от точечного источника света

Для аварийного освещения минимальная освещенность составляет 0,5 лк.

Примем 2 контрольные точки, в которых освещённость будет минимальной. Расстояние d от каждого светильника до контрольных точек А и В определим графически по масштабу.

Угол между направлением к расчетной точке А и светильником 1:

$$\alpha = \operatorname{arctg}\left(\frac{18}{5,8}\right) = 72^{\circ}.$$

Для КСС типа Д по табл. 6.12 [9] при $\alpha = 72^{\circ}$ сила света $I_{a(1000)} = 131$ кд.

Значение освещенности при значении светового потока 1000 лк для точки 1:

$$E_{(1000)} = \frac{131 \cdot 0,3^3}{5,8^2} = 0,112 \text{ лк}$$

Для светильника ДСП-04-90 световой поток равен $\Phi_l = 12600$ лм

Освещенность в точке А от источника 1 при использовании светильника ДСП-04-90:

$$E = \frac{0,112 \cdot 12600 \cdot 1,1}{1000 \cdot 1,6} = 0,973 \text{ лк.}$$

Освещенность в точках А и В от остальных светильников рассчитывается аналогично. Результаты расчетов сведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчета аварийного освещения

№ светильника	d , м	α , град	I_{α} , кд	$E_{(1000)}$, лк	E , лк
1	18	72	131	0,112	0,973
2	8	54	172	1,03	8,9
4	19	73	130	0,096	0,83
5	7	50	180	1,39	12
6	17	71	132	0,132	1,14

Суммарная освещенность в контрольных точках А и В соответственно:

$$\Sigma E_{(A)} = E_{d1} + E_{d2} = 0,973 + 8,9 = 9,873 \text{ лк;}$$

$$\Sigma E_{(B)} = E_{d4} + E_{d5} + E_{d6} = 0,83 + 12 + 1,14 = 13,97 \text{ лк.}$$

Суммарная освещенность выше нормированного значения, таким образом данная схема расположения подходит к установке.

1.4 Электрический расчет осветительной сети

Ряды светильников рабочего освещения цеха будут запитаны от ЩО трехфазными пятипроводными линиями на тресе, вспомогательные помещения – однофазными трехпроводными линиями, проложенными в коробах. Светильника аварийного освещения будут запитаны от ЩАО однофазными линиями на тресе. ЩО будут запитаны от РП-0,4кВ отдельными трехфазными пятипроводными линиями. При этом необходимо

групповые линии и светильники по фазам распределить наиболее равномерно. ЩАО будет запитан от отдельного источника, расположенного в соседнем цеху.

Схема питания осветительных установок приведена на рисунке 4.

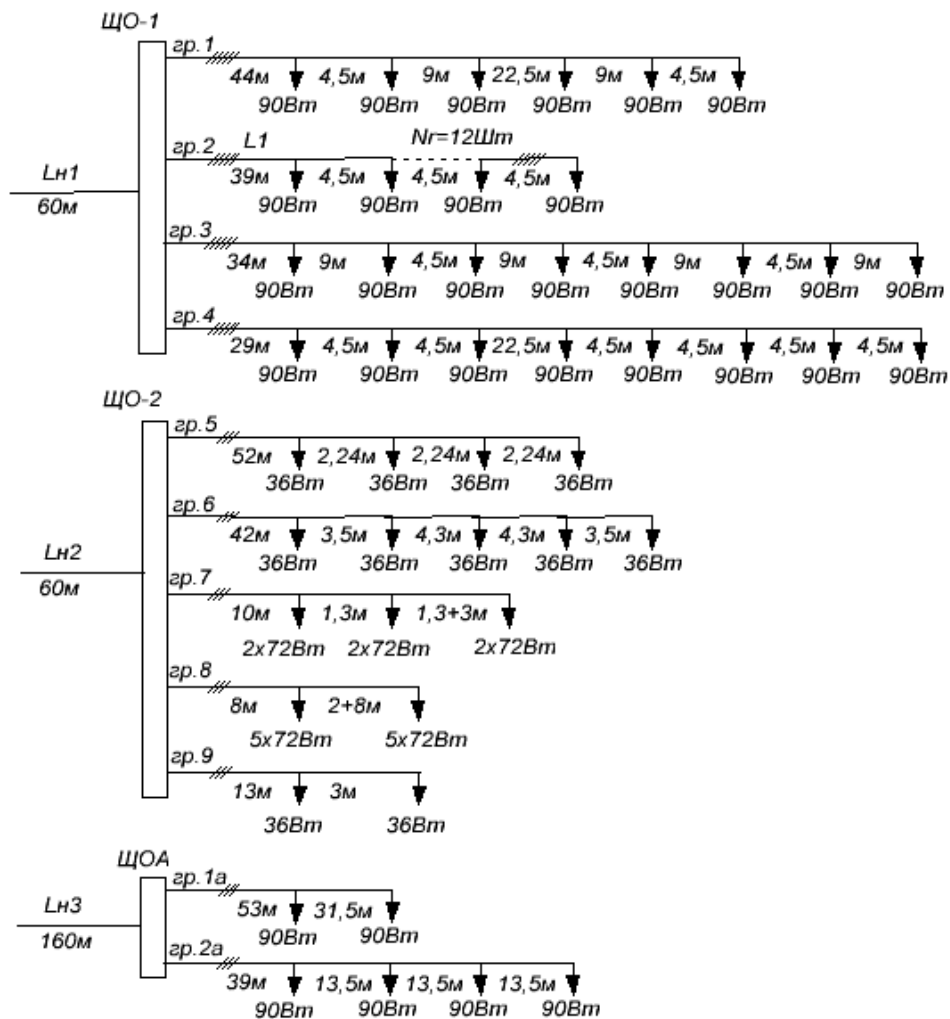


Рисунок 4 - Схема питания осветительных установок

Прокладка распределительной сети щитков освещения выполнена в пластиковых коробах по внутреннему периметру подстанции. Для установки светильников основного помещения 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 типа ЩО8505. В качестве проводника используется кабель марки ВВГ

Определим расчётные токи групповых линий.

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

$$I_{ном.а} \geq I_p, \quad (13)$$

$$I_{ном.р} \geq I_p, \quad (14)$$

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 – для светодиодных ламп, 1,2 -

для люминесцентных ламп (ЛЛ) со стартерной схемой 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 для расчета групповых линий приведены в таблице

7.

Таблица 7 – Расчетные данные групповых линий

Групповая линия	K_{co}	$K_{пра}$	$P_{л}$, Вт	N_R	$n_{св}$	$\cos\varphi$	Число фаз на групповую линию
Производственный цех, гр. 1	1	1	90	6	1	0,95	3
Производственный цех, гр. 2	1	1	90	12	1	0,95	3
Производственный цех, гр. 3	1	1	90	8	1	0,95	3
Производственный цех, гр. 4	1	1	90	8	1	0,95	3
Склад, гр. 5	1	1,2	36	4	1	0,92	1
Коридор, гр. 6	1	1,2	36	5	1	0,92	1
Комната мастера, гр. 7	1	1,2	36	6	2	0,92	1
Операторная, гр. 8	1	1,2	36	10	2	0,92	1
Венткамера, гр. 9	1	1,2	36	2	1	0,92	1
Аварийное освещение, гр. 1а	1	1	90	2	1	0,95	1
Аварийное освещение, гр. 2а	1	1	90	4	1	0,95	1

Проведем расчет для ряда гр.1 сборочного цеха.

Расчетная мощность ряда:

$$P_{p0} = 1 \cdot 1 \cdot 90 \cdot 6 \cdot 1 = 540 \text{ Вт.}$$

Расчетный ток ряда:

$$I_p = \frac{540}{3 \cdot 220 \cdot 0,95} = 0,86 \text{ А.}$$

На групповых линиях будем использовать однополюсные автоматы. Поэтому для каждой фазы данного ряда примем к установке автомат типа ВА61F29 с номинальным током расцепителя 1,0 А.

По трехфазной линии гр.3 питаются 8 светильников, что не позволяет равномерно распределить их по фазам. К фазам А и В подключаются по 3 светильника, к вазе С – два. Расчетная нагрузка наиболее загружено фазы А:

$$P_{p(гр3A)} = 1 \cdot 1 \cdot 90 \cdot 3 \cdot 1 = 270 \text{ Вт.}$$

В этом случае расчетная нагрузка групповой линии гр.3:

$$P_{p(гр3)} = 3 \cdot P_{p(гр3A)} = 3 \cdot 270 = 810 \text{ Вт.}$$

Аналогично проводится расчет для остальных рядов и помещений. Результаты расчетов сведены в таблице 8. По результатам расчета выбирается тип защитного автоматов в групповых осветительных щитках.

Суммарная мощность питающей линии щитка рабочего освещения ЩО-1:

$$P_{ЩО-1} = 540 + 1080 + 810 + 810 = 3240 \text{ Вт.}$$

Расчетный ток линии щитка рабочего освещения ЩО-1:

$$I_{ЩО-1} = \frac{3240}{3 \cdot 220 \cdot 0,95} = 5,16 \text{ А.}$$

Групповые линии гр.5 - гр.8, имеющие однофазное питание и включенные на фазное напряжение, необходимо распределить наиболее равномерно:

$$P_A = P_{гр.5} + P_{гр.6} + P_{гр.9} = 173 + 216 + 86 = 475 \text{ Вт;}$$

$$P_B = P_{гр.7} = 518 \text{ Вт;}$$

$$P_C = P_{гр.8} = 864 \text{ Вт.}$$

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

$$P_{\text{ЩО-2}} = 3 \cdot P_C = 3 \cdot 864 = 2592 \text{ Вт.}$$

Ток нагрузки ЩО-2:

$$I_{\text{ЩО-2}} = \frac{2592}{3 \cdot 220 \cdot 0,92} = 4,3 \text{ А.}$$

Для питающей линии аварийного освещения расчет производится аналогично. Результаты расчетов и выбора автоматов сведены в таблице 8.

Таблица 8 – 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
Производственный цех, гр. 1	540	0,86	3×ВА-61-F-29	63	1,0
Производственный цех, гр. 2	1080	1,72	3×ВА-61-F-29	63	2,0
Производственный цех, гр. 3	810	1,29	3×ВА-61-F-29	63	1,6
Производственный цех, гр. 4	810	1,29	3×ВА-61-F-29	63	1,6
Склад, гр. 5	173	0,85	1×ВА-61-F-29	63	1,0
Коридор, гр. 6	216	1,07	1×ВА-61-F-29	63	1,6
Комната мастера, гр. 7	518	2,56	1×ВА-61-F-29	63	3,2
Операторная, гр. 8	864	4,27	1×ВА-61-F-29	63	5,0
Венткамера, гр. 9	86	0,43	1×ВА-61-F-29	63	0,5
Аварийное освещение, гр. 1а	180	0,86	1×ВА-61-F-29	63	1,0
Аварийное освещение, гр. 2а	360	1,72	1×ВА-61-F-29	63	2,0
ЩО-1	3240	5,16	ВА-61-F-29	63	6,3
ЩО-2	2592	4,3	ВА-61-F-29	63	5
ЩАО	540	2,6	ВА-61-F-29	63	3,2

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:

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

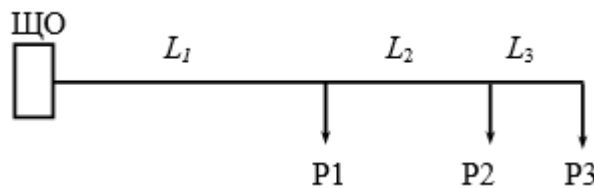


Рисунок 5 - Схема групповой осветительной линии

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].

Определим собственные моменты нагрузок соответствующих линий по формуле 21:

линия н1:

$$M_{н1} = 3240 \cdot 60 = 194400 \text{ Вт/м};$$

линия н2:

$$M_{н2} = 2592 \cdot 60 = 155520 \text{ Вт/м};$$

линия н3:

$$M_{н3} = 540 \cdot 160 = 86400 \text{ Вт/м};$$

линия гр.1:

$$M_{гр.1} = (90 \cdot 6 \cdot 44) + (90 \cdot 5 \cdot 4,5) + (90 \cdot 4 \cdot 9) + (90 \cdot 3 \cdot 22,5) + (90 \cdot 2 \cdot 9) + (90 \cdot 1 \cdot 4,5) = 37125 \text{ Вт/м};$$

линия гр.2:

$$M_{гр.2} = 1080 \cdot \left(39 + \frac{4,5 \cdot (12 - 1)}{2} \right) = 68850 \text{ Вт/м};$$

линия гр.3:

$$M_{зр.3} = (90 \cdot 8 \cdot 34) + (90 \cdot 7 \cdot 9) + (90 \cdot 6 \cdot 4,5) + (90 \cdot 5 \cdot 9) + (90 \cdot 4 \cdot 4,5) + \\ + (90 \cdot 3 \cdot 9) + (90 \cdot 2 \cdot 4,5) + (90 \cdot 1 \cdot 9) = 42300 \text{ Вт/м};$$

линия гр.4:

$$M_{зр.4} = (90 \cdot 8 \cdot 29) + (90 \cdot 7 \cdot 4,5) + (90 \cdot 6 \cdot 4,5) + (90 \cdot 5 \cdot 22,5) + (90 \cdot 4 \cdot 4,5) + \\ + (90 \cdot 3 \cdot 4,5) + (90 \cdot 2 \cdot 4,5) + (90 \cdot 1 \cdot 4,5) = 32220 \text{ Вт/м};$$

линия гр.5:

$$M_{зр.5} = 173 \cdot \left(52 + \frac{2,24 \cdot (4-1)}{2} \right) = 9577 \text{ Вт/м};$$

линия гр.6:

$$M_{зр.6} = (36 \cdot 5 \cdot 42) + (36 \cdot 4 \cdot 3,5) + (36 \cdot 3 \cdot 4,3) + (36 \cdot 2 \cdot 4,3) + (36 \cdot 1 \cdot 3,5) = \\ = 8964 \text{ Вт/м};$$

линия гр.7:

$$M_{зр.7} = (72 \cdot 6 \cdot 10) + (72 \cdot 4 \cdot 1,3) + (72 \cdot 2 \cdot 4,3) = 5314 \text{ Вт/м};$$

линия гр.8:

$$M_{зр.8} = (72 \cdot 10 \cdot 8) + (72 \cdot 5 \cdot 10) = 9360 \text{ Вт/м};$$

линия гр.9:

$$M_{зр.9} = (36 \cdot 2 \cdot 13) + (36 \cdot 1 \cdot 3) = 1044 \text{ Вт/м};$$

линия гр.1а:

$$M_{гр.2а} = (90 \cdot 2 \cdot 53) + (90 \cdot 1 \cdot 31,5) = 12375 \text{ Вт/м};$$

линия гр.2а:

$$M_{гр.1а} = 360 \cdot \left(39 + \frac{13,5 \cdot (4-1)}{2} \right) = 21330 \text{ Вт/м};$$

Приведенный момент нагрузки для питающей линии состоит из суммы моментов групповых линий, питающихся от данной линии, а также собственного момента. Моменты нагрузок для питающих линий:

линия н1:

$$M_{н1(нр)} = M_{гр.1} + M_{гр.2} + M_{гр.3} + M_{гр.4} + M_{н1} = 37125 + 68850 + 42300 + 32220 + 194400 = 374895 \text{ Вт/м}.$$

линия н2:

$$M_{н2(нр)} = \alpha \cdot (M_{гр.5} + M_{гр.6} + M_{гр.7} + M_{гр.8} + M_{гр.9}) + M_{н2} = 1,85 \cdot (9577 + 8964 + 5314 + 9360 + 1044) + 155520 = 218899 \text{ Вт/м}.$$

линия н3:

$$M_{н2(нр)} = M_{гр.1а} + M_{гр.2а} + M_{н3} = 12375 + 21330 + 86400 = 120105 \text{ Вт/м}.$$

Длительно допустимые токи проводников сети освещения определяются из условия:

$$I_{\text{доп}} \geq I_p / K_n \quad (25)$$

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

I_p – расчетное значение тока нагрузки, А;

K_n – поправочный коэффициент на условия прокладки [20, таблица 8.4].

Механическая прочность обеспечивается применением проводов и кабелей, алюминиевые жилы которых должны быть не менее 2,5 мм² в сечении, а медные – не менее 1,5 мм².

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, %.

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, таблица 8.14].

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:

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

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

Потерю напряжения в трансформаторе примем равную 3%, таким образом допустимую потерю напряжения составляет:

$$\Delta U_{\text{доп}} = 10 - 3 = 7\%.$$

Требуемое сечение проводника для питающей линии ЩО-1 по условию допустимой потере напряжения:

$$F = \frac{374,8}{72 \cdot 7} = 0,74 \text{ мм}^2.$$

По таблице ПЗ.4 [13] выбираем ближайшее большее сечение ВВГ – 1,5 мм² с длительно допустимым током $I_{\text{доп}}=19$ А.

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

$$19 \geq 6,3$$

Таким образом к прокладке примем кабель марки ВВГнг 5х1,5.

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

$$\Delta U_{\phi} = \frac{194,4}{72 \cdot 1,5} = 1,8 \% ; .$$

$$\Delta U_{\text{дон}} = 7 - 1,8 = 5,2 \% .$$

Аналогично производится выбор сечений и для всех оставшихся линий. Результаты сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Выбор сечений проводов

Групповая линия	Выбор по допустимому падению напряжения					Выбор по номинальному току аппарата защиты		Принятое сечение		
	$M_{пр},$ кВт·м	$M, \text{ кВт} \cdot \text{м}$	c	$U_{\text{дон}}, \%$	F (ΔU), мм ²	$I_{HP}, \text{ А}$	F (I_{HP}), мм ²	$F, \text{ мм}^2$	$U_{\text{дон}}, \%$	$\Delta U_{\phi}, \%$
ЩО-1, н1	374,8	194,4	72	7	0,74	6,3	1,5	1,5	19	1,8
ЩО-2, н2	218,8	155,5	72	7	0,43	5	1,5	1,5	19	1,44
ЩОа, н3	102	86,4	72	7	0,2	3,2	1,5	1,5	19	0,8
Производ. цех, гр. 1	-	37,1	72	5,2	0,1	1,0	1,5	1,5	19	0,34
Производ. цех, гр. 2	-	68,8	72	5,2	0,18	2,0	1,5	1,5	19	0,64
Производ. цех, гр. 3	-	42,3	72	5,2	0,11	1,6	1,5	1,5	19	0,39
Производ. цех, гр. 4	-	32,2	72	5,2	0,09	1,6	1,5	1,5	19	0,3
Склад, гр. 5	-	9,5	12	5,56	0,14	1,0	1,5	1,5	19	0,53
Коридор, гр. 6	-	8,9	12	5,56	0,13	1,6	1,5	1,5	19	0,49
Комната мастера, гр. 7	-	5,3	12	5,56	0,08	3,2	1,5	1,5	19	0,29
Операторная, гр. 8	-	9,3	12	5,56	0,14	5,0	1,5	1,5	19	0,52
Венткамера, гр. 9	-	1,0	12	5,56	0,01	0,5	1,5	1,5	19	0,06
Авар. осв., гр. 1а	-	12,3	12	6,2	0,15	1,0	1,5	1,5	19	0,68
Авар. осв., гр. 2а	-	21,3	12	6,2	0,26	2,0	1,5	1,5	19	1,18

На основании расчетов составим план размещения осветительной аппаратуры и прокладки сети освещения в помещении цеха, а также принципиальную схему щитков освещения.

Вывод по разделу.

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 и методом удельной мощности. Для освещения основного помещения цеха были применены светильники с энергосберегающими светодиодными лампами типа ДСП, для вспомогательных помещений - люминесцентные лампы со светильником типа ЛПП 22. В качестве распределительного устройства для рабочего и аварийного освещения были приняты щит освещения типа ЩО8505. В качестве проводника используется кабель марки ВВГ

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 электроснабжения производственного цеха

2.1 Определение расчетной электрических нагрузок

Прежде чем приступить к определению расчетных нагрузок необходимо сформировать план распределительной сети цеха.

Для питания электроприемников цеха применяем радиальную схему электроснабжения. Все электроприемники питаются от комплектного распределительного устройства КРУ-МЭТЗ-0,4, состоящего из двух сборных шин СШ-1 и СШ-2. Питающие и распределительные линии осуществляется кабелем марки ВВГ. Кабели будут прокладываться открыто на кабельных лотках.

Исходя из выше изложенных проектных решений, создадим план силовой распределительной сети цеха.

Определим нагрузку по секциям и цеху в целом по форме Ф636-92 согласно РТМ 36.18.32.4-92 [18] и [14].

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

Составим ведомость электроприемников СН (таблица 10), в которой будут сведены все расчетные данные ЭП.

Таблица 10 – Ведомость электроприемников СН

№ на плане	Наименование ЭП	U_n , кВ	P_n , кВт	$\cos\varphi_n$	K_n	K_{II}
1	2	3	4	5	6	7
К1.1 К1.2	Вентилятор воздуха	0,4	15	0,85	7,0	0,5
К2.1 К2.2	Дымосос	0,4	37	0,85	7,0	0,5

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5	6	7
К3.1 К3.2	Дымосос	0,4	75	0,9	7,0	0,5
К4.1 К4.2	Вентилятор мельничный	0,4	37	0,85	7,0	0,5
К5.1 К5.2 К5.3	Дымосос	0,4	3	0,85	7,0	0,5
К6.1 К6.2	Насос питательный	0,4	200	0,9	7,0	0,5
К7.1 К7.2	Вакуумный насос	0,4	90	0,85	7,0	0,5
К8.1 К8.2	Вентилятор охлаждающего воздуха	0,4	75	0,9	7,0	0,5
К9.1 К9.2	Насос циркуляции кислоты	0,4	11	0,85	7,0	0,5
К10.1 К10.2	Насос нейтрализации	0,4	30	0,9	7,0	0,5
К11.1 К11.2 К11.3	Насос впрысной воды	0,4	0,75	0,8	7,0	0,5
К12	Анализаторная	0,4	15	0,85	7,0	0,6
К13.1 К13.2	Насос дозатор химраствора	0,4	5,5	0,85	7,0	0,5
К14.1 К14.2	Насос питательный	0,4	37	0,85	7,0	0,5

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

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 числа электроприемников $n_э$ и группового коэффициента использования [18, 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:

$$n_3 = \frac{(\sum P_{ni})^2}{\sum n \cdot P_{ni}^2}. \quad (35)$$

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:

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \text{ при } n_3 \leq 10, \quad (37)$$

$$Q_p = \sum P_{ni} \cdot K_{ui} \cdot \operatorname{tg} \phi_i \text{ при } n_3 > 10, \quad (38)$$

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 СШ-1. Эффективное число электроприемников:

$$n_э = \frac{(15 \cdot 2 + 37 \cdot 3 + 75 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 200 + 90 + 11 + 30 + 0,75 \cdot 2 + 5,5)^2}{2 \cdot 15^2 + 3 \cdot 37^2 + 2 \cdot 75^2 + 2 \cdot 3^2 + 200^2 + 90^2 + 11^2 + 30^2 + 2 \cdot 0,75^2 + 5,5^2} \approx 6.$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{0,5 \cdot (15 + 37 \cdot 3 + 75 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 200 + 90 + 11 + 30 + 0,75 \cdot 2 + 5,5) + 0,6 \cdot 15}{15 \cdot 2 + 37 \cdot 3 + 75 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 200 + 90 + 11 + 30 + 0,75 \cdot 2 + 5,5} = 0,5.$$

По таблице 2 [18] определяем коэффициент расчетной нагрузки K_p .
При $n_э = 6$ и $K_u = 0,5$ $K_p = 0,93$.

Расчетная мощность группы:

$$P_p = 0,93 \cdot (0,5 \cdot (15 + 37 \cdot 3 + 75 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 200 + 90 + 11 + 30 + 0,75 \cdot 2 + 5,5) + 0,6 \cdot 15) = 297 \text{ кВт.}$$

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

$$Q_p = 1,1 \cdot (15 + 37 \cdot 3 + 75 \cdot 2 + 3 \cdot 2 + 200 + 90 + 11 + 30 + 0,75 \cdot 2 + 5,5) + 0,6 \cdot 15 = 189 \text{ квар.}$$

Расчет нагрузок для остальных узлов и в целом по цеху производится аналогично. Результаты расчетов нагрузки представлены в форме Ф636-92 в таблице 11.

Таблица 11 – Определение расчетных нагрузок

Исходные данные							Расч. величины			η	K _р	Расч. мощность			I _р , А
по заданию технологов				по справ. данным			K _и ·P _и	K _и ·P _и ·tgφ	п·p _и ²			P _р , кВт	Q _р , кВАр	S _р , кВА	
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт. n	Ном. мощность, кВт		k _и	к-т мощности										
		одного p _и	общая P _и =n·p _и		cosφ	tgφ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
СШ-1															
Вентилятор воздуха	1	15	15	0,5	0,85	0,62	7,5	4,6	225	-	-	-	-	-	-
Дымосос	1	37	37	0,5	0,85	0,62	18,5	11,5	1369	-	-	-	-	-	-
Дымосос	1	75	75	0,5	0,9	0,48	37,5	18,2	5625	-	-	-	-	-	-
Вентилятор мельничный	1	37	37	0,5	0,85	0,62	18,5	11,5	1369	-	-	-	-	-	-
Дымосос	2	3	6	0,5	0,85	0,62	3	1,9	18	-	-	-	-	-	-
Насос питательный	1	200	200	0,5	0,9	0,48	100	48,4	40000	-	-	-	-	-	-
Вакуумный насос	1	90	90	0,5	0,85	0,62	45	27,9	8100	-	-	-	-	-	-
Вентилятор охлаждающего воздуха	1	75	75	0,5	0,9	0,48	37,5	18,2	5625	-	-	-	-	-	-
Насос циркуляции кислоты	1	11	11	0,5	0,85	0,62	5,5	3,4	121	-	-	-	-	-	-
Насос нейтрализации	1	30	30	0,5	0,9	0,48	15	7,3	900	-	-	-	-	-	-
Насос впрысной воды	2	0,75	1,5	0,5	0,8	0,75	0,75	0,6	1,12	-	-	-	-	-	-
Анализаторная	1	15	15	0,6	0,85	0,62	9	5,6	225	-	-	-	-	-	-
Насос дозатор химраствора	1	5,5	5,5	0,5	0,85	0,62	2,75	1,7	30,2	-	-	-	-	-	-
Насос питательный	1	37	37	0,5	0,85	0,62	18,5	11,5	1369	-	-	-	-	-	-
Итого	-	-	635	0,5	0,88	0,54	319	172,1	64977	6	0,93	297	189	352	535
СШ-2															
Вентилятор воздуха	1	15	15	0,5	0,85	0,62	7,5	4,6	225	-	-	-	-	-	-
Дымосос	1	37	37	0,5	0,85	0,62	18,5	11,5	1369	-	-	-	-	-	-
Дымосос	1	75	75	0,5	0,9	0,48	37,5	18,2	5625	-	-	-	-	-	-
Вентилятор мельничный	1	37	37	0,5	0,85	0,62	18,5	11,5	1369	-	-	-	-	-	-
Дымосос	1	3	1	0,5	0,85	0,62	1,5	0,9	9	-	-	-	-	-	-
Насос питательный	1	200	200	0,5	0,9	0,48	100	48,4	40000	-	-	-	-	-	-
Вакуумный насос	1	90	90	0,5	0,85	0,62	45	27,9	8100	-	-	-	-	-	-
Вентилятор охлаждающего воздуха	1	75	75	0,5	0,9	0,48	37,5	18,2	5625	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Насос циркуляции кислоты	1	11	11	0,5	0,85	0,62	5,5	3,4	121	-	-	-	-	-	-
Насос нейтрализации	1	30	30	0,5	0,9	0,48	15	7,3	900	-	-	-	-	-	-
Насос впрысной воды	1	0,75	0,75	0,5	0,8	0,75	0,375	0,3	0,56	-	-	-	-	-	-
Насос дозатор химраствора	1	5,5	5,5	0,5	0,85	0,62	2,75	1,7	30,2	-	-	-	-	-	-
Насос питательный	1	37	37	0,5	0,85	0,62	18,5	11,5	1369	-	-	-	-	-	-
ЩО-1	1	3,24	3,24	1	0,95	0,33	3,24	1,1	10,5	-	-	-	-	-	-
ЩО-2	1	2,59	2,59	1	0,92	0,43	2,59	1,1	6,7	-	-	-	-	-	-
Итого	-	-	622	0,5	0,88	0,53	314	167	64760	6	0,93	292	184	345	525
ГП															
Вентилятор воздуха	2	15	30	0,5	0,85	0,62	15	9,3	450	-	-	-	-	-	-
Дымосос	2	37	74	0,5	0,85	0,62	37	22,9	2738	-	-	-	-	-	-
Дымосос	2	75	150	0,5	0,9	0,48	75	36,3	11250	-	-	-	-	-	-
Вентилятор мельничный	2	37	74	0,5	0,85	0,62	37	22,9	2738	-	-	-	-	-	-
Дымосос	3	3	9	0,5	0,85	0,62	4,5	2,8	27	-	-	-	-	-	-
Насос питательный	2	200	400	0,5	0,9	0,48	200	96,9	80000	-	-	-	-	-	-
Вакуумный насос	2	90	180	0,5	0,85	0,62	90	55,8	16200	-	-	-	-	-	-
Вентилятор охлаждающего воздуха	2	75	150	0,5	0,9	0,48	75	36,3	11250	-	-	-	-	-	-
Насос циркуляции кислоты	2	11	22	0,5	0,85	0,62	11	6,8	242	-	-	-	-	-	-
Насос нейтрализации	2	30	60	0,5	0,9	0,48	30	14,5	1800	-	-	-	-	-	-
Насос впрысной воды	3	0,75	1,5	0,5	0,8	0,75	0,75	0,6	1,12	-	-	-	-	-	-
Анализаторная	1	15	15	0,6	0,85	0,62	9	5,6	225	-	-	-	-	-	-
Насос дозатор химраствора	2	5,5	11	0,5	0,85	0,62	5,5	3,4	60,5	-	-	-	-	-	-
Насос питательный	2	37	74	0,5	0,85	0,62	37	22,9	2738	-	-	-	-	-	-
ЩО-1	1	3,24	3,24	1	0,95	0,33	3,24	1,1	10,5	-	-	-	-	-	-
ЩО-2	1	2,59	2,59	1	0,92	0,43	2,59	1,1	6,7	-	-	-	-	-	-
Итого ЭП	-	-	1256	0,5	0,88	0,54	632,6	339	129736	12	0,85	538	339	636	966

2.2 Расчет распределительной сети цеха

Перечень электроприемников цеха приведен в таблице 10. 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 расчетную номинальный и пусковой токи для приемника К1.1 (вентилятор воздуха)

$$I_{H(1)} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,85} = 25,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{пуск}} = 25,5 \cdot 7 = 178 \text{ А}.$$

Для остальных приемников расчет производится аналогично. Результаты вычислений и пусковых токов представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Ведомость электроприемников

№ на плане	Наименование ЭП	P_n , кВт	$\cos\varphi_n$	K_n	I_p , А	I_n , А
К1.1; К1.2	Вентилятор воздуха	15	0,85	7,0	25,5	178
К2.1; К2.2	Дымосос	37	0,85	7,0	62,8	440
К3.1; К3.2	Дымосос	75	0,9	7,0	120,3	842
К4.1; К4.2	Вентилятор мельничный	37	0,85	7,0	62,8	440
К5.1; К5.2; К5.3	Дымосос	3	0,85	7,0	5,1	36
К6.1; К6.2	Насос питательный	200	0,9	7,0	320,8	2245
К7.1; К7.2	Вакуумный насос	90	0,85	7,0	152,8	1070
К8.1; К8.2	Вентилятор охлаждающего воздуха	75	0,9	7,0	120,3	842
К9.1; К9.2	Насос циркуляции кислоты	11	0,85	7,0	18,7	131
К10.1; К10.2	Насос нейтрализации	30	0,9	7,0	48,1	337
К11.1; К11.2; К11.3	Насос впрысочной воды	0,75	0,8	7,0	1,4	10
К12	Анализаторная	15	0,85	7,0	25,5	178
К13.1; К13.2	Насос дозатор химраствора	5,5	0,85	7,0	9,3	65
К14.1; К14.2	Насос питательный	37	0,85	7,0	62,8	440

В качестве распредустройства будет использовано КРУ-МЭТЗ-0,4, где каждый отходящий фидер выполнен в виде выдвижной ячейки. В качестве аппаратуры в цепях управления будут использованы контакторы и автоматические выключатели фирмы Shneider Electric.

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:

$$I_{ср..p} \geq k \cdot I_{лик}, \quad (45)$$

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. К установке примем автоматические контакторы типа EZC100F3 и EZC250F3. Результаты выбора сведены в таблице 13.

Таблица 13 – 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
К1.1; К1.2	Вентилятор воздуха	25,5	178	EZC100F3030	100	30	240
К2.1; К2.2	Дымосос	62,8	440	EZC100F3075	100	75	600
К3.1; К3.2	Дымосос	120,3	842	EZC250F3125	250	125	1250
К4.1; К4.2	Вентилятор мельничный	62,8	440	EZC100F3075	100	75	600
К5.1; К5.2; К5.3	Дымосос	5,1	36	EZC100F3015	100	15	150
К6.1; К6.2	Насос питательный	320,8	2245	NB400N350	400	350	3150
К7.1; К7.2	Вакуумный насос	152,8	1070	EZC250F3160	250	160	1440
К8.1; К8.2	Вентилятор охлаждающего воздуха	120,3	842	EZC250F3125	250	125	1250
К9.1; К9.2	Насос циркуляции кислоты	18,7	131	EZC100F3020	100	20	200
К10.1; К10.2	Насос нейтрализации	48,1	337	EZC100F3050	100	50	450
К11.1; К11.2; К11.3	Насос впрысной воды	1,4	10	EZC100F3015	100	15	150
К12	Анализаторная	25,5	178	EZC100F3030	100	30	240
К13.1; К13.2	Насос дозатор химраствора	9,3	65	EZC100F3015	100	15	150
К14.1; К14.2	Насос питательный	62,8	440	EZC100F3075	100	75	600

Магнитный 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.

Исходя из всех описанных условий, произведем выбор контакторов. К установке примем контакторы типа TeSys ELC1 и тепловые реле типа TeSys LRE. Результаты выбора сведены в таблице 14.

Таблица 14 – Выбор магнитных пускателей

№ на плане	Наименование защищаемого объекта	I_p , А	Магнитный пускатель		Тепловое реле	
			Тип	$I_{ном.п}$, А	Тип	Пределы регул., А
1	2	3	4	5	6	7
К1.1; К1.2	Вентилятор воздуха	25,5	LC1E3201M5	32	RE32	23 – 32
К2.1; К2.2	Дымосос	62,8	LC1E8001M5	80	RE359	48 – 65
К3.1; К3.2	Дымосос	120,3	LC1E160M5	160	RE482	84 – 135
К4.1; К4.2	Вентилятор мельничный	62,8	LC1E8001M5	80	RE359	48 – 65
К5.1; К5.2; К5.3	Дымосос	5,1	LC1E0601M5	6	RE10	4 – 6
К6.1; К6.2	Насос питательный	320,8	LC1E400M7	400	RE487	259 – 414
К7.1; К7.2	Вакуумный насос	152,8	LC1E160M5	160	RE483	124 – 198

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7
К8.1; К8.2	Вентилятор охлаждающего воздуха	120,3	LC1E160M5	160	RE482	84 – 135
К9.1; К9.2	Насос циркуляции кислоты	18,7	LC1E2501M5	25	RE22	16 – 24
К10.1; К10.2	Насос нейтрализации	48,1	LC1E5001M5	50	RE357	37 – 50
К11.1; К11.2; К11.3	Насос впрысной воды	1,4	LC1E0601M5	6	RE06	1 – 1,6
К12	Анализаторная	25,5	LC1E3201M5	32	RE32	23 – 32
К13.1; К13.2	Насос дозатор химраствора	9,3	LC1E1201M5	12	RE14	7 – 10
К14.1; К14.2	Насос питательный	62,8	LC1E8001M5	80	RE359	48 – 65

Для силовых цепей, выполненных кабельным проводником и медными проводящими жилами минимальное сечение составляет 1,5 мм².

По допустимому нагреву сечения кабелей выбираются по условию:

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

где $I_{\text{дон}}$ – 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 будут прокладываться в кабельных лотках. Определим сечение кабеля кабель для К1.1(вентилятор воздуха).

Допустимый ток нагрева кабеля:

$$I_{доп} \geq 25,5 / (1 \cdot 0,75) = 34 \text{ А.}$$

Согласование сечения проводникового материала с током уставки защитного аппарата:

$$I_{доп} \geq 30 \text{ А.}$$

По таблице ПЗ.4 [13] выбираем кабель ВВГ 4×4 с $I_{доп} = 35\text{А}$.

Для остальных электроприемников кабель выбирается аналогично. Результаты выбора кабелей сведены в таблице 15.

Таблица 15 – 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
1	2	3	4	5	6	7	8
К1.1; К1.2	Вентилятор воздуха	25,5	1	0,75	30	ВВГ 4×4	35
К2.1; К2.2	Дымосос	62,8	1	0,75	75	ВВГ 4×25	95

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8
К3.1; К3.2	Дымосос	120,3	1	0,75	125	ВВГ 4×70	180
К4.1; К4.2	Вентилятор мельничный	62,8	1	0,75	75	ВВГ 4×25	95
К5.1; К5.2; К5.3	Дымосос	5,1	1	0,75	15	ВВГ 4×1,5	19
К6.1; К6.2	Насос питательный	320,8	1	0,75	350	2×ВВГ 4×95	220
К7.1; К7.2	Вакуумный насос	152,8	1	0,75	160	ВВГ 4×95	220
К8.1; К8.2	Вентилятор охлаждающего воздуха	120,3	1	0,75	125	ВВГ 4×70	180
К9.1; К9.2	Насос циркуляции кислоты	18,7	1	0,75	20	ВВГ 4×2,5	25
К10.1; К10.2	Насос нейтрализации	48,1	1	0,75	50	ВВГ 4×16	75
К11.1; К11.2; К11.3	Насос впрысной воды	1,4	1	0,75	15	ВВГ 4×1,5	19
К12	Анализаторная	25,5	1	0,75	30	ВВГ 4×4	35
К13.1; К13.2	Насос дозатор химраствора	9,3	1	0,75	15	ВВГ 4×1,5	19
К14.1; К14.2	Насос питательный	62,8	1	0,75	75	ВВГ 4×25	95

Вывод по разделу.

В данном разделе был произведен расчет системы электроснабжения производственного цеха. Данный расчет включает в себя определение электрических нагрузок цеха расчет распределительной сети 0,4кВ и выбор аппаратов пуска и защиты. Расчет электрически нагрузок позволяет определить значения токов в линии и в последующем провести выбор распределительного и защитного оборудования. От правильного выбора защитных аппаратов зависит эффективность и долговечность работы силового оборудования. Аппараты защиты обеспечивают защиту электроустановок от аварийных режимов работы, защиту персонала от поражения электрическим током, пожарную безопасность внутренних электрических сетей.

3 Расчет системы электроснабжения предприятия

3.1 Определение расчетных нагрузок

Перед определением расчетных нагрузок необходимо распределить потребителей по группам питающих их трансформаторов. Здания завода разбивается на несколько технологически связанных групп, питание к которым подводится от отдельных групп трансформаторов. Здания, для которых установка собственных трансформаторов нецелесообразна (административные здания, склады, гаражи и т.п.), запитываются от общих трансформаторов или трансформаторов других более мощных потребителей.

Характеристики потребителей предприятия напряжением 10кВ представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики потребителей 10кВ

Цех	Категория надежности	$tg\varphi$	K_u	$P_{н.мах}$, кВт	Установленная мощность P_n , кВт	Расчетная осветительная нагрузка $P_{ро}/Q_{ро}$, кВт/квар
Ремонтно-механический цех	II	1	0,45	60	540	7/2,2
Цех производства серно кислоты	I	-	-	-	-	-
Цех пароснабжения	I	1,14	0,65	100	980	9/4,2
Парк ХОВ	I	1	0,46	80	890	24/16
Лаборатория	II	0,94	0,45	50	280	10/5,5
Цех первичной переработки сырья	I	0,93	0,45	130	900	10/5,1
АБК	III	0,8	0,4	-	250	8/5,1

По установленной мощности можно выделить мощные потребители, расположенные в зданиях 1, 2, 3, 4 и 6. Мощность потребителей здания 5 и 7 меньше, установка собственных трансформаторов нецелесообразна, поэтому предусмотрим питание зданий 5 и 7 от ТП здания 1. Исходя из

вышесказанных условий и установленной мощности потребителей целесообразно выделить следующие группы:

- группа 1: здание 1 (ремонтно-механический цех, 540 кВт, II категория), здание 5 (лаборатория, 280кВт, II категория), здание 7 (АБК, 250 кВт, III категория);
- группа 2: здание 2 (цех производства серной кислоты, 538 кВт, I категория);
- группа 3: здание 3 (цех пароснабжения, 980 кВт, I категория);
- группа 4: здание 4 (парк ХОВ, 890 кВт, I категория);
- группа 5: здание 6 (цех первичной переработки сырья, 900 кВт, I категория).

Расчет нагрузки делается по РТМ 36.18.32.4-92.

Значение $n_э$ может определяться по упрощенному выражению:

$$n_э = \frac{2 \cdot \sum P_{ni}}{P_{n \max}}; \quad (54)$$

где $P_{n \max}$ – мощность наиболее мощного электроприемника в группе, кВт.

Эффективное число электроприемников:

$$n_э = \frac{2 \cdot (540 + 280 + 250)}{50} = 36$$

Групповой коэффициент использования:

$$K_u = \frac{540 \cdot 0,4 + 280 \cdot 0,45 + 250 \cdot 0,45}{540 + 280 + 250} = 0,41.$$

По таблице 2 [18] коэффициент расчетной нагрузки равен $K_p = 0,75$.

Расчетная силовая нагрузка:

$$P_p = 0,75 \cdot (540 + 280 + 250) \cdot 0,46 = 332 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 0,75 \cdot (540 + 280 + 250) \cdot 0,41 \cdot 0,94 = 311 \text{ квар.}$$

К силовой расчетной нагрузке также добавляется расчетная осветительная нагрузка. Расчетная результирующая нагрузка с учетом осветительной:

$$P_{pn} = 332 + 25 = 357 \text{ кВт};$$

$$Q_{pn} = 311 + 13 = 324 \text{ квар};$$

$$S_{pn} = \sqrt{357^2 + 324^2} = 481 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток нагрузки:

$$I_p = \frac{481}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 732 \text{ А.}$$

Расчет нагрузок для остальных групп определяется аналогично. Результаты расчетов нагрузок представлены по форме Ф636-92 в таблице 17.

Таблица 17 – Определение расчетных нагрузок

Исходные данные					Расч. величины							Расч. мощность			
по заданию технологов			по справ. данным		$K_u \cdot P_n$	$K_u \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi$	$n \cdot p_n^2$	n_3	K_p	$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ кВАр}$	$S_p, \text{ кВА}$	$I_p, \text{ А}$		
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт. n	Ном. мощность, кВт		k_u										к-т мощности	
		одного p_n	общая $P_n = n \cdot p_n$		$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Группа 1: ТП-1															
Силовая															
Рем.-механ. цех	$p_{\text{нmax}} =$	60	540	0,4	-	1,00	216	216,0	-	-	-	-	-	-	-
Лаборатория	$p_{\text{нmax}} =$	50	280	0,45	-	0,94	126	118,4	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
АБК	$P_{\text{нmax}}=$	-	250	0,4	-	0,80	100	80,0	-	-	-	-	-	-	-
Итого силовая	-	-	1070	0,41	-	0,94	442	414	-	36	0,75	332	331	-	-
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Рем.-механ. цех	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	22	-	-
Лаборатория	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5,5	-	-
АБК	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	5,1	-	-
Итого осветит.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	12,8	-	-
Итого на шинах ТП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	357	324	481	732
Группа 2: ТП-2															
Силовая	$P_{\text{нmax}}=$	200	1256	0,5	-	0,54	632	339	-	12	0,85	538	339	-	-
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого на шинах ТП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	538	339	636	966
Группа 3: ТП-3															
Силовая	$P_{\text{нmax}}=$	100	980	0,65	-	1,14	637	726	-	20	0,9	573	654	-	-
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	4,2	-	-
Итого на шинах ТП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	582	658	878	1335
Группа 4: ТП-4															
Силовая	$P_{\text{нmax}}=$	80	890	0,46	-	1	409	409	-	22	0,77	315	315	-	-
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	16	-	-
Итого на шинах ТП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	339	331	474	720
Группа 5: ТП-5															
Силовая	$P_{\text{нmax}}=$	130	900	0,4	-	0,8	360	288	-	14	0,85	306	245	-	-
Осветительная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5,1	-	-
Итого на шинах ТП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	316	250	403	612

Т.к. большинства потребителей завода относится к I категории электроснабжения, то для электроснабжения каждого объекта будет осуществляться от двухтрансформаторных подстанций.

Номинальная мощность трансформатора определяется как:

$$S_{HT} = \frac{P_{PН}}{\beta_T \cdot N_T}; \quad (55)$$

где β_T - коэффициент загрузки трансформатора;

N_T - количество трансформатора.

Вид ТП и коэффициентов загрузки β_T зависит от категории электроприемников питаемой нагрузки. Для цехов с преобладающей нагрузкой электроприемников I категории при использовании двухтрансформаторной подстанции $\beta_T = 0,65 - 0,7$.

Необходимая мощность трансформаторов для 1 группы ТП-1:

$$S_T = \frac{481}{0,65 \cdot 2} = 370 \text{ кВА.}$$

Примем к установке сухой трансформатор типа ТСЛ-630. Для остальных групп расчет производится аналогично. Выбор числа трансформаторов представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Результирующий расчет нагрузок по ТП

Наименование	P_p , кВт	Q_p , кВт	S_p , кВт	β_T	Трансформатор
ТП-1	357	324	481	0,65	2×ТСЛ 400/10
ТП-2	538	339	636	0,65	2×ТСЛ 630/10
ТП-3	582	658	878	0,65	2×ТСЛ 1000/10
ТП-4	339	331	474	0,65	2×ТСЛ 400/10
ТП-5	316	316	403	0,65	2×ТСЛ 400/10

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_X + \Delta P_K \cdot \beta_T^2; \quad (56)$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_{HT}}{100} \cdot (I_X + U_K \cdot \beta_T^2), \quad (57)$$

где $\Delta P_X, \Delta P_K$ - потери холостого хода и короткого замыкания, кВт;

I_X - ток холостого хода тр-ра, %.

U_K - напряжение короткого замыкания тр-ра, %.

Определение потерь мощности в трансформаторах и подстанциях в целом произведем в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет потерь мощности в трансформаторах

ТП			Трансформатор							Всего по ТП	
Обозначение	Трансформатор	S_N , кВА	β_T	P_x , кВт	P_κ , кВт	I_x , %	U_κ , %	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВт	ΔP_T , кВт	ΔQ_T , кВт
ТП-1	2×400	400	0,65	1,15	5,9	1	6	6,4	14,1	12,8	28,2
ТП-2	2×630	630	0,65	1,3	7,1	0,8	6	7,6	21	15,2	42
ТП-3	2×1000	1000	0,65	2,0	8,9	0,8	6	9,7	33,4	19,4	66,8
ТП-4	2×400	400	0,65	1,15	5,9	1	6	6,4	14,1	12,8	28,2
ТП-5	2×400	400	0,65	1,15	5,9	1	6	6,4	14,1	12,8	28,2
Итого по заводу									73	193,4	

Расчетная нагрузка предприятия на шинах напряжением:

$$P_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni}) + P_{po} + \Delta P_T; \quad (58)$$

$$Q_p = K_o \cdot \sum_{i=1}^m (K_{ui} \cdot P_{ni} \cdot \operatorname{tg}\varphi) + Q_{po} + \Delta Q_T, \quad (59)$$

где K_o – коэффициент одновременности максимумов нагрузок;

m – число присоединений на сборных шинах 6-10кВ;

K_u – коэффициент использования i -ого присоединения;

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

P_{po} и Q_{po} – расчетная осветительная нагрузка i -ого присоединения, кВт и квар;

ΔP_T и ΔQ_T – потери активной и реактивной мощности трансформаторов i -ого присоединения, кВт и квар;

Коэффициент одновременности K_o определяется по таблице 3 [18].

Групповой коэффициент использования силовой нагрузки:

$$K_u = \frac{540 \cdot 0,4 + 1256 \cdot 0,5 + 980 \cdot 0,65 + 890 \cdot 0,46 + 280 \cdot 0,45 + 900 \cdot 0,45 + 250 \cdot 0,4}{540 + 1256 + 980 + 890 + 280 + 900 + 250} = 0,49$$

При числе подключений $m = 10$ и коэффициенте использования $K_u = 0,44$ по таблице 3 [18] принимаем коэффициент одновременности $K_o = 0,85$.

Расчетная силовая нагрузка:

$$P_p = 0,85 \cdot (540 \cdot 0,4 + 1256 \cdot 0,5 + 980 \cdot 0,65 + 890 \cdot 0,46 + 280 \cdot 0,45 + 900 \cdot 0,45 + 250 \cdot 0,4) = 2143 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 0,85 \cdot (540 \cdot 0,4 \cdot 1 + 1256 \cdot 0,5 \cdot 0,54 + 980 \cdot 0,65 \cdot 1,14 + 890 \cdot 0,46 \cdot 1 + 280 \cdot 0,45 \cdot 0,94 + 900 \cdot 0,45 \cdot 0,93 + 250 \cdot 0,4 \cdot 0,8) = 1926 \text{ квар.}$$

Расчетная нагрузка с учетом осветительной и потерь в трансформаторах:

$$P_p = 2143 + 68 + 73 = 2284 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1926 + 38,1 + 193,4 = 2157 \text{ квар.}$$

Расчет нагрузок на шинах РТП-10кВ оформлен в таблице 20.

Таблица 20 – Определение расчетных нагрузок

Исходные данные							Расч. величины					Расч. мощность			
по заданию технологов				по справ. данным			$K_u \cdot P_n$	$K_u \cdot P_n \cdot \text{tg}\varphi$	$n \cdot p_n^2$	n_s	K_p	$P_p, \text{ кВт}$	$Q_p, \text{ квар}$	$S_p, \text{ кВА}$	$I_p, \text{ А}$
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт. n	Ном. мощность, кВт		k_u	к-т мощности										
		одного p_n	общая $P_n = n \cdot p_n$		$\cos\varphi$	$\text{tg}\varphi$									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РП 10кВ															
Силовая															
Ремонтно-механический цех	1	540	540	0,4	-	1	216	216,0	-	-	-	-	-	-	-
Цех производства серной кислоты	1	1256	1256	0,5	-	0,54	628	339,1	-	-	-	-	-	-	-
Цех пароснабжения	1	980	980	0,65	-	1,14	637	726,2	-	-	-	-	-	-	-
Парк ХОВ	1	890	890	0,46	-	1	409,4	409,4	-	-	-	-	-	-	-
Лаборатория	1	280	280	0,45	-	0,94	126	118,4	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Цех первичной переработки сырья	1	900	900	0,45	-	0,93	405	376,7	-	-	-	-	-	-	-
АБК	1	250	250	0,4	-	0,8	100	80,0	-	-	-	-	-	-	-
Итого силовая	-	-	5096	0,49	-	0,9	2521	2266	-	-	0,85	2143	1926	-	-
Осветительная															
Ремонтно-механический цех	-	-	-	-	-	-	7	2,2	-	-	-	-	-	-	-
Цех производства серной кислоты	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-	-	-	-	-	-
Цех пароснабжения	-	-	-	-	-	-	9	4,2	-	-	-	-	-	-	-
Парк ХОВ	-	-	-	-	-	-	24	16	-	-	-	-	-	-	-
Лаборатория	-	-	-	-	-	-	10	5,5	-	-	-	-	-	-	-
Цех первичной переработки сырья	-	-	-	-	-	-	10	5,1	-	-	-	-	-	-	-
АБК	-	-	-	-	-	-	8	5,1	-	-	-	-	-	-	-
Итого осветительная	-	-	-	-	-	-	68	38	-	-	-	68	38	-	-
Потери в тр-рах															
ТП-1	-	-	-	-	-	-	12,8	28,2	-	-	-	-	-	-	-
ТП-2	-	-	-	-	-	-	15,2	42	-	-	-	-	-	-	-
ТП-3	-	-	-	-	-	-	19,4	66,8	-	-	-	-	-	-	-
ТП-4	-	-	-	-	-	-	12,8	28,2	-	-	-	-	-	-	-
ТП-5	-	-	-	-	-	-	12,8	28,2	-	-	-	-	-	-	-
Итого	-	-	-	-	-	-	73	193	-	-	-	73	193	-	-
Итого по РП	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2284	2157	3142	-

3.2 Расчет распределительной сети завода

На рисунке 6 приведена схема распределительной сети предприятия.

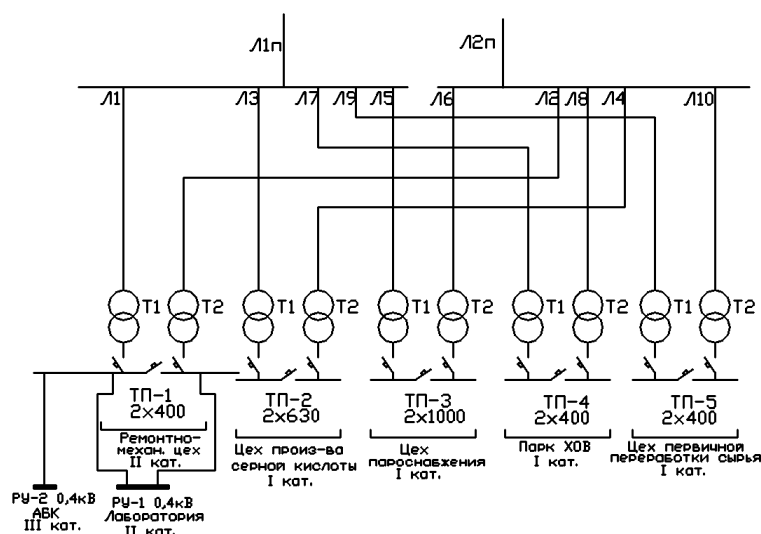


Рисунок 6 – Схема распределительной сети

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

Для линий ТП расчётный ток и ток в послеаварийном режиме:

$$I_{p(ТП)} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (60)$$

$$I_{pa(ТП)} = 1,2 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (61)$$

Расчетный ток в линии к подстанции примем, когда один из вводов отключен, а другой несет всю нагрузку завода:

$$I_{p(ПП)} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (62)$$

Определение расчетных токов в нормальном и послеаварийном режимах отходящих линий произведено в таблице 21.

Таблица 21 – Расчетные токи линий 10кВ

Линия	Нагрузка S_H , кВА	I_p , А	I_{pa} , А
Л1п, Л2п	3142	182	182
Л1, Л2	400	23	28
Л3, Л4	630	36,4	44
Л5, Л6	1000	57,8	70
Л7, Л8	400	23	28
Л9, Л10	400	23	28

Выбор сечений проводников производится по нагреву и экономической плотности тока. Из выбранных сечений принимается большее.

Проводники должны выдерживать расчетный ток в нормальном и послеаварийном режимах:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3}; \quad (63)$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{pa}}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_{\text{пер}}}, \quad (64)$$

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

K_1, K_2, K_3 – поправочные коэффициенты на температуру среды, количество кабелей в общей траншее и тепловое сопротивление земли;

$K_{\text{пер}}$ – коэффициент, учитывающий допустимую перегрузку проводника током на период ликвидации послеаварийного режима.

Выбора сечения проводников по экономической плотности тока производится согласно ПУЭ п.1.3.25-1.3.32. Сечение проводника по экономической плотности тока определяется по выражению:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_p}{j_{\text{э}}}, \quad (65)$$

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

Затем выбирается ближайшее к $F_{\text{э}}$ стандартное сечение проводника.

Произведем выбор сечения проводников питающих линий РП-10кВ.

Исходные данные для данного участка:

- проводники: АПвП-10, одножильные, расположение в треугольник;
- условия прокладки: в земле в траншее, условия – нормальные;
- $I_p = 182$ А,
- $T_{\text{max}} = 5100$ ч.

По нагреву примем сечение проводника АПвП-10 3(1×70) с $I_{\text{доп}} = 210$

А.

Допустимый ток проводника с учетом фактических условий прокладки:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{182}{1 \cdot 1 \cdot 0,93} = 196 \text{ А.}$$

Сечение проводника по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{109}{1,6} = 68 \text{ мм}^2;$$

Окончательно для линии Л1п следует принять проводники АПвП-10-3(1×70) с $I_{\text{доп}} = 210 \text{ А}$.

Для остальных линий выбор производится аналогично. Выбор сечений проводников произведен в таблице 22.

Таблица 22 – Выбор сечения проводников 10 кВ

Обозначение	Марка кабеля	Расчетные данные					Принятый кабель	
		$I_p, \text{ А}$	$I_{pa}, \text{ А}$	$T_{max}, \text{ ч}$	$j_{\text{э}}, \text{ А/мм}^2$	$F_{\text{э}}, \text{ мм}^2$	Число и сечение жил	$I_{\text{доп}}, \text{ А}$
Л1п, Л2п	АПвП-10	182	182	5100	1,6	68	3(1×70)	210
Л1, Л2	АПвП-10	23	28	5100	1,6	6	3×35	136
Л3, Л4	АПвП-10	36,4	44	5100	1,6	10	3×35	136
Л5, Л6	АПвП-10	57,8	70	5100	1,6	10	3×35	136
Л7, Л8	АПвП-10	23	28	5100	1,6	24	3×35	136
Л9, Л10	АПвП-10	23	28	5100	1,6	15	3×35	136

Сечение кабелей 0,4кВ производится по нагреву максимальным расчетным током. При $T_{max} \geq 5000$ часов выбор сечения также производится по экономической плотности тока.

Питание нагрузки на напряжении 0,4кВ I или II категории осуществляется двумя взаиморезервируемыми кабельными линиями от независимых источников питания.

Произведем выбор сечение кабелей для питания нагрузки 0,4кВ отдельных потребителей с РУ-0,4кВ:

- лаборатория: РУ-1, $P_p = 126$ кВт, $Q_p = 118$ вар;
- АБК: РУ-2, $P_p = 100$ кВт, $Q_p = 80$ вар;
- проводники: ВВГ, открыто, на эстакаде.

Выбор сечения проводников к РУ-1, лаборатория.

Расчетная полная мощность:

$$S_p = \sqrt{126^2 + 118^2} = 173 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток:

$$I_p = \frac{173}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 250 \text{ А.}$$

Сечение проводника по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{250}{2} = 125 \text{ мм}^2.$$

Округляя до ближайшего значения получаем кабель ВВГ 4×120 $I_{\text{дон}} = 260$ А. Данный кабель проходит проверку по допустимому току нагрева.

Выбор сечения проводников к РУ-2, АБК.

Расчетная полная мощность:

$$S_p = \sqrt{100^2 + 80^2} = 128 \text{ кВА.}$$

Максимальный расчетный ток:

$$I_p = \frac{128}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 185 \text{ A.}$$

Сечение проводника по экономической плотности тока:

$$F_{\text{э}} = \frac{185}{2} = 92 \text{ мм}^2;$$

Выбираем кабель два кабеля ВВГ 4×95 с $I_{\text{дон}} = 220 \text{ A}$.

Вывод по разделу.

В данном разделе был произведен расчет системы электроснабжения предприятия. Данный расчет включает в себя определение электрических нагрузок цехов, расчет распределительной сети 10кВ и выбор кабельных линий. Расчет электрически нагрузок позволяет определить значения токов в линии и в последующем провести выбор распределительного и защитного оборудования.

При определении силовых нагрузок важно важно правильно определить электрической нагрузки во всех элементах силовой сети. Повышенное значение нагрузки может привести к перерасходу проводникового материала, следовательно, к его удорожанию; занижение нагрузки - к уменьшению пропускной способности сети и отсутствию возможности обеспечения нормальной работы потребителей.

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 и ударный ток КЗ:

$$I_{n0} = \frac{E_{\text{экв}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\text{экв}}^2 + X_{\text{экв}}^2}}; \quad (66)$$

$$i_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot K_{y\partial}, \quad (67)$$

где $E_{\text{экв}}$ – эквивалентное ЭДС в точке КЗ, кВ;

$R_{\text{экв}}, X_{\text{экв}}$ – эквивалентное активное и реактивное сопротивление в точке КЗ, Ом;

$K_{y\partial}$ – ударный коэффициент тока КЗ (по условию $K_{y\partial} = 1,6$).

Импульс квадратичного тока:

$$B_k = I_{n0}^2 (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (70)$$

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

T_a - постоянная времени [1, таблица 2.3].

Время отключения питающей линии принимается $t_{\text{откл}(n)}=0,6$ с, время отключения ввода РУ-10кВ - $t_{\text{откл}(ввод)}=0,4$ с. Время отключения отходящих фидеров - $t_{\text{откл}(отх)}=0,2$ с. Расчетная схема сети представлена на рисунке 7.

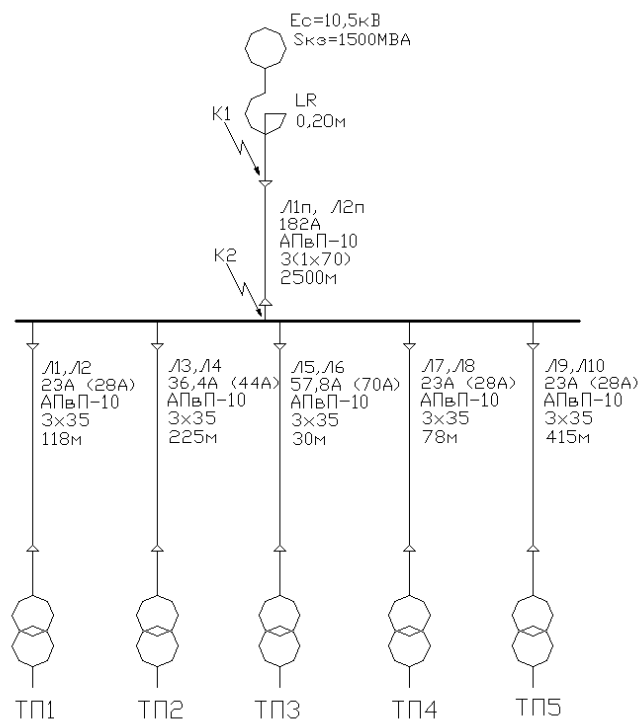


Рисунок 7 – Расчетная схема участка сети

Все подстанции завода являются двухтрансформаторными, то расчет токов КЗ будем проводить для линии одного из трансформаторов. Для второго трансформатора ток короткого замыкания будет аналогичен т.к. параметры элементов сети (марка, сечение длина кабеля) равны.

Расчет будем проводить в именованных единицах.

ЭДС системы:

$$E_c = U_{ср.н} = 10,5 \text{ кВ.}$$

Далее необходимо составить схему замещения сети (рисунок 8) с расчетными параметрами элемента. Сопротивления системы и ЛЭП в именованных единицах соответственно [21, табл.5.4]:

$$X_c = \frac{E_c^2}{S_{кз.с}}; \quad (71)$$

$$R_L = R_{L,уд} \cdot L, \quad (72)$$

$$X_L = X_{L,уд} \cdot L, \quad (73)$$

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

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

L – длина линии, км;

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

Сопротивление системы:

$$X_c = \frac{10,5^2}{1500} = 0,07 \text{ Ом.}$$

Расчет сопротивлений проводниковых материалов произведем в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет сопротивлений кабельных линий

Линия	Марка и сечение кабеля	$R_{уд}$, Ом/км	$X_{уд}$, Ом/км	Длина линии L , км	R , Ом	X , Ом
Л1п, Л2п	АПвП-10-3(1×70)	0,443	0,118	2,5	1,11	0,295
Л1, Л2	АПвП-10-3×35	0,894	0,109	0,118	0,11	0,013
Л3, Л4	АПвП-10-3×35	0,894	0,109	0,225	0,2	0,025
Л5, Л6	АПвП-10-3×35	0,894	0,109	0,03	0,03	0,003
Л7, Л8	АПвП-10-3×35	0,894	0,109	0,078	0,07	0,009
Л9, Л10	АПвП-10-3×35	0,894	0,109	0,415	0,37	0,045

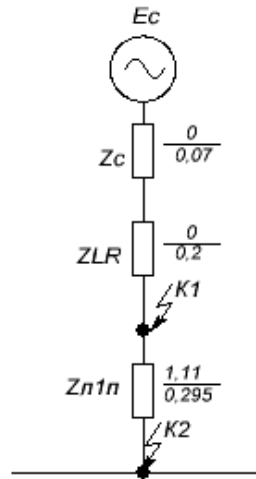


Рисунок 8 – Схема замещения участка сети

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

$$I_{n0(K1)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0^2 + (0,07 + 0,2)^2}} = 22,5 \text{ кА};$$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 22,5 \cdot 1,6 = 50,8 \text{ кА}.$$

$$B_{\kappa(K1)} = 22,5^2 \cdot (0,6 + 0,04) = 322,6 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки $K2$ по выражениям:

$$I_{n0(K1)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,11^2 + (0,07 + 0,2 + 0,295)^2}} = 4,9 \text{ кА};$$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 4,9 \cdot 1,6 = 11 \text{ кА}.$$

$$B_{\kappa(K1.1)} = 4,9^2 \cdot (0,4 + 0,04) = 10,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{\kappa(K1.2)} = 4,9^2 \cdot (0,2 + 0,04) = 5,7 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Проводники и аппараты проверяются на действие токов КЗ при КЗ в месте, вызывающем наиболее его тяжелое воздействие: проводники проверяются по термической стойкости – при КЗ в начале линий.

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

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

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

C_T – коэффициент, значение которого принимается в зависимости от начальной и конечной температуры при КЗ, материала проводника и изоляции, $\text{А} \cdot \text{с}^{0,5}/\text{мм}^2$.

Значение коэффициента C_T можно принять для кабелей до 10кв с алюминиевыми жилами $90 \text{ А} \cdot \text{с}^{0,5}/\text{мм}^2$; с медными - $140 \text{ А} \cdot \text{с}^{0,5}/\text{мм}^2$.

Термическая стойкость проводника обеспечивается если:

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

Проверим проводник линии Л1п на термическую стойкость. Минимальное сечение по термической стойкости:

$$F_T = \frac{\sqrt{322,6 \cdot 10^6}}{90} = 199,6 \text{ мм}^2$$

Термическая стойкость проводника не обеспечивается т.к. сечение кабеля меньше минимально допустимого. Для линий Л1п и Л2п необходимо

применить к прокладке кабель АПвП-10 3(1×240) с $I_{дон} = 426$ А.

Произведем перерасчет токов КЗ с новым кабелем.

Действующие значение периодической составляющей тока КЗ в начальный момент времени, ударный ток КЗ и импульс квадратичного тока для точки К2 по выражениям:

$$I_{n0(K1)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,31^2 + (0,07 + 0,2 + 0,235)^2}} = 10,2 \text{ кА};$$

$$i_{y0} = \sqrt{2} \cdot 10,2 \cdot 1,6 = 23,1 \text{ кА}.$$

$$B_{\kappa(K1.1)} = 10,2^2 \cdot (0,4 + 0,04) = 45,8 \text{ кА}^2 \cdot \text{с};$$

$$B_{\kappa(K1.2)} = 10,2^2 \cdot (0,2 + 0,04) = 25 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

После пересчета токов КЗ с новым кабелем произведем повторную проверку кабелей на термическую стойкость. Результаты повторной проверки приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Проверка проводников на термическую стойкость токам КЗ

Обозначение	Проводник		Ток КЗ			$F_T, \text{ мм}^2$	Результаты выбора
	марка	сечение	$I_n, \text{ кА}$	$t_{омк}, \text{ с}$	$B_{\kappa} \cdot 10^6, \text{ А}^2 \cdot \text{с}$		
Л1п, Л2п	АПвП-10	3(1×240)	22,5	0,6	322,6	199,6	3(1×240)
Л1, Л2	АПвП-10	3×35	10,2	0,2	25	55,6	3×70
Л3, Л4	АПвП-10	3×35	10,2	0,2	25	55,6	3×70
Л5, Л6	АПвП-10	3×35	10,2	0,2	25	55,6	3×70
Л7, Л8	АПвП-10	3×35	10,2	0,2	25	55,6	3×70
Л9, Л10	АПвП-10	3×35	10,2	0,2	25	55,6	3×70

По результатам выбора составим результирующую таблицу сечений проводников распределительной сети предприятия (таблица 25).

Таблица 25 – Проводники распределительной сети 10кВ предприятия

Обозначение	Марка	Число жил и сечение	$I_{дон}, A$	Длина линии м	Способ прокладки
Л1п, Л2п	АПвП-10	3(1×240)	426	2500	В земле в траншее
Л1, Л2	АПвП-10	3×70	193	118	В воздухе на эстакадах
Л3, Л4	АПвП-10	3×70	193	225	
Л5, Л6	АПвП-10	3×70	193	30	
Л7, Л8	АПвП-10	3×70	193	78	
Л9, Л10	АПвП-10	3×70	193	415	

Вывод по разделу.

В данном разделе был произведен расчет токов короткого замыкания в питающей и распределительной сети завода. 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. На основании данных расчетов были скорректированы сечения кабельных линий, которые не проходили проверку воздействием токов короткого замыкания.

5 Выбор высоковольтного электрооборудования

Условия выбора электрооборудования представлены в таблицах 26-28.

Таблица 26 – 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	$U_{2н} \geq U_{пр}$
Нагрузка во вторичной цепи	$S_{2н} \geq S_p$

Таблица 27 – 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 28 – 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	$I_{2н} \geq I_{пр}$
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;

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

S_{np} – суммарная мощность подключенных приборов, ВА.

Сопротивление проводников от трансформатора тока до приборов:

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

где ρ – удельное сопротивление проводника, можно принять 0,0175 Ом·мм²/м;

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

F – сечение проводника, мм².

Перечень используемых измерительных приборов приведен в таблице 29.

Таблица 29 – перечень измерительных приборов

Наименование прибор	Тип прибора	S_{np} , 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.

РУ-10кВ будет выполнено в виде комплектного распреустройства. В качестве КРУ принимаем ячейки типа КРУ-СВЭЛ-10. Сравнение параметров представлено в таблице 30.

Таблица 30 – Выбор ячеек КРУ

Тип и место установки оборудования	Условия	Параметры КРУ	Расчетные данные	Единицы измерения
КРУ-СВЭЛ-10	$U_n \geq U_p$	12	10	кВ
	$I_n \geq I_p$	2000	182	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	125	23,1	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	$50^2 \cdot 3 = 7500$	45,8	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

В качестве коммутационного оборудования принимаем вакуумный выключатель ВВ/TEL фирмы Таврида-Электрик. В РУ-10кВ разъединители не предусмотрены т.к. выключатели будут находится на выкатных тележках. Условия выбора выключателя представлены в таблицах 31.

Таблица 31 – Выбор выключателя 10кВ

Тип и место установки оборудования	Условия	Параметры выключателя	Расчетные данные	Единицы измерения
ВВ/TEL-10	$U_n \geq U_p$	12	10	кВ
	$I_n \geq I_p$	630	182	А
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	32	23,1	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	470	45,8	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$I_{отк} \geq I_n$	12,5	10,2	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 ЗР-10. Выбор заземляющих ножей представлен в таблице 32.

Таблица 32 – Выбор заземляющего устройства

Тип оборудования	Условия	Параметры ЗН	Расчетные данные	Единицы измерения
ЗР-10	$U_n \geq U_p$	10	10	кВ
	$i_{дин} \geq i_{уд}$	50	23,1	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	600	45,8	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$

Произведем выбор измерительных трансформаторов тока и напряжения. К трансформаторам тока будут подключены амперметры. Паспортные данные выбранных приборов указаны в таблице 30. 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 ТОЛ-10. Условия выбора трансформаторов тока представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Выбор трансформаторов тока

Тип и место установки выключателя	Условия	Параметры ТТ	Расчетные данные	Единицы измерения
ТОЛ-10	$U_n \geq U_p$	10	10	кВ
	$I_{1н} \geq I_p$	30 - 300	15 - 182	А
	$I_{2н} \geq I_{np}$	5	5	А
	$i_{дин} \geq i_{yд}$	31,8	23,1	кА
	$I_{тер.н.}^2 \cdot t_{тер.н} \geq B_k$	1000	45,8	$\cdot 10^6, A^2 \cdot c$
	$S_{2н} \geq S_p$	20	4,4	ВА

В качестве измерительного трансформатора напряжения примем трансформатор типа ЗНОЛП-10. К трансформаторам напряжения будут подключены вольтметры и счетчик комплексный. Паспортные данные выбранных приборов указаны в таблице 34.

Таблица 34 – Выбор трансформатора напряжения

Тип и место установки оборудования	Условия	Параметры ТН	Расчетные данные	Единицы измерения
ЗНОЛП-10	Класс точности	0,2	0,2	-
	$U_n = U_p$	10	10	кВ
	$U_{2н} = U_{np}$	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 ТЗЛМ-1.

В качестве устройства защиты от перенапряжений примем ограничитель перенапряжений нелинейный ОПН/TEL-10 Таврида-Электрик.

Вывод по разделу.

В данном разделе был произведен выбор высоковольтного

оборудования. Выбор в общем случае производится по следующим параметрам: номинальный ток, номинальное напряжение, термическая стойкость, электродинамическая стойкость.

В ходе выполнения был определен состав оборудования, применяемый к установке. РУ-10кВ будет выполнено в виде комплектного распределительного устройства типа КРУ-СВЭЛ-10. В качестве коммутационного оборудования были приняты вакуумные выключатели ВВ/TEL фирмы Таврида-Электрик, выполненные на выкатных тележках.

В разделе определен необходимый состав измерительных приборов подстанции и выбраны измерительные трансформаторы тока и напряжения.

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

6 Расчет системы заземления и молниезащиты

Заземление - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством. Заземление применяется для защиты от поражения током, защиты электроаппаратуры от помех, для соединения металлических конструкций и сооружений, чтобы исключить возможность поражения током. Это достигается с помощью заземляющего устройства, основным элементом которого является заземлитель - металлоконструкция, врытая в землю. В производственных помещениях по контуру располагается шина заземления (стальная или медная полоса, связанная с заземлителем).

Сопротивление заземлителей зависит от удельного сопротивления, которое зависит от вида грунта. Удельное расчетное сопротивления грунта:

$$\rho_p = \rho \cdot K_{сез}, \quad (78)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$K_{сез}$ – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта, климатической зоны, вида заземлителя, принимается по таблице 1.13.2 [22].

Для расчёта заземляющего устройства предварительно определяются конфигурация заземлителя (в ряд, прямоугольник и т.п.), его тип, также сечение заземляющих проводников.

В зависимости от выбранного типа и сечения заземлителя, определяется его сопротивление растеканию тока $R_г$ по соответствующим формулам таблица 8.4 [7].

Предварительно необходимое количество вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{L_c}{a}; \quad (79)$$

где L_2 – длина горизонтального электрода, м;

a – расстояние между вертикальными заземлителями, которое выбирают равной одной, двум или трем длинам вертикальных заземлителей $a = (1 \dots 3) \cdot L_2$.

Далее рассчитывается сопротивление растеканию тока R_2 горизонтального электрода по соответствующим формулам таблица 8.4 [7]:

Затем определяется сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей:

$$R_u = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 \cdot \eta_2 + R_3 \cdot \eta_3 \cdot n}, \text{ Ом}; \quad (80)$$

где η_2 и η_3 – коэффициенты использования вертикальных и горизонтальных заземлителей соответственно, принимается по таблице 1.13.5 [22].

Полученное сопротивление искусственных заземлителей не должно превышать допустимого значения R_3 , которое определяется в зависимости от типа электроустановки по таблице 1.13.1 [22]:

$$R_u \leq R_3. \quad (82)$$

Для проектируемого здания цеха выберем в качестве вертикального электрода стальную трубу длиной $L_2 = 3$ м и диаметром $d = 15$ мм, верхние концы которых соединяются стальной полосой сечением 40×4 , уложенный в грунт (суглинок), при глубине $t = 0,7$ м. Здание размещено в третьей климатической зоне ($K_{сез} = 1,5$)

Выберем контурное размещение заземлителей. Контурное заземляющее устройство закладывается на расстоянии 2 м от здания, следовательно, длина горизонтального электрода по периметру закладки

равна:

$$L_2 = (A + 2) \cdot 2 + (B + 2) \cdot 2 = (54 + 2) \cdot 2 + (18 + 2) \cdot 2 = 152 \text{ м.}$$

Сопротивление заземлителей зависит от удельного сопротивления, которое зависит от вида грунта. Для суглинка расчетная величина удельного сопротивления:

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

Сопротивление растеканию тока вертикального заземлителя R_g для стальной трубы по соответствующе формуле таблицы 8.4 [5]:

$$R_g = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L_g} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot L_g}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4(L_g / 2 + t) + L_g}{4(L_g / 2 + t) + L_g} \right) \right) =$$
$$\frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 3}{0,015} + \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{4(3 / 2 + 0,7) + 3}{4(3 / 2 + 0,7) + 3} \right) \right) = 50,5 \text{ Ом.}$$

Зададимся условием, что расстояние между вертикальными заземлителями будет равно трёхкратной длине трубы вертикального заземлителя:

$$a = 3 \cdot L_g = 3 \cdot 3 = 9 \text{ м.}$$

Предварительно необходимое количество вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{152}{9} \approx 18.$$

Далее определяем сопротивление растеканию тока горизонтального электрода R_2 для стальной полосы по соответствующей формуле таблицы 8.4 [7]:

$$R_2 = \frac{\rho_p}{2 \cdot \pi \cdot L_2} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot L_2^2}{0,5 \cdot b \cdot t}\right) = \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 152} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot 152^2}{0,5 \cdot 0,004 \cdot 0,7}\right) = 2,72 \text{ Ом.}$$

По таблице 1.13.5 [22] принимаем значения коэффициентов использования вертикальных и горизонтальных заземлителей равными $\eta_1 = 0,71$ и $\eta_2 = 0,45$ соответственно.

Сопротивление искусственного заземлителя:

$$R_u = \frac{50,5 \cdot 2,72}{50,5 \cdot 0,71 + 2,72 \cdot 0,45 \cdot 20} = 2,4 \text{ Ом.}$$

Допустимое значение сопротивления заземляющего устройства для электроустановок напряжением сети 0,4кВ с глухозаземленной нейтралью составляет $R_3 = 4 \text{ Ом}$.

Расчетное значение сопротивления искусственного заземляющего устройства меньше допустимого значения, что соответствует ГОСТ 12.1.030-81.

В соответствии с инструкцией по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций (СО 153-34.21.122—2003) [19] и РД 34.21.122–87 [17] цех производства серной кислоты относится к I категории молниезащиты с уровнем надежности от прямых ударов молнии 0,99. Защита от прямых ударов молнии зданий и сооружений, относимых по устройству молниезащиты к I категории, должна выполняться отдельно стоящими стержневыми или тросовыми молниеотводами. Указанные молниеотводы должны обеспечивать зону защиты типа А. Искусственный заземлитель молниеотвода должен состоять не менее чем из трех

вертикальных электродов длиной не менее 3м, объединенных горизонтальным электродом, при расстоянии между вертикальными электродами не менее 5м. Наименьшее допустимое расстояние по воздуху от защищаемого объекта до опоры (токоотвода) стержневого или тросового молниеотвода для здания высотой не более 30м и при $\rho \leq 100$ Ом·м должно составлять не менее 3-х метров.

На основании этого молниезащиту выполним одиночным тросовым молниеотводом. Зона защиты одиночного тросового молниеотвода высотой h ограничена двухскатными поверхностями, образующими в вертикальном сечении равнобедренный треугольник с вершиной на высоте $h_0 < h$ и основание на уровне земли r_0 (рисунок 9).

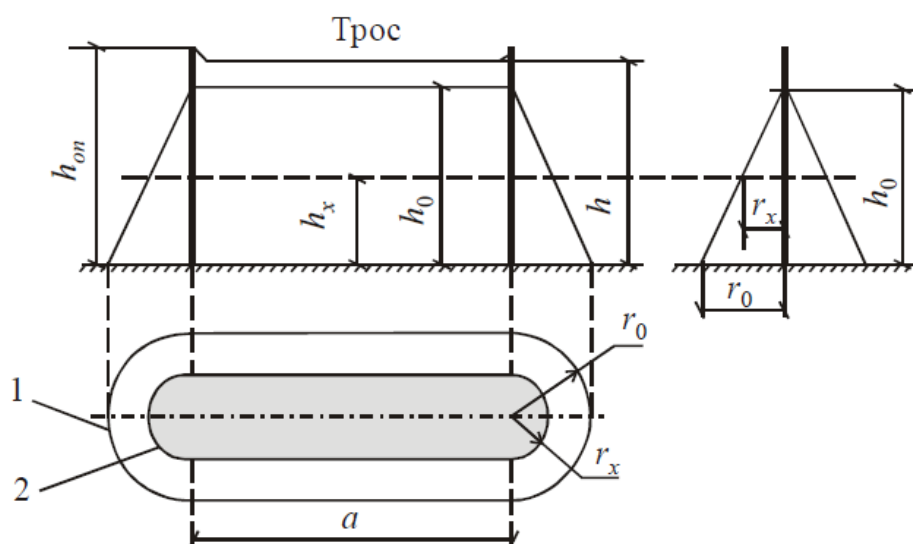


Рисунок 9 – Зона защиты одиночного тросового молниеотвода: 1 – граница зоны на уровне земли; 2 – то же на уровне h_x

При выборе молниеотвода сперва задаются его высотой h . При известной высоте защищаемого объекта h_x параметры зоны защиты для зоны А рассчитываются следующим образом:

$$h_0 = 0,85 \cdot h; \quad (83)$$

$$r_0 = (1,35 - 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot h) \cdot h; \quad (84)$$

$$r_x = (1,35 - 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot h) \cdot (h - 1,2 \cdot h_x). \quad (85)$$

После расчетная зона защиты сопоставляется с габаритными размерами защищаемого объекта. Если расчетные размеры зоны защиты меньше размеров объекта, то принимается молниеотвод большей высоты и производится пересчет зоны защиты.

Рассчитаем зону молниезащиты для цеха по производству серной кислоты. Примем высоту молниеотвода $h = 16$ м. Высота здания составляет $h_x = 7$ м. Параметры зоны защиты по выражениям (83)-(85):

$$h_0 = 0,85 \cdot 16 = 13,6 \text{ м.}$$

$$r_0 = (1,35 - 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 16) \cdot 16 = 21 \text{ м;}$$

$$r_x = (1,35 - 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 16) \cdot (16 - 1,2 \cdot 7) = 10 \text{ м.}$$

Строим на схеме защиты и проверяем графически вписываемость объекта здания цеха в зону защиты по высоте. Данная зона защиты полностью покрывает защищаемое здание. Следовательно, принимаем к установке отдельно стоящий одиночный тросовый молниеотвод.

Вывод по разделу.

В данном разделе производилось проектирование системы заземления и молниезащиты. Для системы заземления было принято контурное размещение заземлителей, которые закладывается на расстоянии 2 м от здания. Т.к. здание цеха производства серной кислоты относится к I категории молниезащиты с уровнем надежности от прямых ударов молнии 0,99, то система молниезащиты была реализована с помощью отдельно стоящими одиночным тросовым молниеотводами.

Заключение

Спроектированная система электроснабжения промышленного предприятия имеет следующую структуру. Подстанция получает питание от энергосистемы по кабельной линии электропередач длиной 2,5 км напряжением 10кВ. В качестве пункта приёма служит РП-10кВ. В качестве распределительного устройства среднего напряжения используется КРУ-10кВ со шкафами типа КРУ-СВЭЛ-10. Вся электроэнергия распределяется по цеховым трансформаторам 10/0,4кВ.

В результате проделанной работы были определены следующие параметры электроснабжения. Расчётные нагрузки потребителей производственного цеха и завода в целом 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 высоковольтные аппараты, а также проведена проверка КЛЭП на термическую стойкость.

В проекте производился расчёт внутреннего электроосвещения цеха производства серной кислоты. Для освещения помещения подстанции применены светильники с энергосберегающими светодиодными лампами типа ДСП.

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 используемой литературы

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. Елкин В.Д. Электрическое освещение: учебно-методическое пособие. Гомель : ГГТУ, 2020. 101 с.
6. Зоммер В.Г. AutoCAD 2008 Руководство чертежника, конструктора, архитектора. М. : Издательство БИНОМ, 2008. 805 с.
7. Карякин Р.Н. Нормы устройства сетей заземления. Москва : ФОРУМ, 2010. 240 с.
8. Каталог продукции ДСП 04 URL: <https://fereks.nt-rt.ru/images/manuals/Технические%20характеристики%20и%20модели%20светодиодных%20светильников%20ДСП%20Ех-ДСП.pdf> (дата обращения 30.10.2022)
9. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич 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. 363 с.

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. 173 с.
14. Радкевич В.Н., Козловская В.Б. Расчет электрических нагрузок промышленных предприятий: учебно-методическое пособие. Минск : БНТУ, 2013. 123 с.
15. Радкевич В.Н. Проектирование систем электроснабжения. Минск : НПО «Пион», 2001. 288 с.
16. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования.
17. РД 34.21.122–87 - Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений.
18. РТМ 36.18.32.4-92 «Указания к расчету электрических нагрузок», 1993.
19. СО 153-34.21.122 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций, 2003.
20. Сумаркова Л.П. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие. Томск : издательство Томского политехнического университета, 2012. 288 с.
21. Ус А. Г., Евминов Л. И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий. Минск : НПО «ПИОН», 2002. 457 с.
22. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению 2-е изд. ФОРУМ, 2011г. 202 с.