

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электрооборудование и электрохозяйство административно-производственного здания»

Студент(ка)

Е.В. Маряхин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.А. Кретов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина _____

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе была спроектирована система электроснабжения административно-производственного здания. Были произведены расчеты по определению ожидаемых нагрузок по зданию, номинальных токов.

В работе приведен выбор типов трансформаторов по приведённым общим затратам.

По рассчитанным значениям было выбрано защитное оборудование электроснабжения административно-производственного здания.

Также приводится расчет токов короткого замыкания с проверкой автоматических выключателей на способность противостоять воздействию ударных токов КЗ.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки объемом 47 страниц, дополняемой 4 таблицами и 2 рисунками.

Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика объекта	6
2 Расчет электрических нагрузок	8
3 Выбор силовых трансформаторов	18
4 Выбор оборудования сети административно-промышленного здания	27
5 Расчет токов короткого замыкания.....	35
6 Монтаж	42
Заключение.....	44
Список использованных источников.....	45

Введение

Неуклонный рост электропотребления предприятиями, организациями, учреждениями и другого рода потребителями в наши дни неразрывно связан с непрерывным совершенствованием технологий, улучшением оборудования и автоматизацией производственных процессов. Преимущественное большинство современных технологий используют в качестве источника энергии электроэнергию. Пренебрежение данным вопросом может привести к дефициту электрической энергии, что отрицательно скажется на энергопотреблении, а, следовательно, и на экономике.

Существует огромное разнообразие видов различных предприятий, организаций и учреждений, различающихся протекающими в них функциональными процессами, которые могут быть связаны с применением специального оборудования.

В связи с столь широкомасштабным использованием электроэнергии различными предприятиями, встает вопрос рационального проектирования систем электроснабжения, заключающийся в соответствии этих систем ряду требований. Электросистемы должны быть высокой надежности, экономичны, удобны в эксплуатации и безопасны, а также должны обеспечивать высокое качество электроэнергии. Экономичной систему электроснабжения делает не только низкие затраты на ее создание, но и низкие потери электроэнергии в процессе ее эксплуатации. Также при проектировании электрических систем должно предусматриваться дальнейшее техническое обслуживание, ремонт и совершенствование технологий эксплуатации.

Помимо общих требований, которым должны удовлетворять все организации, предприятия и учреждения, к ним предъявляется еще ряд специальных требований — санитарных и противопожарных, в том числе требований, обеспечивающих безопасную вынужденную эвакуацию людей из зданий. Способность обеспечивать все необходимые требования предъявляет

высокие требования к квалификации инженера, занятого проектированием электроснабжения конкретного предприятия.

В соответствии с вышесказанным, целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения административно-производственного здания, в котором расположены производственно-складская база с торговыми помещениями, административный центр, станция технического обслуживания автомобилей, автосалон и автомойка.

Основными задачами проектирования системы электроснабжения, являются:

- Определение величин и видов электрических нагрузок;
- Выбор рациональных схем внутрицехового электроснабжения и конструктивного исполнения электрических сетей;
- Определение требований к бесперебойности электроснабжения;
- Выбор числа и мощности трансформаторов;
- Выбор защитной аппаратуры;
- Выбор типа проводников и их сечений;
- Выбор устройств компенсации реактивной мощности.

1 Краткая характеристика объекта

Объектом проектирования является административно-производственное здание, в котором расположены производственно-складская база с торговыми помещениями, административный центр, станция технического обслуживания автомобилей, автосалон и автомойка.

Здание состоит из двух этажей общей площадью свыше трех тысяч квадратных метров. На первом этаже расположены автосалон, склад, станция технического обслуживания, автомойка и комнаты для персонала. Второй этаж отведен под офисные помещения.

Электроснабжение административно-производственного здания осуществляется от комплектной трансформаторной подстанции, расположенной вне здания на расстоянии 50 метров от него.

Потребители административно-производственного здания относятся ко второй категории надежности электроснабжения. Основными потребителями являются оборудование для ремонта и мойки автомобилей и офисная техника.

В таблице 1 представлен перечень оборудования административно-производственного здания. Паспортная мощность электропотребления указана для одного электроприемника.

Таблица 1 – Перечень электрооборудования административно-производственного здания.

Наименование электроприбора	$P_{\text{пасп}}, \text{кВт}$	п, штук
1	2	3
Однофазные		
Насос циркуляционный тип 1	0,107	2
Насос циркуляционный тип 2	0,136	2
Промышленный пылесос	1,05	3
Печь микроволновая	2,45	2
Шкаф сушильный	3,5	2
Плита электрическая	8,5	2

Продолжение таблицы 1

1	2	3
Комплект диагностический	0,2	1
Компьютер персональный	0,3	42
Кондиционер тип 1	2,05	5
Кондиционер тип 3	3,96	2
Трехфазные		
Ящик отключения вент системы при пожаре	1	1
Задвижка	0,18	1
Подъемник двухстоечный	2,2	5
Электровулканизатор	0,8	2
Станок точильно-шлифовальный	2,2	1
Автоматическая мойка колес	5,9	1
Компрессор передвижной	2,2	2
Стенд шиномонтажный	1,1	1
Стенд для балансировки колес	1,1	1
Подъемник четырехстоечный	4	1
Машина моечная	4,5	3
Подъемник двухстоечный	2,2	1
Установка для полуавтоматической сварки	2,8	1
Очистные сооружения	1,5	1
Завеса воздушная	0,75	9
Кондиционер тип 2	2,11	3
Кондиционер тип 4	3,83	2
Кондиционер тип 5	3,105	2
Приточная система тип 1	5,5	2
Приточная система тип 2	3	1
Тепловая завеса	5,5	1
Вытяжная система тип 1	5,5	1
Вытяжная система тип 2	0,75	1
Вытяжная система тип 3	2,2	1
Вытяжная система тип 4	0,06	1
Вытяжная система тип 5	2,03	1
Вытяжная система тип 6	0,18	1
Вытяжная система тип 7	0,55	1
Вытяжная система тип 8	0,11	1

2 Расчет электрических нагрузок

2.1 Расчет электрических нагрузок от силовых потребителей

Расчет производился по методу упорядоченных диаграмм [9, 16, 18, 19].

Распределим однофазные электроприемники равномерно между тремя фазами:

Распределим 5 кондиционеров первого типа с номинальной мощностью 2,05 кВт между тремя фазами, чтобы найти условную трехфазную мощность:

$$P_{ab}=4,1 \text{ кВт};$$

$$P_{ac}=4,1 \text{ кВт};$$

$$P_{bc}=2,05 \text{ кВт};$$

$$P_a = \frac{P_{ab} + P_{ac}}{2} = \frac{4,1 + 4,1}{2} = 4,1 \text{ кВт};$$

$$P_b = \frac{P_{ab} + P_{bc}}{2} = \frac{4,1 + 2,05}{2} = 3,08 \text{ кВт};$$

$$P_c = \frac{P_{bc} + P_{ac}}{2} = \frac{4,1 + 2,05}{2} = 3,08 \text{ кВт}.$$

Определяем величину неравномерности по формуле 1:

$$H = \frac{P_{\text{ф.наиб.}} - P_{\text{ф.наим.}}}{P_{\text{ф.наим.}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $P_{\text{ф.наиб.}}$ – мощность наиболее загруженной фазы, $P_{\text{ф.наим.}}$ – мощность наименее загруженной фазы.

$$H = \frac{4,1 - 3,08}{3,08} \cdot 100 = 33\%.$$

Так как величина неравномерности выше 15 %, условная трехфазная мощность принимается равной тройному значению мощности наиболее загруженной фазы:

$$P_y^3 = 3 \cdot 4,1 = 12,3 \text{ кВт.}$$

Расчет условной трехфазной мощности остальных однофазных электроприборов производился по аналогии.

Рассчитываем суммарную активную мощность каждой подгруппы трехфазных электроприёмников по формуле 2:

$$P_{H.\Sigma} = P_{НОМ} \cdot n, \quad (2)$$

где $P_{НОМ}$ – активная мощность отдельно взятого электроприемника, n – количество электроприемников в подгруппе.

Для каждого ЭП по [5, 6, 7, 8] выписываем соответствующие коэффициенты использования (k_u) и коэффициенты мощности ($\cos \phi$).

Определяем коэффициент силовой сборки по формуле 3:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}}, \quad (3)$$

где $P_{H.МАКС}$ – номинальная мощность самого мощного электроприемника,

$P_{H.МИН}$ – номинальная мощность самого маломощного электроприемника.

$$m = \frac{8,5}{0,06} = 141,67 \Rightarrow m > 3.$$

Определяем среднесменные активную и реактивную нагрузки для каждой подгруппы электроприёмников по формулам 4 и 5:

$$P_{CM} = K_{II} \cdot P_{H,\Sigma} , \quad (4)$$

где K_{II} – коэффициент использования электроприемника, $P_{H,\Sigma}$ – суммарная номинальная мощность подгруппы электроприемников.

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg} \phi . \quad (5)$$

Определяем средний коэффициент использования по формуле 6:

$$K_{II,CP} = \frac{\sum P_{CM}}{\sum P_{H,\Sigma}} ; \quad (6)$$

$$K_{II,CP} = \frac{123,42}{194,52} = 0,63 .$$

Определяем эффективное число электроприёмников по формуле 7:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum P_{H,\Sigma})^2}{\sum P_{H,\Sigma}^2} , \quad (7)$$

где $P_{H,\Sigma}$ – номинальная суммарная мощность группы электроприемников.

$$n_{\text{Э}} = 70 \text{ шт.}$$

По [9] определяем коэффициент максимума:

$$K_M = 1,08 .$$

Определяем расчётные активную и реактивную нагрузки электроприёмников по формулам 8 и 9:

$$P_p = K_M \cdot \sum P_{CM}; \quad (8)$$

$$P_p = 1,08 \cdot 123,42 = 133,29 \text{ кВт};$$

$$Q_p = \sum Q_{CM}; \quad (9)$$

$$Q_p = 198,38 \text{ квар.}$$

Определяем полную расчётную нагрузку по формуле 10:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}; \quad (10)$$

$$S_p = \sqrt{133,29^2 + 198,38^2} = 239 \text{ кВА.}$$

Определяем расчётный ток по формуле 11:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (11)$$

$$I_p = \frac{239}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 345,38 \text{ А.}$$

2.2 Расчет осветительной нагрузки

В процессе проектирования освещения административно-производственного здания производился выбор между установкой люминесцентных светильников или установкой светодиодных светильников.

Люминесцентные светильники широко распространены на промышленных предприятиях и в офисных помещениях в связи с тем, что имеют высокую светоотдачу, невысокое тепловыделение и умеренную цену. К

тому же они весьма долговечны. Но люминесцентные лампы имеют ряд весомых недостатков:

- дорогостоящий процесс обслуживания и утилизации;
- уязвимость перед перепадами питающего напряжения;
- низкое качество цветопередачи;
- негативное влияние частоты мерцания лампы на зрение людей.

В сравнении с люминесцентными светильниками светодиодные светильники в наше время менее распространены. Вероятнее всего это вызвано сравнительно высокой стоимостью светодиодных светильников. Но высокая цена этих светильников обусловлена теми преимуществами, что они дают, а именно:

- экономичность энергопотребления;
- экологичность обслуживания и утилизации;
- крайне высокий срок службы;
- возможность регулирования освещения путем снижения питающего напряжения;
- экономия электроэнергии за счет снижения потерь на проводах линий питания светильников;
- высокая контрастность и высокий индекс цветопередачи;
- мгновенное зажигание при подаче питающего напряжения и стабильная работоспособность при любой температуре;
- полное отсутствие вредного эффекта низкочастотных пульсаций.

В связи с тем, что освещение проектировалось в административно-производственном здании, в котором находятся офисные помещения, выбор был сделан в сторону светодиодных светильников. Работа в офисных помещениях требует высокой зрительной концентрации, поэтому одной из основных причин выбора светодиодных светильников являлось отсутствие их мерцания. Так же немаловажным преимуществом светодиодных светильников перед люминесцентными была экономичность и экологичность светодиодных светильников.

Расчет и проектирование освещения производились в программной среде DiaLux 4.7. К установке были приняты светодиодные светильники для внутренних помещений FOCUS Co. СПО-36/100.

Краткая характеристика светильника [11]:

FOCUS Co. СПО-36/100 Светодиодный светильник для внутренних помещений;

№ изделия: СПО-36/100;

Световой поток от светильников: 3833 Лм;

Мощность светильников: 39.0 Вт;

Классификация светильников по CIE: 100;

CIE Flux Code: 41 72 91 100 115.

Коэффициент запаса принят в зависимости от назначения помещения.

Для большинства помещений приняты следующие коэффициенты отражения: потолок - 70%; пол - 20%; стены - 50%.

Проектирование освещения производилось согласно [1, 2, 3].

Расчет и проектирование аварийного освещения производились согласно [1]. В качестве аварийных светильников были использованы отдельные светильники общего освещения FOCUS Co. СПО-36/100, запитанные дополнительно от щита аварийного освещения.

Эвакуационное освещение обеспечивает наименьшую освещенность на полу основных проходов и на ступенях лестниц с величиной освещенности 0,5 лк.

От аварийного щита также запитаны световые указатели выходов, представляющие из себя таблички «ВЫХОД», со встроенными в них источниками света.

Результатом расчетов в программной среде DiaLux 4.7 послужила величина рабочей активной мощности осветительной нагрузки, равная 11,27 кВт.

С помощью коэффициента мощности светильников $\cos\phi$ находим $\operatorname{tg}\phi$. При помощи $\operatorname{tg}\phi$ по формуле 12 определяем рабочую реактивную мощность осветительной нагрузки:

$$\begin{aligned}\cos\phi = 0,95 &\Rightarrow \operatorname{tg}\phi = 0,33 ; \\ Q_{p.осв} &= \operatorname{tg}\phi \cdot P_{p.осв} ,\end{aligned}\quad (12)$$

где $P_{p.осв}$ – рабочая активная мощность осветительной нагрузки.

$$Q_{p.осв} = 0,33 \cdot 11,27 = 3,72 \text{ квар.}$$

Определяем полную рабочую осветительную нагрузку по формуле 10:

$$S_{p.осв} = \sqrt{11,27^2 + 3,72^2} = 11,87 \text{ кВА.}$$

Определяем рабочий ток осветительной нагрузки по формуле 11:

$$I_{p.осв} = \frac{11,87}{1,73 \cdot 0,4} = 17,15 \text{ А.}$$

2.3 Расчет суммарных электрических нагрузок

Определяем суммарные активную и реактивную мощности по формулам 13 и 14:

$$P_{\Sigma} = P_P + P_{p.осв} ; \quad (13)$$

$$P_{\Sigma} = 133,29 + 11,27 = 144,56 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\Sigma} = Q_P + Q_{p.осв} ; \quad (14)$$

$$Q_{\Sigma} = 198,38 + 3,72 = 202,1 \text{ квар.}$$

Определяем полную суммарную нагрузку по формуле 10:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{144,56^2 + 202,1^2} = 248,48 \text{ кВА.}$$

Находим рабочий ток суммарной нагрузки по формуле 11:

$$I_{p.осв} = \frac{248,48}{1,73 \cdot 0,4} = 359,07 \text{ А.}$$

Результаты расчета электрических нагрузок сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета электрических нагрузок.

Наименование ЭП	P_n , кВт	n , штук	$P_n \Sigma$, кВт	K_i	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, квар	$n_э$	K_m	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Однофазные															
Насос циркуляционный тип 1	0,107	2	0,321	0,75	0,33	2,85	–	0,24	0,69	–	–	–	–	–	–
Насос циркуляционный тип 2	0,136	2	0,408	0,75	0,33	2,84	–	0,31	0,87	–	–	–	–	–	–
Промышленный пылесос	1,05	3	3,15	0,4	0,34	2,78	–	1,26	3,50	–	–	–	–	–	–
Печь микроволновая	2,45	2	7,35	0,5	0,33	2,82	–	3,68	10,36	–	–	–	–	–	–
Шкаф сушильный	3,5	2	10,5	0,6	0,33	2,83	–	6,30	17,81	–	–	–	–	–	–
Плита электрическая	8,5	2	25,5	0,7	0,56	1,48	–	17,85	26,41	–	–	–	–	–	–
Комплект диагностический Компьютер персональный	0,2 0,3	1 42	12,8	0,85	0,33	2,82	–	10,88	30,68	–	–	–	–	–	–
Кондиционер тип 1	2,05	5	12,3	0,6	0,33	2,82	–	7,38	20,83	–	–	–	–	–	–
Кондиционер тип 3	3,96	2	11,88	0,6	0,33	2,83	–	7,13	20,16	–	–	–	–	–	–
Трёхфазные															
Ящик откл вентиляционной системы при пожаре	1	1	1	0,2	0,34	2,78	–	0,20	0,56	–	–	–	–	–	–
Задвижка	0,18	1	0,18	0,45	0,41	2,19	–	0,08	0,18	–	–	–	–	–	–
Подъемник двухстоечный	2,2	5	11	0,55	0,80	0,76	–	6,05	4,59	–	–	–	–	–	–
Электровулканизатор	0,8	2	1,6	0,4	0,81	0,72	–	0,64	0,46	–	–	–	–	–	–
Станок точно-шлифовальный	2,2	1	2,2	0,14	0,33	2,82	–	0,31	0,87	–	–	–	–	–	–
Автоматическая мойка колес	5,9	1	5,9	0,8	0,80	0,75	–	4,72	3,52	–	–	–	–	–	–
Компрессор передвижной	2,2	2	4,4	0,8	0,80	0,76	–	3,52	2,67	–	–	–	–	–	–
Стенд шиномонтажный	1,1	1	1,1	0,55	0,80	0,76	–	0,61	0,46	–	–	–	–	–	–
Стенд для балансировки колес	1,1	1	1,1	0,55	0,80	0,76	–	0,61	0,46	–	–	–	–	–	–
Подъемник четырехстоечный	4	1	4	0,55	0,81	0,72	–	2,20	1,59	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Машина моечная	4,5	3	13,5	0,8	0,81	0,74	–	10,80	7,95	–	–	–	–	–	–
Подъемник двухстоечный	2,2	1	2,2	0,55	0,80	0,76	–	1,21	0,92	–	–	–	–	–	–
Установка для полуавтоматической сварки	2,8	1	2,8	0,2	0,80	0,74	–	0,56	0,41	–	–	–	–	–	–
Очистные сооружения	1,5	1	1,5	0,3	0,81	0,71	–	0,45	0,32	–	–	–	–	–	–
Завеса воздушная	0,75	9	6,75	0,65	0,53	1,62	–	4,39	7,10	–	–	–	–	–	–
Кондиционер тип 2	2,11	3	6,33	0,6	0,64	1,20	–	3,80	4,57	–	–	–	–	–	–
Кондиционер тип 4	3,83	2	7,66	0,6	0,68	1,09	–	4,60	4,99	–	–	–	–	–	–
Кондиционер тип 5	3,105	2	6,21	0,6	0,70	1,01	–	3,73	3,75	–	–	–	–	–	–
Приточная система тип 1	5,5	2	11	0,6	0,73	0,94	–	6,60	6,22	–	–	–	–	–	–
Приточная система тип 2	3	1	3	0,6	0,68	1,07	–	1,80	1,93	–	–	–	–	–	–
Тепловая завеса	5,5	1	5,5	0,65	0,69	1,06	–	3,58	3,79	–	–	–	–	–	–
Вытяжная система тип 1	5,5	1	5,5	0,7	0,69	1,06	–	3,85	4,09	–	–	–	–	–	–
Вытяжная система тип 2	0,75	1	0,75	0,7	0,67	1,10	–	0,53	0,58	–	–	–	–	–	–
Вытяжная система тип 3	2,2	1	2,2	0,7	0,59	1,36	–	1,54	2,09	–	–	–	–	–	–
Вытяжная система тип 4	0,06	1	0,06	0,7	0,29	3,25	–	0,04	0,14	–	–	–	–	–	–
Вытяжная система тип 5	2,03	1	2,03	0,7	0,62	1,28	–	1,42	1,82	–	–	–	–	–	–
Вытяжная система тип 6	0,18	1	0,18	0,7	0,33	2,82	–	0,13	0,36	–	–	–	–	–	–
Вытяжная система тип 7	0,55	1	0,55	0,7	0,63	1,24	–	0,39	0,48	–	–	–	–	–	–
Вытяжная система тип 8	0,11	1	0,11	0,7	0,33	2,82	–	0,08	0,22	–	–	–	–	–	–
Итого															
Без освещения и розеточной сети	$\frac{8,5}{0,06}$	70	194,52	0,63	–	–	>3	123,42	198,38	70	1,08	133,29	198,38	239,00	345,38
Осветительная нагрузка	–	–	–	–	0,95	0,33	–	–	–	–	–	11,27	3,72	11,87	17,15
Розеточная сеть	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,24	–	–	–
Итого на ШНН												147,8	202,10	250,38	361,82

3 Выбор силовых трансформаторов

Исходными данными для расчета и выбора силовых трансформаторов являются расчетные активная, реактивная и полная мощности:

$$P_p = 147,26 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 202,1 \text{ квар};$$

$$S_p = 250,06 \text{ кВА}.$$

Расположенные в здании потребители относятся ко II категории электроснабжения, поэтому к установке принимаем двухтрансформаторную комплектную трансформаторную подстанцию. В связи с этим коэффициент запаса принимаем равный 0,8.

Выбор производился из двух вариантов:

Вариант А: Двухтрансформаторная комплектная трансформаторная подстанция с трансформаторами ТМ-160/10/0,4 – У1;

Вариант Б: Двухтрансформаторная комплектная трансформаторная подстанция с трансформаторами ТМ-250/10/0,4 – У1.

3.2 Вариант А

Рассмотрим вариант двухтрансформаторной комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами ТМ-160/10/0,4 – У1.

По каталогу [12] определяем параметры трансформатора:

$$\Delta P_{xx} = 0,41 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 2,9 \text{ кВт};$$

$$U_{кз} = 4,7 \text{ \%};$$

$$S_n = 160 \text{ кВА};$$

$$i_0 = 1,5 \text{ \%}.$$

Находим потери в трансформаторе по формулам 15 и 16:

$$\Delta P_{T\Sigma} = N_T \cdot P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз} ; \quad (15)$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = N_T \cdot i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз} \cdot \frac{S_H}{100} , \quad (16)$$

где N_T – количество трансформаторов, P_{xx} - потери холостого хода, $P_{кз}$ – потери короткого замыкания, K_3 – коэффициент запаса, i_0 – ток холостого хода, $U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания.

$$\Delta P_{T\Sigma} = 2 \cdot (0,41 + 0,8^2 \cdot 2,9) = 4,53 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = 2 \cdot (1,5 + 0,8^2 \cdot 4,7) \cdot \frac{160}{100} = 14,43.$$

По формулам 17 и 18 определяем расчетную нагрузку по зданию с учетом активных и реактивных потерь в трансформаторах:

$$P_p = P_p + \Delta P_{T\Sigma}; \quad (17)$$

$$Q_p = Q_p + \Delta Q_{T\Sigma} , \quad (18)$$

где P_p – активная мощность, $\Delta P_{T\Sigma}$ – активные потери в трансформаторе, Q_p – реактивная мощность, $\Delta Q_{T\Sigma}$ – реактивные потери в трансформаторе.

$$P_p = 147,8 + 4,53 = 152,33 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 202,1 + 14,43 = 216,53 \text{ квар}.$$

Определим реактивную мощность в часы минимума нагрузки по формуле 19:

$$Q_{\min} = Q_P \cdot 0,5, \quad (19)$$

где Q_P – реактивная расчётная нагрузка здания с учётом потерь в трансформаторе.

$$Q_{\min} = 216,53 \cdot 0,5 = 108,27 \text{ квар.}$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы найдем по формулам 20 и 21:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0,7 \cdot Q_{\text{сд}}; \quad (20)$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_P, \quad (21)$$

где $\alpha=0,28$, $Q_{\text{сд}} = 0$, Q_P – реактивная расчетная нагрузка корпуса с учётом потерь в трансформаторе, P_P – активная расчетная нагрузка корпуса с учётом потерь в трансформаторе.

$$Q'_{\text{э1}} = 216,53 - 0,7 \cdot 0 = 216,53 \text{ квар.};$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 152,33 = 41,75 \text{ квар.}$$

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений.

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок находим по формулам 22 и 23:

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}; \quad (22)$$

$$Q''_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{КД}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{P}} - Q_{\text{э}1}, \quad (23)$$

где Q_{min} – реактивная мощность в часы минимума нагрузки, Q_{P} – реактивная расчётная нагрузка корпуса с учётом потерь в трансформаторе, $Q_{\text{э}1}$ – значение реактивной мощности в часы максимума энергосистемы.

$$Q'_{\text{э}2} = 108,27 + 0 = 108,27 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э}2} = 108,27 - 216,53 - 41,75 = -66,51 \text{ квар}.$$

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений.

По формулам 24 и 25 находим суммарную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_{\text{P}} - Q_{\text{э}1}; \quad (24)$$

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э}2}, \quad (25)$$

где Q_{P} – реактивная расчётная нагрузка здания с учётом потерь в трансформаторах, $Q_{\text{э}1}$ – значение реактивной мощности в часы максимума энергосистемы, Q_{min} – реактивная мощность в часы минимума нагрузки, $Q_{\text{э}2}$ – значение реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок.

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot 216,53 - 41,75 = 196,43 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{ку. min}} = 108,27 - 108,27 = 0 \text{ квар}.$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ, находим по формуле 26:

$$Q_T = \sqrt{N_T \cdot K_3 \cdot S_n^2 - P_p^2}, \quad (26)$$

где N_T – количество трансформаторов, K_3 – коэффициент запаса, S_T – мощность трансформатора, P_p – активная расчетная нагрузка.

$$Q_T = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 160^2 - 202,1^2} = 157,14 \text{ квар.}$$

По формуле 27 находим мощность компенсирующих устройств, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{КУ.н} = Q_p - Q_T \text{ квар}, \quad (27)$$

где Q_p – реактивная расчётная нагрузка здания с учётом потерь в трансформаторе, Q_T – переданная из сети 10 кВ реактивная мощность в сеть с напряжением до 1 кВ.

$$Q_{КУ.н} = 202,1 - 157,14 = 44,96 \text{ квар.}$$

Установка КУ на стороне 10 кВ нецелесообразна.

Общие затраты на установку комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами ТМ-160/10/0,4 – У1 находятся по формуле 28:

$$Z_{КТП} = E \cdot K_{ТП} + C \cdot \Delta P_T \cdot N_T, \quad (28)$$

где E – суммарный коэффициент отчисления от капиталовложения в КТП, $K_{ТП}$ – стоимость КТП и двух трансформаторов, C – удельная стоимость максимальных активных нагрузочных потерь.

Найдем $K_{ТП}$ по формуле 29:

$$K_{ТП} = K_{КТП} + K_T \cdot N_T, \quad (29)$$

где $K_{КТП}$ – стоимость комплектной трансформаторной подстанции без учета стоимости трансформаторов, K_T – стоимость одного трансформатора, N_T – количество трансформаторов.

$$K_{ТП} = 284 + 120 \cdot 2 = 524 \text{ тыс. руб.}$$

$C \cdot \Delta P_T$ находится по формуле 30:

$$C \cdot \Delta P_T = C_0 \cdot \Delta P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз}. \quad (30)$$

Найдем удельную стоимость потерь холостого хода C_0 трансформатора по формуле 31:

$$C_0 = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot T_p, \quad (31)$$

где α – основная ставка двухставочного тарифа, β – дополнительная плата за 1 кВт·час потреблённой электроэнергии; T_p – время работы трансформатора в году; T_M – время использования максимальной нагрузки предприятия в год.

$$C_0 = \left(\frac{12 \cdot 441}{4500} + 18 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 11,88 \text{ тыс. руб/кВт·год};$$

$$C \cdot \Delta P_T = 11,88 \cdot 0,41 + 0,049 \cdot 0,8^2 \cdot 2,9 = 4,69 \text{ тыс. руб.}$$

Общие затраты составят:

$$Z_{клт} = 0,223 \cdot 524 + 4,96 \cdot 2 = 126,772 \text{ тыс. руб.}$$

3.3 Вариант Б

Рассмотрим вариант двухтрансформаторной комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами ТМ-250/10/0,4 – У1.

По каталогу [12] определяем параметры трансформатора:

$$\Delta P_{xx} = 0,61 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 3,7 \text{ кВт};$$

$$U_{кз} = 4,5 \text{ \%};$$

$$S_n = 250 \text{ кВА};$$

$$i_0 = 1,9 \text{ \%}.$$

Находим потери в трансформаторе по формулам 15 и 16:

$$\Delta P_{T\Sigma} = 2 \cdot (0,61 + 0,8^2 \cdot 3,7) = 5,96 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = 2 \cdot (1,9 + 0,8^2 \cdot 4,5) \cdot \frac{250}{100} = 23,9.$$

По формулам 17 и 18 определяем расчетную нагрузку по зданию с учетом активных и реактивных потерь в трансформаторах:

$$P_p = 147,8 + 5,96 = 153,76 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 202,1 + 23,9 = 226 \text{ квар.}$$

Определим реактивную мощность в часы минимума нагрузки по формуле 19:

$$Q_{\min} = 226 \cdot 0,5 = 113 \text{ квар.}$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы найдем по формулам 20 и 21:

$$Q'_{\text{э1}} = 226 - 0,7 \cdot 0 = 226 \text{ квар;}$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 153,76 = 42,15 \text{ квар.}$$

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений.

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок находим по формулам 22 и 23:

$$Q'_{\text{э2}} = 113 + 0 = 113 \text{ квар;}$$

$$Q''_{\text{э2}} = 113 - 226 - 42,15 = -70,85 \text{ квар.}$$

Из-за повышенного напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем большее из значений.

По формулам 24 и 25 находим суммарную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot 226 - 42,15 = 206,45 \text{ квар;}$$

$$Q_{\text{ку. min}} = 113 - 113 = 0 \text{ квар.}$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ, находим по формуле 26:

$$Q_T = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 250^2 - 202,1^2} = 345,19 \text{ квар.}$$

По формуле 27 находим мощность компенсирующих устройств, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{КУ.н} = 202,1 - 345,19 = -143,09 \text{ квар.}$$

Установка КУ на стороне 10 кВ нецелесообразна.

Общие затраты на установку комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами ТМ-250/10/0,4 – У1 находятся по формуле 28:

Найдем $K_{ТП}$ по формуле 29:

$$K_{ТП} = 286 + 162,2 \cdot 2 = 610,4 \text{ тыс. руб.}$$

$C \cdot \Delta P_T$ находится по формуле 30:

Найдем удельную стоимость потерь холостого хода C_0 трансформатора по формуле 31:

$$C_0 = \left(\frac{12 \cdot 441}{4500} + 18 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 11,88 \text{ тыс. руб./кВт·год};$$

$$C \cdot \Delta P_T = 11,88 \cdot 0,61 + 0,049 \cdot 0,8^2 \cdot 3,7 = 7,37 \text{ тыс. руб.}$$

Общие затраты составят:

$$Z_{КТП} = 0,223 \cdot 610,4 + 7,37 \cdot 2 = 150,86 \text{ тыс. руб.}$$

По результатам расчетов выбор был сделан в сторону варианта А – установке двухтрансформаторной комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами ТМ-160/10/0,4 – У1.

4 Выбор оборудования сети административно-промышленного здания

Для предварительного выбора автоматических выключателей, устройств защитного отключения (УЗО) и кабельных линий необходимо найти расчетные значения номинальных токов. Для их нахождения произведем разделение и распределение электроприборов по распределительным пунктам. Роль распределительного пункта заключается в безопасном и эффективном распределении электроэнергии по всему зданию [20]. Распределительные пункты используются в качестве центра управления распределением для размещения автоматических выключателей, шин, а также концевых соединений, которые являются частью системы распределения электроэнергии [17].

Результаты расчета нагрузок с учетом разделения электроприборов по распределительным пунктам сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчета нагрузок с учетом разделения ЭП по РП

Наименование ЭП	Рн, кВт	п, штук	РнΣ, кВт	Ки	cosφ	tgφ	м	Рсм, кВт	Qсм, квар	пэ	Км	Рр, кВт	Qр, квар	Sp, кВА	Ip, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РП1															
Подъемник двухстоечный	2,2	5	11	0,55	0,80	0,76		6,05	4,59	—	—	—	—	—	—
Итого по РП1 без освещения и розеточной сети	$\frac{2,2}{2,2}$	5	11	0,55	—	—	< 3	6,05	4,59	5	1,49	9,01	5,05	10,33	14,93
Осветительная нагрузка	—	—	—	—	0,95	0,33	—	—	—	—	—	1,87	0,62	1,97	2,85
Розеточная сеть	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,6	—	—	—
Итого по РП1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11,49	5,66	12,81	18,51
РП2															
Электровулканизатор	0,8	2	1,6	0,4	0,81	0,72	—	0,64	0,46	—	—	—	—	—	—
Станок точно-шлифовальный	2,2	1	2,2	0,14	0,33	2,82	—	0,31	0,87	—	—	—	—	—	—
Автоматическая мойка колес	5,9	1	5,9	0,8	0,80	0,75	—	4,72	3,52	—	—	—	—	—	—
Компрессор передвижной	2,2	1	2,2	0,8	0,80	0,76	—	1,76	1,33	—	—	—	—	—	—
Стенд шиномонтажный	1,1	1	1,1	0,55	0,80	0,76	—	0,61	0,46	—	—	—	—	—	—
Стенд для балансировки колес	1,1	1	1,1	0,55	0,80	0,76	—	0,61	0,46	—	—	—	—	—	—
Подъемник четырехстоечный	4	1	4	0,55	0,81	0,72	—	2,2	1,59	—	—	—	—	—	—
Итого по РП2 без освещения и розеточной сети	$\frac{5,9}{0,8}$	8	18,1	0,60	—	—	> 3	10,84	8,69	8	1,3	14,09	9,56	17,03	24,60
Осветительная нагрузка	—	—	—	—	0,95	0,33	—	—	—	—	—	0,43	0,14	0,45	0,65
Розеточная сеть	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	—	—	—
Итого по РП2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14,82	9,70	17,71	25,59
РП3															
Компрессор передвижной	2,2	1	2,2	0,8	0,80	0,76	—	1,76	1,33	—	—	—	—	—	—
Промышленный пылесос	1,05	3	3,15	0,4	0,34	2,78	—	1,26	3,50	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Машина моечная	4,5	3	13,5	0,8	0,81	0,74	—	10,8	7,95	—	—	—	—	—	—
Итого по РПЗ без освещения и розеточной сети	$\frac{4,5}{1,05}$	7	18,85	0,73			$\frac{>}{3}$	13,82	12,79	7	1,17	16,17	14,07	21,43	30,97
Осветительная нагрузка	—	—	—	—	0,95	0,33	—	—	—	—	—	0,16	0,05	0,16	0,24
Розеточная сеть	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,3	—	—	—
Итого по РПЗ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16,63	14,12	21,81	31,52
РП4															
Печь микроволновая	2,45	1	2,45	0,5	0,33	2,82	—	3,68	10,36	—	—	—	—	—	—
Подъемник двухстоечный	2,2	1	2,2	0,55	0,80	0,76	—	1,21	0,92	—	—	—	—	—	—
Установка для полуавтоматической сварки	2,8	1	2,8	0,2	0,80	0,74	—	0,56	0,41	—	—	—	—	—	—
Шкаф сушильный	3,5	2	10,5	0,6	0,33	2,83	—	6,30	17,81	—	—	—	—	—	—
Плита электрическая	8,5	1	8,5	0,7	0,56	1,48	—	5,95	8,80	—	—	—	—	—	—
Очистные сооружения	1,5	1	1,5	0,3	0,81	0,71	—	0,45	0,32	—	—	—	—	—	—
Итого по РП4 без освещения и розеточной сети	$\frac{8,5}{1,5}$	7	27,95	0,65	—	—	$\frac{>}{3}$	18,15	38,62	7	1,27	23,04	42,48	48,33	69,84
Осветительная нагрузка	—	—	—	—	0,95	0,33	—	—	—	—	—	0,16	0,05	0,16	0,24
Розеточная сеть	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,42	—	—	—
Итого по РП4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23,62	42,53	48,65	70,31
РП5															
Печь микроволновая	2,45	1	2,45	0,5	0,33	2,82	—	3,68	10,36	—	—	—	—	—	—
Плита электрическая	8,5	1	8,5	0,7	0,56	1,48	—	5,95	8,80	—	—	—	—	—	—
Компьютер персональный	0,3	42	12,8	0,85	0,33	2,82	—	10,88	30,68	—	—	—	—	—	—
Итого по РП5 без освещения и розеточной сети	$\frac{8,5}{0,3}$	44	23,75	0,86	—	—	$\frac{>}{3}$	20,51	49,84	44	1,03	21,12	49,84	54,13	78,22

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Осветительная нагрузка	—	—	—	—	0,95	0,33	—	—	—	—	—	2,81	0,93	2,96	4,27
Розеточная сеть	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,66	—	—	—
Итого по РП5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24,59	50,77	56,41	81,52
РП6															
Завеса воздушная	0,75	9	6,75	0,65	0,53	1,62	—	4,39	7,10	—	—	—	—	—	—
Итого по РП6 без освещения	$\frac{0,75}{0,75}$	9	6,75	0,65	—	—	< 3	4,39	7,1	9	1,23	5,40	7,81	9,49	13,72
Осветительная нагрузка	—	—	—	—	0,95	0,33	—	—	—	—	—	1,56	0,51	1,64	2,37
Итого по РП6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,96	8,32	10,85	15,68
РП7															
Кондиционер тип 1	2,05	5	12,3	0,6	0,33	2,82	—	3,69	10,41	—	—	—	—	—	—
Кондиционер тип 3	3,96	2	11,88	0,6	0,33	2,83	—	7,13	20,16	—	—	—	—	—	—
Кондиционер тип 2	2,11	3	6,33	0,6	0,64	1,20	—	3,80	4,57	—	—	—	—	—	—
Кондиционер тип 4	3,83	2	7,66	0,6	0,68	1,09	—	4,60	4,99	—	—	—	—	—	—
Кондиционер тип 5	3,105	2	6,21	0,6	0,70	1,01	—	3,73	3,75	—	—	—	—	—	—
Приточная система тип 1	5,5	2	11	0,6	0,73	0,94	—	6,6	6,22	—	—	—	—	—	—
Приточная система тип 2	3	1	3	0,6	0,68	1,07	—	1,8	1,93	—	—	—	—	—	—
Итого по РП7 без освещения и розеточной сети	$\frac{5,5}{2,05}$	17	58,38	0,54	—	—	< 3	31,34	52,04	17	1,2	37,61	52,04	64,21	92,78
Осветительная нагрузка	—	—	—	—	0,95	0,33	—	—	—	—	—	2,46	0,81	2,59	3,74
Розеточная сеть	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,66	—	—	—
Итого по РП7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	40,72	52,85	66,72	96,42
РП8															
Тепловая завеса	5,5	1	5,5	0,65	0,69	1,06	—	3,58	3,79	—	—	—	—	—	—
Вытяжная система тип 1	5,5	1	5,5	0,7	0,69	1,06	—	3,85	4,09	—	—	—	—	—	—

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Вытяжная система тип 2	0,75	1	0,75	0,7	0,67	1,10	—	0,53	0,58	—	—	—	—	—	—
Вытяжная система тип 3	2,2	1	2,2	0,7	0,59	1,36	—	1,54	2,09	—	—	—	—	—	—
Вытяжная система тип 4	0,06	1	0,06	0,7	0,29	3,25	—	0,04	0,14	—	—	—	—	—	—
Вытяжная система тип 5	2,03	1	2,03	0,7	0,62	1,28	—	1,42	1,82	—	—	—	—	—	—
Вытяжная система тип 6	0,18	1	0,18	0,7	0,33	2,82	—	0,13	0,36	—	—	—	—	—	—
Вытяжная система тип 7	0,55	1	0,55	0,7	0,63	1,24	—	0,39	0,48	—	—	—	—	—	—
Вытяжная система тип 8	0,11	1	0,11	0,7	0,33	2,82	—	0,08	0,22	—	—	—	—	—	—
Итого по РП8 без освещения	$\frac{5,5}{0,11}$	9	16,88	0,68	—	—	$\frac{>}{3}$	11,54	13,56	9	1,19	13,73	14,92	20,28	29,30
Осветительная нагрузка	—	—	—	—	0,95	0,33	—	—	—	—	—	1,72	0,57	1,81	2,61
Итого по РП8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15,45	15,48	21,87	31,61

В качестве силовых кабелей были выбраны кабели марки ВВГнг и ВВГнг-LS. Кабели выбирались по каталогу [13].

В качестве автоматических выключателей были выбраны выключатели серии ВА. Выбор производился по каталогу [14].

Выбор устройств защитного отключения производился по каталогу [15]. Установка УЗО в линиях, питающих стационарное оборудование и светильники, а также в общих осветительных сетях, как правило, не требуется [4]. На групповые линии, питающие розеточные сети, были выбраны УЗО с номинальным током срабатывания 30 мА.

Выбор всех силовых кабелей, устройств защитного отключения и автоматических выключателей представлен в виде таблицы 4. За рабочие токи электроприборов были приняты номинальные токи, взятые из технических паспортов.

Таблица 4 – Используемые силовые кабели и автоматические выключатели

	Ip, А	Выбранный кабель	Выбранный автоматический выключатель	Номинальный ток выключателя	Выбранное УЗО
1	2	3	4	5	6
КТП - ВРУ	359,07	ВВГнг 4х185	ВА51-35М3-34	400	-
ВРУ - РП1	17,73	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	20	-
ВРУ - РП2	25,23	ВВГнг 5х2.5	ВА51-35М1-34	31,5	-
ВРУ - РП3	31,19	ВВГнг 5х4	ВА51-35М1-34	31,5	-
ВРУ - РП4	70,01	ВВГнг 5х16	ВА51-35М1-34	80	-
ВРУ - РП5	81,10	ВВГнг 5х16	ВА51-35М1-34	100	-
ВРУ - РП6	15,68	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	-
ВРУ - РП7	95,84	ВВГнг 5х25	ВА51-35М1-34	100	-
ВРУ - РП8	31,61	ВВГнг 5х4	ВА51-35М1-34	40	-
Насос циркуляционный тип 1	0,49	ВВГнг 3х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50225
Насос циркуляционный тип 2	0,62	ВВГнг 3х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50225
Ящик отключения вентиляционной системы при пожаре	4,5	ВВГнг-LS 3х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50225
Задвижка	0,18	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425
Подъемник двухстоечный	4,2	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425
Электровулканизатор	1,5	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425
Станок точношлифовальный	10	ВВГнг 3х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50225
Автоматическая мойка колес	11,2	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425
Компрессор передвижной	4,2	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425
Стенд шиномонтажный	2,1	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425
Стенд для балансировки колес	2,1	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425
Подъемник четырехстоечный	7,5	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425
Машина моечная	8,5	ВВГнг 5х1.5	ВА51-35М1-34	16	A9R50425

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
Промышленный пылесос	4,7	ВВГнг 3х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50225
Установка для полуавтоматической сварки	5,3	ВВГнг 5х4	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Печь микроволновая	11,1	ВВГнг 3х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50225
Комплект диагностический	0,9	ВВГнг 3х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50225
Плита электрическая	23	ВВГнг 3х4	BA51-35M1-34	25	A9R50225
Шкаф сушильный	15,9	ВВГнг 3х1.5	BA51-35M1-34	20	A9R50225
Очистные сооружения	2,8	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Компьютер персональный	1,36	ВВГнг 3х2.5	BA51-35M1-34	16	-
Завеса воздушная	2,17	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Кондиционер тип 1	9,3	ВВГнг-LS 3х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50225
Кондиционер тип 2	5,02	ВВГнг-LS 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Кондиционер тип 3	18	ВВГнг-LS 3х2.5	BA51-35M1-34	20	A9R50225
Кондиционер тип 4	8,6	ВВГнг-LS 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Кондиционер тип 5	6,7	ВВГнг-LS 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Приточная система тип 1	11,5	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Приточная система тип 2	6,7	ВВГнг-LS 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Тепловая завеса	12,2	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Вытяжная система тип 1	12,2	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Вытяжная система тип 2	1,7	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Вытяжная система тип 3	5,65	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Вытяжная система тип 4	0,31	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Вытяжная система тип 5	5,02	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Вытяжная система тип 6	0,82	ВВГнг 3х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50225
Вытяжная система тип 7	1,33	ВВГнг 5х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50425
Вытяжная система тип 8	0,5	ВВГнг-LS 3х1.5	BA51-35M1-34	16	A9R50225

5 Расчет токов короткого замыкания

Для проверки правильности предварительного выбора защитной аппаратуры необходимо определять токи короткого замыкания (КЗ).

Трехфазное КЗ принимается как расчетный вид КЗ при проверке защитной аппаратуры.

Произведем расчет трехфазного КЗ для трех точек (К1, К2, К3), расположенных между КТП и самым мощным электроприемником, расположенным в здании, – электрической плитой.

Расчет производился основываясь на методе симметричных составляющих [10].

5.1 Параметры расчётной схемы

Трансформатор Т:

ТМ - 160; схема соединения обмоток Y/Y_H ; $S_n = 160$ кВА; $U_{H BH} = 10$ кВ;
 $U_{H HH} = 0,4$ кВ; $U_K = 4,7$ %; $R_T = 16,6$ мОм; $X_T = 41,7$ мОм.

Автоматический выключатель АВ1:

ВА51-35МЗ-34; $R_{AB1} = 1,17$ мОм; $X_{AB1} = 0,066$ мОм.

Автоматический выключатель АВ2:

ВА51-35М1-34; $R_{AB2} = 12,1$ мОм; $X_{AB2} = 0,2$ мОм.

Автоматический выключатель АВ3:

ВА51-35М1-34; $R_{AB2} = 12,1$ мОм; $X_{AB2} = 0,2$ мОм.

Автоматический выключатель АВ4:

ВА51-35М1-34; $R_{AB2} = 12,1$ мОм; $X_{AB2} = 0,2$ мОм.

Кабельная линия КЛ1:

кабель ВВГнг 4x185; $l = 50$ м; $R_{yд} = 0,1$ мОм/м; $X_{yд} = 0,059$ мОм/м;
 $R_{кЛ1} = 50 \cdot 0,1 = 5$ мОм; $X_{кЛ1} = 0,059 \cdot 50 = 2,95$ мОм.

Трансформатор тока ТТ1:

$$R_{ТТ1} = 1,7 \text{ мОм}; X_{ТТ1} = 2,1 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ2:

$$R_{ТТ2} = 30 \text{ мОм}; X_{ТТ2} = 20 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2:

$$\text{кабель ВВГнг 4x16}; l = 51 \text{ м}; R_{уд} = 1,12 \text{ мОм/м}; X_{уд} = 0,068 \text{ мОм/м};$$

$$R_{КЛ2} = 51 \cdot 1,12 = 57,12 \text{ мОм}; X_{КЛ2} = 51 \cdot 0,068 = 3,47 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ3:

$$\text{кабель ВВГнг 3x4}; l = 17 \text{ м}; R_{уд} = 4,63 \text{ мОм/м}; X_{уд} = 0,107 \text{ мОм/м};$$

$$R_{КЛ3} = 17 \cdot 4,63 = 78,71 \text{ мОм}; X_{КЛ3} = 17 \cdot 0,107 = 1,82 \text{ мОм}.$$

5.2 Расчёт токов КЗ

На рисунках 1 и 2 соответственно приведены электрическая схема и схема замещения для расчётов токов КЗ на разных участках сети.

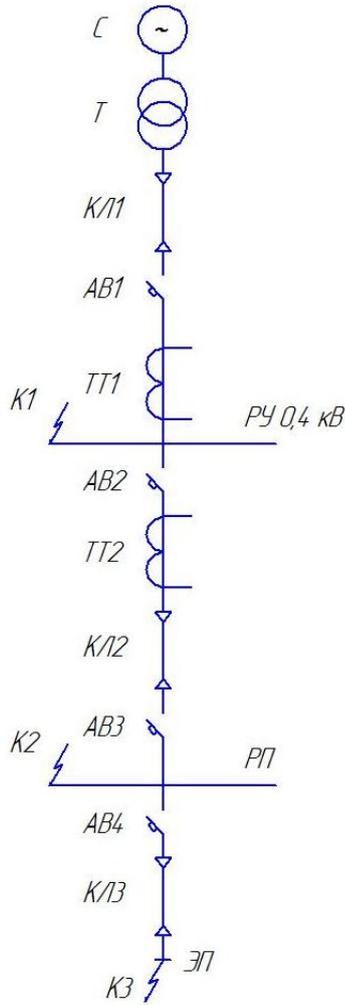


Рисунок 1 – Расчётная электрическая схема

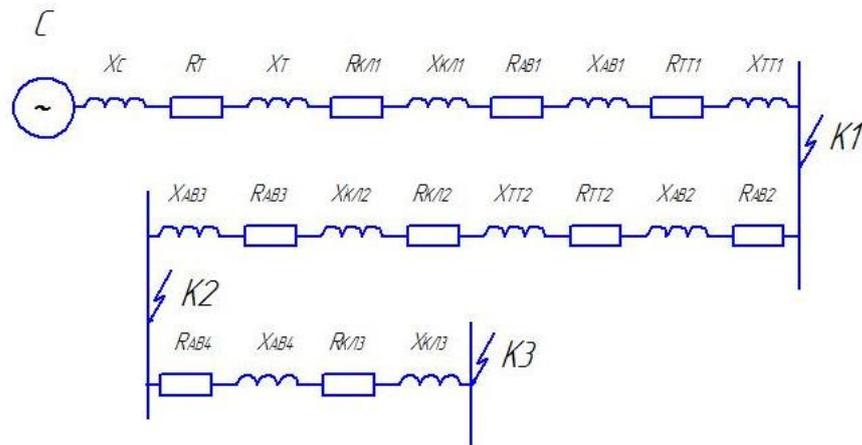


Рисунок 2 – Схема замещения

K1:

$$R_{\Sigma K1} = R_T + R_{KЛ1} + R_{AB1} + R_{TT1}; \quad (32)$$

$$R_{\Sigma K1} = \frac{(16,6 + 5 + 1,17 + 1,7)}{1000} = 0,024 \text{ Ом};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_C + X_T + X_{AB} + X_{TT1}; \quad (33)$$

$$X_{\Sigma K1} = \frac{1,6 + 41,7 + 2,95 + 0,066 + 2,1}{1000} = 0,048 \text{ Ом};$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}; \quad (34)$$

$$Z_{\Sigma K1} = \sqrt{0,024^2 + 0,048^2} = 0,054 \text{ Ом}.$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{H HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}}; \quad (35)$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,054} = 4,28 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

Ударный коэффициент определяется отношением индуктивного сопротивления к активному:

$$\frac{X_{\Sigma K1}}{R_{\Sigma K1}} = 2 \Rightarrow K_{y K1} = 1,2; \quad (36)$$

$$i_{y K1} = \sqrt{2} \cdot K_{y K1} \cdot I_{K1}^{(3)}; \quad (37)$$

$$i_{y K1} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 4,28 = 7,24 \text{ кА}.$$

K2:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K1} + R_{TT2} + R_{AB2} + R_{AB3} + R_{KJ2} ; \quad (38)$$

$$R_{\Sigma K2} = \frac{24 + 30 + 12,1 + 12,1 + 57,12}{1000} = 0,135 \text{ Ом};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K1} + X_{TT2} + X_{AB2} + X_{AB3} + X_{KJ2} ; \quad (39)$$

$$X_{\Sigma K2} = \frac{48 + 20 + 0,2 + 0,2 + 3,47}{1000} = 0,072 \text{ Ом};$$

$$Z_{\Sigma R2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} ; \quad (40)$$

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,135^2 + 0,072^2} = 0,153 \text{ Ом}.$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{H HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} ; \quad (41)$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,153} = 1,51 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 0,53 \Rightarrow K_{y K2} = 1,02 ;$$

$$i_{y K2} = 1,51 \cdot 1,02 = 1,54 \text{ кА}.$$

К3:

$$R_{\Sigma K3} = R_{\Sigma K2} + R_{AB4} + R_{KJ3} ; \quad (42)$$

$$R_{\Sigma K3} = \frac{159 + 78,71 + 12,1}{1000} = 0,25 \text{ Ом};$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{\Sigma K2} + X_{AB4} + X_{KL3}; \quad (43)$$

$$X_{\Sigma K3} = \frac{72 + 1,82 + 0,2}{1000} = 0,074 \text{ Ом};$$

$$Z_{\Sigma R3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2}; \quad (44)$$

$$Z_{\Sigma R3} = \sqrt{0,25^2 + 0,074^2} = 0,26 \text{ Ом}.$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}}; \quad (45)$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,26} = 0,89 \text{ кА}.$$

Ударный ток:

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 0,3 \Rightarrow K_{yK3} = 1; \quad (46)$$

$$i_{yK3} = 0,89 \text{ кА}.$$

5.3 Проверка оборудования

По расчётным ударным токам КЗ в выбранных трёх точках проверяем пригодность автоматических выключателей.

По ударному току КЗ точки К1 проверяем выключатели ВА51-35М3-34. Выбранный автоматический выключатель рассчитан на ударный ток до 20 кА и, следовательно, выбран верно.

$$K1: \quad i_{yK1} = 7,24 \text{ кА} \leq i_{yAB} = 20 \text{ кА};$$

По ударному току КЗ точки К2 проверяем выключатели ВА51-35М1-34. Выбранный автоматический выключатель рассчитан на ударный ток до 20 кА и, следовательно, выбран верно.

$$K2: \quad i_{yK2} = 1,54 \text{ кА} \leq i_{yAB} = 20 \text{ кА}.$$

По ударному току КЗ точки К3 проверяем выключатели ВА51-35М1-34. Выбранный автоматический выключатель рассчитан на ударный ток до 6 кА и, следовательно, выбран верно.

$$K3: \quad i_{yK3} = 0,89 \text{ кА} \leq i_{yAB} = 6 \text{ кА}.$$

6 Монтаж

К установке приняты электрические розетки с третьим заземляющим контактом отличительной окраски: красного цвета – розетки компьютерной сети; белого цвета – остальные розетки.

Высота установки над уровнем чистого пола:

- электрошкафов – 1,8 м (до верхней кромки кожуха);
- пусковой аппаратуры – 1,5 м;
- розеток – 0,8 м.

Питающая и распределительные сети выполняются:

- кабелем ВВГнг по стенам в коробах со степенью защиты IP44, в лотках по кабельным конструкциям;
- кабелем ВВГнг – LS по кабельным конструкциям за подвесным потолком;
- кабелем ВВГнг в полиэтиленовых трубах в бетонной подготовке пола;

Контрольные сети выполняются кабелем марки ВВГнг – LS.

Для заземления электрооборудования используется заземляющее устройство, состоящее из вертикальных заземлителей (уголок 50x50x5), соединенных между собой стальной полосой 4x40 на глубине 0,7 м.

Для заземления электрооборудования в электрощитовой предусматривается открытая прокладка по стенам электропомещения заземляющего проводника из полосовой стали 4x25 мм, присоединенного к контуру повторного заземления нулевого провода. Все соединения должны быть выполнены сваркой.

Здание салона по устройству молниезащиты относится ко II категории.

Для защиты от прямых ударов молнии в качестве молниеприемника используется металлическая кровля здания, которая через металлические

колонны присоединяется к арматуре ж/б фундаментов. Все соединения следует выполнять при помощи сварки.

Все выступающие над кровлей металлические устройства вентиляционной шахты и т.п. должны быть присоединены к металлической кровле здания.

Металлические нетоковедущие части, которые могут оказаться под напряжением соединить с нулевым защитным проводником РЕ.

Заключение

В процессе выполнения выпускной квалификационной работы была спроектирована система электроснабжения для административно-производственного здания, в котором расположены производственно-складская база с торговыми помещениями, административный центр, станция технического обслуживания автомобилей, автосалон и автомойка. Нагрузка по зданию с учетом освещения составила 250,38 кВА, расчетный ток $I_p=361,82$ А.

Были произведены необходимые расчеты для определения числа и мощности трансформаторов. Выбор производился из 2 вариантов:

Вариант А: Двухтрансформаторная комплектная трансформаторная подстанция с трансформаторами ТМ-160/10/0,4 – У1;

Вариант Б: Двухтрансформаторная комплектная трансформаторная подстанция с трансформаторами ТМ-250/10/0,4 – У1.

По результатам расчетов выбор был сделан в сторону варианта А – установке двухтрансформаторной комплектной трансформаторной подстанции с трансформаторами ТМ-160/10/0,4 – У1.

Питание электроприемников осуществляется медными кабелями марки ВВГнг от восьми РП, которые также запитаны кабелями ВВГнг от ВРУ.

В качестве защиты электроприемников выбраны автоматы ВА51-35.

Произведен расчет токов короткого замыкания, основанный на методе симметричных составляющих.

Расчет производился в 3 точках схемы: на вводных контактах ВРУ 0,4 кВ, на контактах РП4, на контактах самого мощного электроприёмника.

Рассчитаны ударные токи КЗ: $i_{yK1} = 7,24$ кА; $i_{yK2} = 1,54$ кА; $i_{yK3} = 0,89$ кА. Полученные данные были сравнены с паспортными данными автоматов, все автоматы были подобраны правильно.

Список использованных источников

1. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*. Свод правил [Текст]. – Введ. 2011 – 20 – 05. – М. : Минрегион России, 2011 – 68 с.
2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Санитарные правила и нормы [Текст]. – Введ. 2003 – 30 – 06. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997 – 43 с.
3. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений: Санитарные правила и нормы [Текст]. – Введ. 1996 – 01 – 10. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 11 с.
4. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 нормы [Текст]. – Введ. 2003 – 01 – 01. – М. : ЗАО «Энергосервис», 2002. – 980 с.
5. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: учебное пособие / В.П. Шеховцов. – Москва, 2005.
6. Кабышев, А.В. Электроснабжение объектов: учебное пособие / А.В.Кабышев. – Томск: ТПУ, 2009.
7. Вахнина, В.В. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: методические указания по курсовому проектированию / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2008.
8. Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие для вузов / В.В. Вахнина.- Тольятти: ТГУ, 2011.
9. Вахнина, В.В. Электроснабжение промышленных предприятий и городов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2007.
10. Ушакова, Н.Ю. Метод симметричных составляющих [Текст]: методические указания к самостоятельному изучению раздела курса ТОЭ и к

выполнению расчетно-графического задания / Н.Ю.Ушакова, Л.В.Быковская. – Оренбург : ОГУ, 2010. – 59 с.

11. Каталог светодиодных светильников Фокус [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Фокус – М., 2016. – 32 с.

12. Трансформаторы силовые с масляной и сухой изоляцией [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Электроцит Самара. – Самара., 2016. – 112 с.

13. Самарская кабельная компания. Каталог продукции [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Самарская кабельная компания. – Самара., 2016. – 76 с.

14. Автоматические выключатели [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель КЭАЗ – М., 2014. – 69 с.

15. Acti 9 [Текст] : каталог : разработчик и изготовитель Schneider Electric – М., 2016. – 426 с.

16. Wayne Beaty H. Handbook Of Electric Power Calculations, Third edition [Text] / H. Wayne Beaty. – USA, McGraw-Hill Education, 2000. – 529 p.

17. Patrick Dale R. Electrical Distribution Systems, Second edition [Text] / R. Patrick Dale, W. Fardo Stephen – Lilburn, USA, The Fairmont Press, 2009. – 476 p.

18. Sheldrake Alan L. Handbook of Electrical Engineering edition [Text] / L. Sheldrake Alan. – Bangalore, India, John Wiley & Sons, 2003 – 624 p.

19. Billings K. Switchmode Power Supply Handbook, Third edition [Text] / K. Billings, T. Morey. – USA, McGraw-Hill Education, 2011. – 849 p.

20. Csanyi E. Electrical Power Systems in Buildings [Text] / E. Csanyi // Electrical Archtoolbox: Architect's Technical Reference. 2014. – <http://www.archtoolbox.com/materials-systems/electrical/electrical-power-systems.html> (дата обращения 19.02.16)