

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)

Электроснабжение
(направленность (профиль))

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение отдельно стоящего торгово-офисного центра»

Студент(ка)

Д.П. Савин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.И. Платов

(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

Целью бакалаврской работы является разработка системы электроснабжения вновь проектируемого отдельно стоящего трехэтажного торгово-офисного здания, с площадью одного этажа 205,45 м².

В работе выполнены необходимые расчеты по определению электрических нагрузок; расчет потерь мощности и электроэнергии; компенсация реактивной мощности; поддержание требуемого качества напряжения; выбор числа и мощности трансформаторов; выбор защитных аппаратов и сечений проводников

Выполнен расчет токов короткого замыкания с проверкой автоматических выключателей на способность противостоять воздействию ударных токов КЗ, расчет высоковольтного кабеля, расчет заземления.

Проект выполнен в соответствии с требованиями методических и руководящих материалов по проектированию электроснабжения промышленных предприятий, требований правил ПУЭ, ПТБ и ПТЭ в электроустановках, другой справочной, нормативной и методической литературой.

В графической части работы на шести форматах А1 представлены планы электроосвещения, принципиальные электрические схемы электроснабжения, планы магистральных электрических цепей.

Пояснительная записка содержит 54 страницы, 10 рисунков, 7 таблиц.

Содержание

Введение.....	6
1 Характеристика объекта проектирования.....	8
1.1 Общие сведения об объекте проектирования.....	8
1.2 Выбор способа выполнения силовой сети	9
2 Расчет электрических нагрузок	11
3 Расчет освещения.....	16
3.1 Выбор источника света	16
3.2 Выбор расположения и установки светильников.....	16
4 Выбор мощности силового трансформатора	26
5 Расчет токов короткого замыкания.....	32
6 Выбор аппаратов защиты и силовых сетей.....	39
6.1 Выбор автоматических выключателей и распределительных щитов	39
6.2 Расчет питающих линий.....	43
6.3 Выбор коммутационной аппаратуры	46
6.4 Расчет заземления	47
7 Молниезащита здания.....	50
Заключение.....	52
Список использованной литературы.....	53

Введение

В настоящее время электрическая энергия является наиболее широко используемой формой энергии. Это обусловлено относительной легкостью ее получения, преобразования, передачи на большое расстояние и распределения между приемниками.

Для передачи электроэнергии на большие расстояния с минимальными потерями необходимы большие напряжения линий. Генераторы выдают недостаточно высокое напряжение, приёмники также нуждаются в низком напряжении. Для преобразований напряжений необходимы подстанции. [1, 2]

Электростанции при помощи электрических линий (через подстанции) связывают друг с другом для параллельной работы на общую нагрузку. Такая совокупность электростанций, подстанций и приемников электрической энергии, связанных между собой линиями электропередачи, называется энергетической системой (ЭЭС). Подстанция - узлы электрической сети, именно поэтому очень важно правильно выбрать оборудование и схемы электрических соединений, чтобы достичь максимальной надёжности, экономичности, простоты эксплуатации и строительства. [3]

Главные понизительные подстанции и цеховые подстанции желательно выполнять с числом трансформаторов не более двух. Для потребителей третьей и частично второй категории, возможно рассматривать варианты установки одного трансформатора с осуществлением резервного питания от соседней трансформаторной подстанции.

В зависимости от установленной мощности приемников электроэнергии различают объекты большой (75-100 МВт и более), средней (от 5-7 до 75 МВт) и малой (до 5 МВт) мощности. Для предприятий малой и средней мощности, как правило, применяют схемы электроснабжения с одним приемным пунктом электроэнергии (ГПП, ГРП, ТП). Если имеются потребители первой категории, то предусматривают секционирование шин приемного пункта и питание каждой секции по отдельной линии.

Наиболее дешевыми являются схемы с отделителями и короткозамыкателями. [4]

Число секций зависит от числа подключений и принятой схемы внутризаводского распределения электроэнергии. В большинстве случаев число секций не превышает двух. Каждая секция работает отдельно и получает питание от отдельной линии или трансформатора. В нормальном режиме работы секционный аппарат (разъединитель или выключатель) отключен.

Применение секционного выключателя обеспечивает автоматическое включение резерва (АВР), что позволяет использовать такую схему для потребителей любой категории по надежности. [5,6]

С целью уменьшения потребляемой реактивной мощности в сетях промышленного назначения устанавливают компенсирующие устройства.

При сооружении цеховых трансформаторных подстанций предпочтение следует отдавать комплексным трансформаторным подстанциям (КТП), полностью изготовленным на заводах. [7]

Целью бакалаврской работы является разработка системы электроснабжения вновь проектируемого отдельно стоящего торгово-офисного здания.

Основными задачами электроснабжения являются следующие: выбор рациональных схем и конструктивного исполнения электрических сетей; определение электрических нагрузок; расчет потерь мощности и электроэнергии; компенсация реактивной мощности; поддержание требуемого качества напряжения; выбор числа и мощности трансформаторов; выбор защитных аппаратов и сечений проводников; учет потребляемой мощности и электроэнергии; рациональное использование электроэнергии.

1 Характеристика объекта проектирования

1.1 Общие сведения об объекте проектирования

Проектируемое торгово-офисное здание оснащено различными видами оргтехники (персональные компьютеры, копиры, принтеры, модемы и т.п) и соответствующей инженерной инфраструктурой (система вентиляции, охранная и пожарная сигнализации), необходимыми для офисной деятельности торгового предприятия. Также в здании имеется небольшая кухня/буфет и обеденный зал для удобства работающего персонала (электрическая плита, холодильник).

Здание трёхэтажное, площадь каждого этажа 205,45 м².

Так как планируемая в офисном здании деятельность не может повлечь за собой при отключении электроэнергии опасность для жизни человека или расстройство сложного технологического процесса и т.п. (что относится к 1 категории надежности электроснабжения), не скажется на нормальной жизнедеятельности большого количества граждан и т.п. (что относится ко 2 категории надежности электроснабжения), выбираем для проектируемого здания 3 категорию надежности электроснабжения (срок прекращения подачи электричества - не более 24 часов подряд и не более 72 часов за год суммарно). Для повышения сохранности информации персональные компьютеры должны иметь собственные индивидуальные бесперебойные блоки питания (если в этом конечно есть необходимость). [8]

Электроснабжение офисного здания будет осуществляться от ТП, расположенной на расстоянии 50 м от здания.

Основные потребители электроэнергии сведены в таблицу 1.1.

По роду тока в проектируемом здании применяются электроприемники, работающие от сети переменного тока нормальной промышленной частоты (50 Гц).

Таблица 1.1- Потребители электроэнергии

Наименование потребителей	Установленная мощность Руст, кВт	Сos φ	Категория надежности электро-снабжения
1 этаж			
Организационная техника– 3 рабочих места	3x0,6=1,8	0,92	III
Вентилятор вытяжной с двигателем АИР-63-4А	0,25	0,74	III
Холодильник бытовой	0,28	0,83	III
Плита электрическая	12,0	0,98	III
Освещение	5,7	См. табл. 3.2	III
2 этаж			
Организационная техника– 7 рабочих мест	7x0,6=4,2	0,92	III
Освещение	4,4	См. табл. 3.2	III
3 этаж			
Организационная техника– 6 рабочих мест	6x0,6=3,6	0,92	III
Освещение	4,1	См. табл. 3.2	III

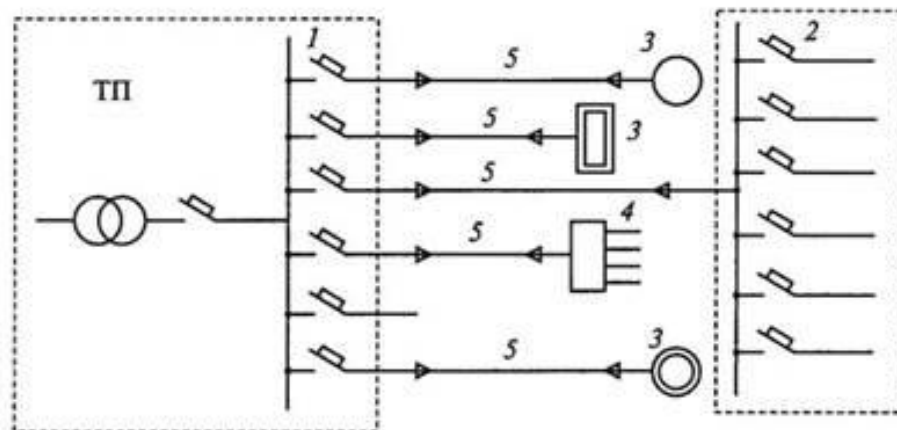
Внутреннее электроснабжение здания будет выполнено на трехфазное напряжение 0,4 кВ.

1.2 Выбор способа выполнения силовой сети

Внутренние сети выполним по радиальной схеме (см. рисунок 1.1).

Выбор радиальной схемы обусловлен наличием отдельных узлов достаточно больших по величине сосредоточенных нагрузок, по отношению к

которым подстанция занимает более или менее центральное местоположение. В нашем случае узлов пять: главный распределительный щит, щит освещения (3 шт), щит силовой (для компьютеров). [9]



1— распределительный щит; 2 — силовой распределительный пункт (РП);
3 — электроприемник; 4 — щит освещения; 5 — кабельная линия

Рисунок 1.1- Радиальная схема питания офисного здания

К достоинствам выбранной радиальной схемы электроснабжения отнесли высокую надежность (авария на одной линии не влияет на работу приемников, получающих питание по другой линии) и удобство автоматизации. К недостаткам- малую экономичность из-за значительного расхода проводникового материала.

2 Расчет электрических нагрузок

Общие положения определение расчетной нагрузки на различных ступенях системы электроснабжения рекомендуется проводить по методу упорядоченных диаграмм. Расчетная активная нагрузка группы силовых трехфазных электроприемников на всех степенях питающих и распределительных сетей находится по средней нагрузке и коэффициенту максимума.

При приведенном числе электроприемников и числе фактических электроприемников, также рекомендуется использовать упрощенные методы расчета. Информация о коэффициентах использования K и коэффициентах мощности $\cos\phi$ для отдельных электроприемников приводится в справочниках. Из-за большого многообразия наименований электроприемников, не для всех можно найти справочные данные. В этом случае они принимаются равными соответствующим данным для электроприемников, схожих по режиму работы. Выбор освещения помещений, выбор мощности светильников производится в соответствии с нормами проектирования искусственного освещения. Метод коэффициента использования является базовым методом ручного расчета освещения и широко применяется в проектной практике, позволяя быстро оценить предлагаемое решение.

Основными допущениями метода являются: однородность (т.е. равномерное распределение) светимости отражающих поверхностей (как вторичных излучателей), окружающих освещаемое помещение; диффузность (т.е. ламбертовский характер) светимости этих поверхностей; усреднение коэффициентов отражения по отражающим поверхностям.

В ходе расчета ожидаемых нагрузок найдём суммарную мощность и ток по всему зданию, на основании этого выберем комплектную трансформаторную подстанцию. Для нахождения суммарной мощности используем формулу (2.1)

$$P_{n\Sigma} = P_n \cdot n, \quad (2.1)$$

где: $P_{n\Sigma}$ - мощность потребляемая группой одинаковых электроприёмников;

P_n - паспортная мощность одного электроприёмника;

n - количество электроприёмников.

Отношение максимальной паспортной мощности электроприёмника к минимальной паспортной мощности электроприёмника m , определяется по формуле (2.2)

$$m = \frac{P_{н.мах}}{P_{н.мин}}, \quad (2.2)$$

Групповой коэффициент использования электроприёмника k_u определяется по формуле (2.3)

$$k_u = \frac{\sum P_c}{\sum P_n} \quad (2.3)$$

где $\sum P_c$ - сумма среднесменных мощностей,

$\sum P_n$ - сумма паспортных мощностей.

Среднесменная мощность электроприёмника P_c , Вт, определяется по формуле (2.4)

$$P_c = k_u \cdot \sum P_n, \quad (2.4)$$

Реактивная среднесменная мощность электроприёмника Q_c , вар, определяется по формуле (2.5)

$$Q_c = tg\varphi \cdot P_c, \quad (2.5)$$

где $tg\varphi$ - отношение реактивной мощности к активной мощности электроприёмника.

Средний тангенс угла между током и напряжением электроприёмников $tg\varphi_{cp}$ определяется по формуле (2.6)

$$tg\varphi_{cp} = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c}, \quad (2.6)$$

где $\sum Q_c$ - суммарная реактивная мощность электроприёмников,

$\sum P_c$ - суммарная активная мощность электроприёмников.

Эффективное число электроприёмников n_e , определяется по формуле (2.7)

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_H}{P_{\text{Н.наиб}}}, \quad (2.7)$$

Расчетная мощность электроприёмников P_p , Вт, определяется по формуле (2.8)

$$P_p = \sum P_c \cdot \kappa_M, \quad (2.8)$$

где κ_M - коэффициент максимума, выбирается из таблицы, исходя из данных $n_{\text{э}}$ и m .

Реактивная расчётная мощность Q_p , вар, для случая когда число эффективных электроприёмников меньше 10 определяется по формуле (2.9)

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum P_c \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ср}} \quad (2.9)$$

Реактивная расчётная мощность Q_p , вар, для случая когда число эффективных электроприёмников больше 10 определяется по формуле (2.9)

$$Q_p = \sum P_c \cdot \text{tg} \varphi_{\text{ср}} \quad (2.9)$$

Полная расчетная мощность всех электроприёмников S_p , ВА, определяется по формуле (2.10)

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.10)$$

где U_H - номинальное напряжение равное 0,4 кВ;

I_p - расчетный ток (2.11)

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.11)$$

Если устройства однофазные, то необходимо разместить все устройства распределенно по фазам, чтобы создать равномерную нагрузку по фазам, используя формулы (2.12, 2.13, 2.14):

$$P_A = \frac{P_{AB} + P_{AC}}{2} \quad (2.12)$$

$$P_B = \frac{P_{BC} + P_{AB}}{2} \quad (2.13)$$

$$P_C = \frac{P_{BC} + P_{AC}}{2} \quad (2.14)$$

где А,В,С – названия фаз.

После необходимо рассчитать коэффициент неравномерности (2.15)

$$H = \frac{P_{\phi_наиб} - P_{\phi_наим}}{P_{\phi_наим}} \cdot 100, \quad (2.15)$$

Если коэффициент неравномерности больше 0,15, то используют формулу (2.16), если коэффициент неравномерности меньше 0,15, то используют формулу (2.17)

$$P_{усл} = 3 \cdot P_{\phi_наиб}, \quad (2.16)$$

$$P_{усл} = P_A + P_B + P_C. \quad (2.17)$$

Результаты приведены в таблице 2.1.

Также в таблицу 2.1 вносятся результаты расчета освещения, выполненные в разделе 3.

Произведя расчет предварительной нагрузки, можно приступить к выбору трансформаторной подстанции, исходя из полной расчетной мощности.

Таблица 2.1- Расчет электрических нагрузок ЭП

№ п/п	Наименование электроприемников (ЭП)	Кол во ЭП	Установ- ленная мощность приведен- ная к ПВ=100%		Ки	m	$\underline{\cos\varphi}$ $\text{tg}\varphi$	Средняя нагрузка		n_3	K_μ	Расчетная нагрузка			Iр, А
			Од но- го ЭП	Всех ЭП				Рс, кВт	Qс, квар			Рр, кВт	Qр, квар	Sр, кВ А	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Холо- дильник бытовой	1	0,28	0,28	0,85	-	<u>0,83</u> 0,67	0,238	0,159						
4	Плита электри- ческая	1	12,0	12,0	1,0	-	<u>0,98</u> 0,20	12,0	2,4						
5	Венти- лятор вытяж- ной	1	0,25	0,25	0,65	-	<u>0,74</u> 0,91	0,162	0,147						
6	Орг.тех- ника (рабочее место)	16	0,6	9,6	1,0	-	<u>0,92</u> 0,42	9,6	4,032						
	Итого по зданию без освеще- ния	19	<u>0,25</u> 12,0	22,13	0,8 75	>3	- /0,55	22	6,738	3,6	1,11	21,3 6	7,4 1	22, 61	59, 33
	Освеще- ние											8,9 44	3,4 31	9,5 8	25, 14
	Итого по зданию с освеще- нием											30,3 04	10, 841	32, 19	84, 47

3 Расчет освещения

3.1 Выбор источника света

Выбор источника света определяется комплексом факторов, основные из которых - характер работы (световая отдача, срок службы, спектральные характеристики), условия среды и размеры помещения.

При выборе между различными типами ламп освещения учитываются также требования к качеству освещения.

3.2 Выбор расположения и установки светильников

Рассчитаем электрическое освещение одного из помещений офисного здания - № 16 Отдел эксплуатации, площадью 30 м^2 (рисунок 3.1). Освещенность данного помещения по нормам не должна превышать 300 лк.

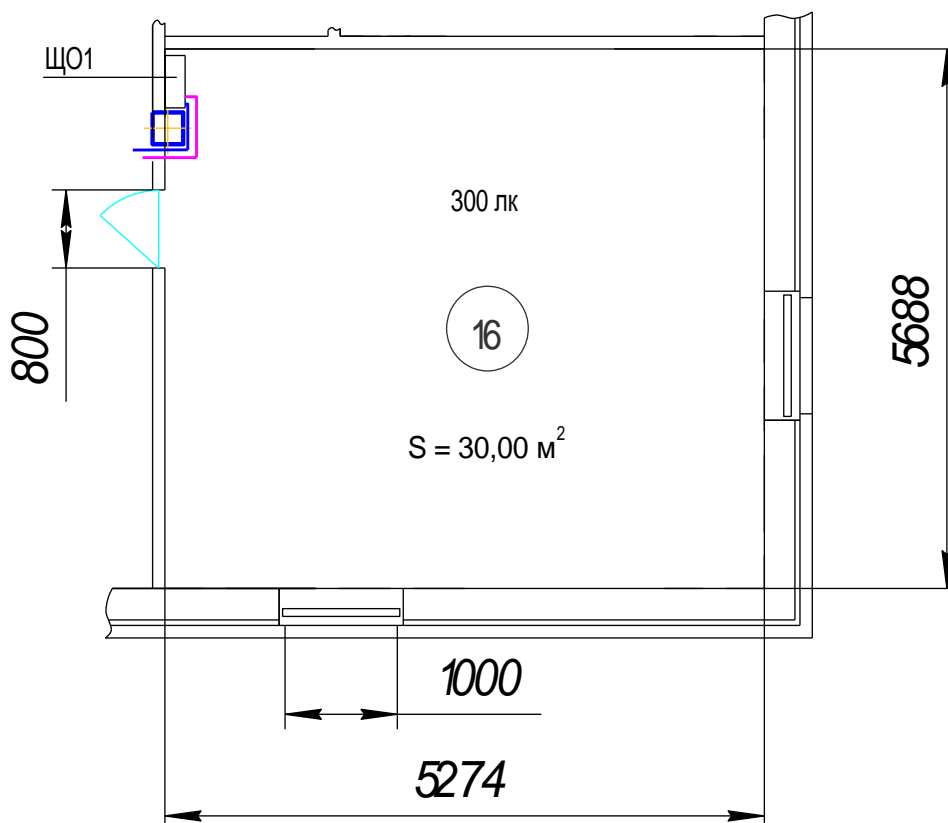


Рисунок 3.1- Отдел эксплуатации

Исходные данные: длина $A = 5,274$ м, ширина $B = 5,688$ м, высота $H = 3,0$ м. Применяется система общего освещения.

Коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности $\rho_c = 50 \%$, $\rho_{п} = 30 \%$, $\rho_p = 10 \%$. Коэффициент запаса равен $K_{зап} = 1,5$. Поскольку к правильной цветопередаче не предусмотрено особых требований, то для освещения выбираем люминесцентную лампу ЛБ – 40. Для освещения данного помещения применяем светильники ЛПО21-2x40 с 2 лампами.

Вычисляем значение расчетной высоты светильника H_p , м, по формуле (3.1)

$$H_p = H - h_n - h_p, \quad (3.1)$$

где h_c - расстояние светильников от перекрытия (“свес”). Принимаем $h_c = 0$ м (при установке светильника на потолке);

h_p - высота расчетной поверхности над полом. Принимаем равной высоте столешницы офисного стола $h_p = 0,8$ м.

$H = 3,0$ м - высота помещения

$$H_p = 3,0 - 0 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

Согласно рекомендациям по выбору расстояния между рядами светильников, для светильника этого типа $L : h = 1,4$.

Отсюда требуемое расстояние между рядами светильников L , м, определяется по формуле (3.2)

$$L = H_p \times 1,4 = 2,2 \times 1,4 = 4,08 \text{ м.} \quad (3.2)$$

Расстояние от стены до крайнего светильника l , м, принимаем в соответствии с рекомендациями для офисных помещений в размере $1/3$ от L (3.3)

$$l = \frac{1}{3} \cdot L = \frac{1}{3} \cdot 4,08 = 1,36 \text{ м} \quad (3.3)$$

Примем для освещения помещения 4 ряда светильников с расстоянием между рядами 3 м, а расстояние от крайнего ряда до стен – 1 м.

Определим индекс помещения i по формуле (3.4)

$$i = \frac{A * B}{H_p(A + B)} \quad (3.4)$$

где A - длина помещения, $A = 5,274$ м;

B - ширина помещения, $B = 5,688$ м

$$i = \frac{5,274 * 5,688}{2,2(5,274 + 5,688)} = 1,24$$

Из таблицы 11 приложения [10] находим коэффициент использования светового потока $\eta = 0,45$.

Определим световой поток светильников одного ряда Φ , лм, по формуле (3.5):

$$\Phi = \frac{E * K_{зап} * S * z}{N * \eta} \quad (3.5)$$

где $E = 300$ лк - заданная минимальная освещенность;

$K_{зап} = 1,5$ - коэффициент запаса;

z - коэффициент минимальной освещенности (приблизительно можно принимать $z = 1,1$ - для люминесцентных ламп);

$S = 30$ м² - освещаемая площадь;

$N = 2$ - число светильников в одном ряду (намечается до расчета),

$\eta = 0,45$ - коэффициент использования светового потока источника света, доли единиц.

$$\Phi = \frac{300 * 1,5 * 30 * 1,1}{2 * 0,45} = 16500$$

Световой поток лампы типа ЛБ – 40 равен $\Phi_{л} = 3200$ лм, световой поток светильника $\Phi_{с} = 6400$ лм.

Определим количество светильников в ряду n , шт, по формуле (3.6)

$$n = \frac{\Phi}{\Phi_{с}} = \frac{16500}{6400} = 2,57 \text{ шт} \quad (3.6)$$

Сопоставим длину ряда светильников с длиной помещения (3.7)

$$L_p = n * l = 2,57 * 1,325 = 3,4 \text{ м} \quad (3.7)$$

где $l = 1,325$ м длина светильника с лампами мощностью 40 Вт.

Длина ряда светильников получилась меньше длины помещения ($A = 5,274$ м). Скомпонуем ряд с равномерно распределенными разрывами между светильниками.

Определим величину промежутка между светильниками $l_{пр}$, м, по формуле (3.8):

$$l_{пр} = \frac{A - L_p}{n - 1} = \frac{5,274 - 3,4}{2,0 - 1,0} = 1,87 \text{ м}$$

Окончательно принимаем к установке в помещении 8 светильников общей мощностью всех ламп $40 * 2 * 8 = 640$ Вт. (рисунок 3.2).

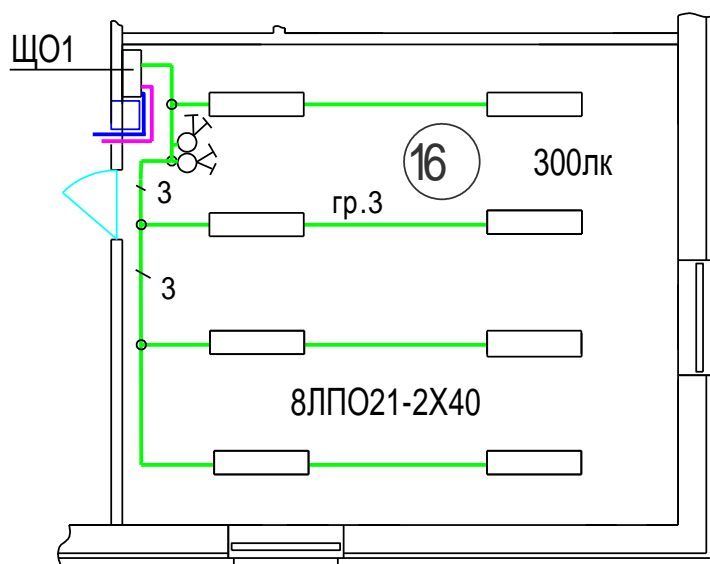


Рисунок 3.2- План расположения светильников в Отделе эксплуатации

Аналогично проведен расчет освещения в других помещениях офисного здания, результаты представлены в графической части проекта и в таблицах 3.1, 3.2, 3.3.

Таблица 3.1- Выбор источников света

Наименование помещения	Требуемая освещенность, лк	Площадь помещения, м ²	Тип светильника	Количество светильников	Примечание
1	2	3	4	5	6
1 этаж					
Тамбур 1	50	2,7	ЛПО16-1x40	1	Светодиодные аналоги ДБО-01-014-05 «Люкс-1» (14 Вт), СС-20220-ЛПО-1Б (15 Вт) и др
Тамбур 2	50	4,05	ЛПО16-1x40	1	
Лестничная клетка	75	14,35	ЛПО16-1x40	1	
Коридор	75	25,0	ЛПО16-1x40	3	
Обеденный зал	200	27,10	ЛПО21-2x40	4	Светодиодные аналоги ДБО-01-024-15 «Люкс-2» (24 Вт), СС-20220-ЛПО-2Б (32 Вт) и др.
Раздача	200	11,10	ПВЛМ-2x40	4	Для помещений с повышенным содержанием пыли и влаги.

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6
					Аналог КРК 236 и др.
Санузел 1	50	2,40	НББ61-60	2	Светодиодный аналог под цоколь Е27 (8 Вт)
Санузел 2	50	2,40	НББ61-60	2	
Кухня	200	24,95	ПВЛМ-2х40	7	
Кладовая	30	3,35	НПП05-100	1	Пылевлагозащи щенный. С защитной решеткой. Светодиодный аналог под цоколь Е27 (14 Вт)
Туалет	50	2,4	НББ61-60	2	
Душевая	50	2,25	НПП03-100	1	Пылевлагозащи щенный.
Гарде- робная	75	24,95	ЛПО16-1х40	3	
Коридор	50	2,95	ЛПО16-1х40	1	
Бухгал- терия	300	20,70	ЛПО21-2х40	7	
Касса	300	4,8	ЛПО21-2х40	1	
Отдел эксплу- атации	300	30,0	ЛПО21-2х40	8	

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3	4	5	6
2 этаж					
Лестничная клетка	75	14,35	ЛПО16-1х40	1	
Коридор	75	28,0	ЛПО16-1х40	4	
Комната отдыха	200	6,9	ЛПО21-2х40	1	
Кабинет директора	300	26,8	ЛПО21-2х40	7	
Санузел 1	50	2,8	НББ61-60	2	
Санузел 2	50	2,8	НББ61-60	2	
Кабинет зам. директора	300	13,15	ЛПО21-2х40	5	
Приемная	300	14,35	ЛПО21-2х40	6	
Кабинет глав. бухгалтера	300	12,65	ЛПО21-2х40	5	
Класс техники безопасности	300	38,6	ЛПО21-2х40	10	
			ЛБО03-1х40	2	
Коридор	75	5,6	ЛПО16-1х40	1	
Кабинет ТБ	300	14,8	ЛПО21-2х40	6	
Кабинет помощников	300	24,65	ЛПО21-2х40	8	
3 этаж					
Лестничная клетка	75	14,35	ЛПО16-1х40	1	

1	2	3	4	5	6
Коридор	75	28,0	РТФ/Р 144- 2x28	3	Встраиваются в подвесные потолки типа "ARMSTRONG" и т.п.
Комната отдыха	200	6,9	РТФ/Р 144- 2x28	2	
Кабинет директора	300	26,8	РТФ/Р 144- 3x28	7	
Санузел 1	50	2,8	НББ61-60	2	
Санузел 2	50	2,8	НББ61-60	2	
Кабинет зам. директора	300	13,15	РТФ/Р 144- 3x28	6	
Приемная	300	14,35	РТФ/Р 144- 3x28	6	
Кабинет глав. бухгалтера	300	12,65	РТФ/Р 144- 3x28	5	

Расшифровка названий светильников:

- ЛПО: Л- с прямой трубчатой люминесцентной лампой, П- потолочный, О- для общественных зданий (основное назначение);
- ПВЛМ: ПВ- пылевлагозащищенный, Л- с прямой трубчатой люминесцентной лампой, М- модернизированный;
- НББ: Н- лампа накаливания; Б- настенный; Б- для жилых (бытовых помещений);
- НПП: Н- лампа накаливания; П- потолочный; П- для промышленных и производственных зданий;

- ЛБО: Л- с прямой трубчатой люминесцентной лампой, Б- настенный, О- для общественных зданий (основное назначение);

- РТФ/Р: РТР- встраиваемый растровый люминесцентный с лампами Т5 от ТМ Световые Технологии, /Р- с зеркальной бипараболической решеткой.

Таблица 3.2- Характеристики светильников

Тип светильника	Тип лампы	Общее количество ламп	Cos φ	Расчетная нагрузка	
				P _p , Вт	Q _p , вар
ЛПО16-1x40	ЛБ-40	1	0,85	40	24
ЛПО21-2x40	ЛБ-40	2	0,92	80	34
ПВЛМ-2x40	T12 G13	2	0,85	80	49
НББ61-60	Лампа накаливания цоколь E27	1	-	60	-
НПП05-100	Лампа накаливания цоколь E27	1	-	100	-
НПП03-100	Лампа накаливания цоколь E27	1	-	100	-
ЛБО03-1x40	ЛБ-40	1	0,85	40	24
РТФ/Р 414-2x28	T5 G5	4	0.96	56	16
РТФ/Р 414-3x28	T5 G5	4	0.96	56	16

Таблица 3.3- Результаты расчета электропотребления

Тип светильника	Расчетная нагрузка 1 светильника		Количество светильников	Суммарная расчетная нагрузка	
	P_p , Вт	Q_p , вар		P_p , Вт	Q_p , вар
ЛПО16-1x40	40	24	17	680	408
ЛПО21-2x40	80	34	58	4640	1972
ПВЛМ-2x40	80	49	11	880	539
НББ61-60	60	0	14	840	0
НПП05-100	100	0	1	100	0
НПП03-100	100	0	1	100	0
ЛБО03-1x40	40	24	2	80	48
РТФ/Р 414-2x28	56	16	5	280	80
РТФ/Р 414-3x28	56	16	24	1344	384
Итого				8944	3431

4 Выбор мощности силового трансформатора

Выбор трансформаторов является важным этапом проектирования, существенно влияющим на основные технико-экономические показатели разрабатываемой схемы электроснабжения. В общем случае выбор трансформаторов представляет собой достаточно сложную задачу, которая может иметь не одно, а несколько решений, из которых следует выбрать наилучшее. Основой расчетов при этом служит, как правило, технико-экономическое сравнение вариантов.

Мощность трансформаторов зависит от величины нагрузки электроприемников, их категории по надежности электроснабжения, от размеров площади цеха и т.п.

Поскольку электропотребители офисного здания относятся к III группе по категории надёжности выбираем однострансформаторную подстанцию.

Рекомендуемое общее количество трансформаторов N_o , шт, определяется по формуле (4.1)

$$N_o = \frac{P_p}{K_z * S_{ном.эн}} = \frac{30,304}{0,95 * 32,19} = 0,99шт, \quad (4.1)$$

где $P_p=30,304$ кВт – расчетная активная нагрузка от низковольтных потребителей здания;

$K_z=0,9..0,95$ – допустимый коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме работы при питании потребителей III категории;

$S_{ном.эн}=32,19$ кВА – полная номинальная мощность потребителей в здании.

Полученное значение округляем до ближайшего целого числа. Принимаем к установке 1 трансформатор.

Номинальная мощность трансформатора $S_{ном.т}$, кВА, приближенно определяется с учетом перегрузки в нормальном режиме на 30% и допустимой перегрузки на 15% из-за неравномерности годового графика нагрузки по формуле (4.2)

$$S_{\text{НОМ.Т}} \geq \frac{S_{p.\text{ЭП}} * K_{\text{Зап}}}{0,7} = \frac{32,19 * 0,85}{0,7} = 39,08 \text{кВА}, \quad (4.2)$$

где $S_{p.\text{ЭП}}=32,19$ кВА – полная номинальная мощность потребителей в здании;

$K_{\text{Зап}}= 0,85$ - коэффициент заполнения графика нагрузки здания.

Рассмотрим 2 варианта: вариант А – используем 1 трансформатор, вариант Б – используем 2 трансформатора.

Вариант А.

Выбираем трансформатор ТСЗ-40/0,66.

Исходными данными являются:

$P_p=30,304$ кВт, $Q_p=10,841$ квар, $S_p=32,19$ кВА

Параметры трансформатора ТСЗ-40/0,66:

$P_{xx}=0,25$ кВт, $P_{k3}=0,8$ кВт, $U_{k3}=4,5\%$, $i_{xx}=4\%$, $K_3=0,95$

Принятое число трансформаторов $N_m=1$.

Активные $\Delta P_{T\Sigma}$, кВт, и реактивные $\Delta Q_{T\Sigma}$, квар, потери в трансформаторе определяются по формулам (4.3 и 4.4)

$$\Delta P_{T\Sigma} = N_T (P_{xx} + k_3^2 * P_{k3}) = 1 * (0,25 + 0,95^2 * 0,8) = 0,972 \text{кВт} \quad (4.3)$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = N_T \left[\frac{S_{\text{НОМ}}}{100} (i_{xx} + k_3^2 * U_{k3}) \right] = 1 * \left[\frac{40}{100} (4 + 0,95^2 * 4,5) \right] = 3,224 \text{квар} \quad (4.4)$$

Расчётная нагрузка с учётом потерь в трансформаторе (4.5 и 4.6)

$$P_p = P_p + \Delta P_{T\Sigma} = 30,304 + 0,972 = 31,276 \text{ кВт} \quad (4.5)$$

$$Q_p = Q_p + \Delta Q_{T\Sigma} = 10,841 + 3,224 = 14,065 \text{ квар} \quad (4.6)$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки (4.7)

$$Q_{\text{min}} = 0,5 * Q_p = 0,5 * 14,065 = 7,032 \text{ квар} \quad (4.7)$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы (4.8 и 4.9)

$$Q'_{\text{Э1}} = Q_p - 0,7 * Q_{\text{сд}} = 14,065 - 0,7 * 14,065 = 4,219 \text{ квар} \quad (4.8)$$

$$Q''_{\text{Э1}} = \alpha * P_p = 0,28 * 31,276 = 8,75 \text{ квар} \quad (4.9)$$

где $Q_{cd}=14,065$ – располагаемая реактивная мощность;

$\alpha =0,28$ – коэффициент влияния нагрузки.

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений: $Q_{\text{э}1}=4,219$ квар.

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок (4.10 и 4.11)

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} + Q_k = 7,032 + 0 = 7,032 \text{ квар} \quad (4.10)$$

$$Q''_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} - (Q_p - Q_{\text{э}1}) = 7,032 - (14,065 - 4,219) = -2,814 \text{ квар} \quad (4.11)$$

Из-за повышенного значения напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем значение мощности $Q_{\text{э}2}=7,032$ квар.

Суммарная мощность компенсирующих устройств (КУ) (4.12 и 4.13)

$$Q_{KV_МАКС} = 1,1 * Q_p - Q_{\text{э}1} = 1,1 * 14,065 - 4,219 = 11,252 \text{ квар} \quad (4.12)$$

$$Q_{KV_МИН} = Q_{\text{мин}} - Q_{\text{э}2} = 7,032 - 7,032 = 0 \text{ квар} \quad (4.13)$$

Следовательно, все КУ должны быть регулируемые.

Компенсация реактивной мощности, стоимость затрат на компенсирующие установки и трансформатор.

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 6/10 кВ в сеть с напряжением до 1 кВ (4.14)

$$Q_T = \sqrt{(N_T * \kappa_3 * S_T)^2 - P_p^2} = \sqrt{(1 * 0,95 * 40)^2 - 31,276^2} = 21,58 \text{ квар} \quad (4.14)$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ (4.15)

$$Q_{KV.H} = Q_p - Q_T = 14,065 - 21,58 = -7,515 \text{ квар} \quad (4.15)$$

Так как мощность КУ меньше 50 квар, то установка не целесообразна.

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 6/10 кВ (4.16)

$$Q_{KV.B} = Q_{KV.MAKC} - Q_{KV.H} = 11,252 - (-7,515) = 18,767 \text{ квар} \quad (4.16)$$

Если мощность КУ меньше 800 квар, то установка КУ не целесообразна.

Приведённые затраты на трансформатор (4.17)

$$Z_{ktn} = E * K_{mn} * N_T + C * \Delta P_T * N_T, \quad (4.17)$$

где $E=0,160$ – нормативный коэффициент экономической эффективности;
 K_{mn} – полные капитальные затраты с учетом стоимости оборудования и монтажных работ, руб (формула 4.18);

$N_m=1$ количество трансформаторов;

$\Delta P_m=0,972$ кВт – активные потери в трансформаторе;

C - затраты на энергию, руб/кВт*год (формула 4.19).

$$K_{mn} = C_0(1 + \sigma_T + \sigma_C + \sigma_M) = 98600 * (1 + 0,005 + 0,020 + 0,100) = 110925 \text{ руб} \quad (4.18)$$

где $C_0 = 98600$ руб– оптовая цена оборудования (отпускная цена с НДС предприятия-производителя сухих трансформаторов ООО «Электропроект»);

$\sigma_T = 0,005$ – коэффициент, учитывающий транспортно – заготовительные расходы, связанные с приобретением оборудования;

$\sigma_C = 0,020$ – коэффициент, учитывающий затраты на строительные работы;

$\sigma_M = 0,100$ – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж и отладку оборудования.

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_m} + \beta * 10^{-2}\right) * \tau = \left(\frac{36}{4000} + 0,9 * 10^{-2}\right) * 2405 = 43,29 \text{ руб/кВт*ч}, \quad (4.19)$$

где $\alpha=36$ руб/кВт*ч - основная ставка двухставочного тарифа;

$\beta= 0,9$ руб/кВт*ч - дополнительная плата за 1 кВт*час потреблённой электроэнергии;

$T_m=4000$ ч - время использования максимальной нагрузки предприятия в год;

τ – время максимальных потерь, ч. (формула 4.20)

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_m}{10000}\right)^2 \cdot T_p = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2405 \text{ ч} \quad (4.20)$$

где $T_p= 8760$ ч – время работы трансформатора в году, ч.

Таким образом

$$Z_{knn} = 0,16 * 110925 * 1 + 43,29 * 0,972 * 1 = 17790,07 \text{ руб}$$

Вариант Б.

Берем 2 трансформатора ТСЗ 25/0,6.

Исходными данными являются:

$P_p=30,304$ кВт, $Q_p=10,841$ квар, $S_p=32,19$ кВА

Параметры трансформатора ТСЗ-40/0,66:

$P_{xx}=0,15$ кВт, $P_{кз}=0,64$ кВт, $U_{кз}=3,8\%$, $i_{xx}=4\%$, $Kз=0,95$

Принятое число трансформаторов $Nm=2$.

Активные $\Delta P_{T\Sigma}$, кВт, и реактивные $\Delta Q_{T\Sigma}$, квар, потери в трансформаторе определяются по формулам (4.21 и 4.22)

$$\Delta P_{T\Sigma} = N_T (P_{xx} + k_3^2 * P_{кз}) = 2 * (0,15 + 0,95^2 * 0,64) = 1,455 \text{ кВт} \quad (4.21)$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = N_T \left[\frac{S_{НОМ}}{100} (i_{xx} + k_3^2 * U_{кз}) \right] = 2 * \left[\frac{25}{100} (4 + 0,95^2 * 3,8) \right] = 3,714 \text{ квар} \quad (4.22)$$

Расчётная нагрузка с учётом потерь в трансформаторе (4.23 и 4.24)

$$P_p = P_p + \Delta P_{T\Sigma} = 30,304 + 1,455 = 33,528 \text{ кВт} \quad (4.23)$$

$$Q_p = Q_p + \Delta Q_{T\Sigma} = 10,841 + 3,714 = 14,555 \text{ квар} \quad (4.24)$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки (4.25)

$$Q_{\min} = 0,5 * Q_p = 0,5 * 14,555 = 7,277 \text{ квар} \quad (4.25)$$

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы (4.26 и 4.27)

$$Q'_{\text{э1}} = Q_p - 0,7 * Q_{\text{сд}} = 14,555 - 0,7 * 14,555 = 4,366 \text{ квар} \quad (4.26)$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha * P_p = 0,28 * 33,528 = 9,387 \text{ квар} \quad (4.27)$$

где $Q_{\text{сд}}=14,555$ – располагаемая реактивная мощность;

$\alpha=0,28$ – коэффициент влияния нагрузки.

Из-за пониженного напряжения в часы максимальных нагрузок принимаем меньшее из значений: $Q_{\text{э1}}=4,366$ квар.

Экономически обоснованные значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок (4.28 и 4.29)

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\min} + Q_k = 7,277 + 0 = 7,277 \text{ квар} \quad (4.28)$$

$$Q''_{\text{э2}} = Q_{\min} - (Q_p - Q_{\text{э1}}) = 7,277 - (14,555 - 4,366) = -2,912 \text{ квар} \quad (4.29)$$

Из-за повышенного значения напряжения в часы минимальных нагрузок принимаем значение мощности $Q_{\text{э2}}=7,277$ квар.

Суммарная мощность компенсирующих устройств (4.30 и 4.31)

$$Q_{KV_МАКС} = 1,1 * Q_p - Q_{\text{э1}} = 1,1 * 14,555 - 4,366 = 11,644 \text{ квар} \quad (4.30)$$

$$Q_{KV_МИН} = Q_{ММИ} - Q_{Э2} = 7,277 - 7,277 = 0 \text{ квар} \quad (4.31)$$

Следовательно, все КУ должны быть регулируемые.

Компенсация реактивной мощности, стоимость затрат на компенсирующие установки и трансформатор.

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 6/10 кВ в сеть с напряжением до 1 кВ (4.32)

$$Q_T = \sqrt{(N_T * \kappa_3 * S_T)^2 - P_P^2} = \sqrt{(2 * 0,95 * 25)^2 - 33,528^2} = 33,647 \text{ квар} \quad (4.32)$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1кВ (4.33)

$$Q_{KV.H} = Q_P - Q_T = 14,555 - 33,647 = -19,092 \text{ квар} \quad (4.33)$$

Так как мощность КУ меньше 50 квар, то установка не целесообразна.

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 6/10 кВ (4.34)

$$Q_{KV.B} = Q_{KV.МАКС} - Q_{KV.H} = 11,644 - (-19,092) = 30,736 \text{ квар} \quad (4.34)$$

Если мощность КУ меньше 800 квар, то установка КУ не целесообразна.

Приведённые затраты на трансформатор (4.35)

$$Z_{ktn} = E * K_{mn} * N_T + C * \Delta P_T * N_T, \quad (4.35)$$

где $E=0,160$ – нормативный коэффициент экономической эффективности;

K_{mn} – полные капитальные затраты с учетом стоимости оборудования и монтажных работ, руб (формула 4.36);

$N_T=2$ количество трансформаторов;

$\Delta P_T=1,455$ кВт – активные потери в трансформаторе;

C - затраты на энергию, руб/кВт*год (формула 4.37).

$$K_{mn} = C_o(1 + \sigma_T + \sigma_C + \sigma_M) = 58500 * (1 + 0,005 + 0,020 + 0,100) = 65812 \text{ руб} \quad (4.36)$$

где $C_o = 58500$ руб– оптовая цена оборудования (отпускная цена с НДС предприятия-производителя сухих трансформаторов ООО «Электропроект»);

$\sigma_T=0,005$ – коэффициент, учитывающий транспортно – заготовительные расходы, связанные с приобретением оборудования;

$\sigma_C = 0,020$ – коэффициент, учитывающий затраты на строительные работы;

$\sigma_M = 0,100$ – коэффициент, учитывающий затраты на монтаж и отладку оборудования.

$$C = \left(\frac{\alpha}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau = \left(\frac{36}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 2405 = 43,29 \text{ руб/кВт}\cdot\text{ч}, \quad (4.37)$$

где $\alpha=36$ руб/кВт*ч - основная ставка двухставочного тарифа;

$\beta= 0,9$ руб/кВт*ч - дополнительная плата за 1 кВт·час потреблённой электроэнергии;

$T_M=4000$ ч - время использования максимальной нагрузки предприятия в год;

τ – время максимальных потерь, ч. (формула 4.38)

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_p = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2405 \text{ ч} \quad (4.38)$$

где $T_p= 8760$ ч – время работы трансформатора в году, ч.

Таким образом

$$Z_{\text{квт}} = 0,16 \cdot 65812 \cdot 2 + 43,29 \cdot 1,455 \cdot 2 = 21185,97 \text{ руб}$$

Так как затраты на вариант А (17790,07 руб) меньше чем затраты на вариант Б (21185,97 руб), то выгоднее использовать вариант А.

5 Расчет токов короткого замыкания

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение короткого замыкания (КЗ) в сети элементах электрооборудования в следствие повреждении изоляции или неправильных действий обслуживающего персонала. Для снижения ущерба, обусловленного выходом из строя электрооборудования при протекании тока в КЗ, а также для быстрого восстановления нормального режима работы схемы электроснабжения необходимо правильно определять токи КЗ и по ним выбирать электрооборудование, защитную аппаратуру и средства ограничения тока в КЗ.

Расчетным видом КЗ для выбора или проверки параметров электрооборудования обычно считают трехфазное КЗ. Однако для выбора или проверки уставок релейной защиты и автоматики требуется определение и несимметричных токов в КЗ.

В зависимости от назначения расчета токов КЗ выбирают расчетную схему сети, определяют вид КЗ, местоположения точек КЗ на схеме и сопротивления элементов схемы замещения.

В данной работе необходимо провести анализ трехфазного КЗ в сети 0,4кВ питания электропотребителей офисного здания (электрическая плита – самый мощный и близкий из них). Расчетная схема представлена на рисунке 5.1. Для расчета воспользуемся методикой, изложенной в [11, с. 58].

Расчеты выполним в соответствии с методикой рекомендованной ГОСТ 28249-93 на расчеты токов КЗ в сетях напряжением до 1 кВ. Короткие замыкания рассчитываются на шинах 0,4 кВ РУ (точка К1) и на самом мощном потребителе за кабелем КЛ1 (точка К2).

Расчет дуговых коротких замыканий выполним с использованием снижающего коэффициента K_c , поэтому переходные сопротивления контактов контактных соединений кабелей и шинопроводов в расчетных выражениях определения суммарного активного сопротивления R_{Σ} не учитываются, эти сопротивления учтены при построении характеристик зависимости коэффициента K_c от полного суммарного сопротивления до места КЗ, $K_c=f(Z_{\Sigma})$, полученных экспериментальным путем.

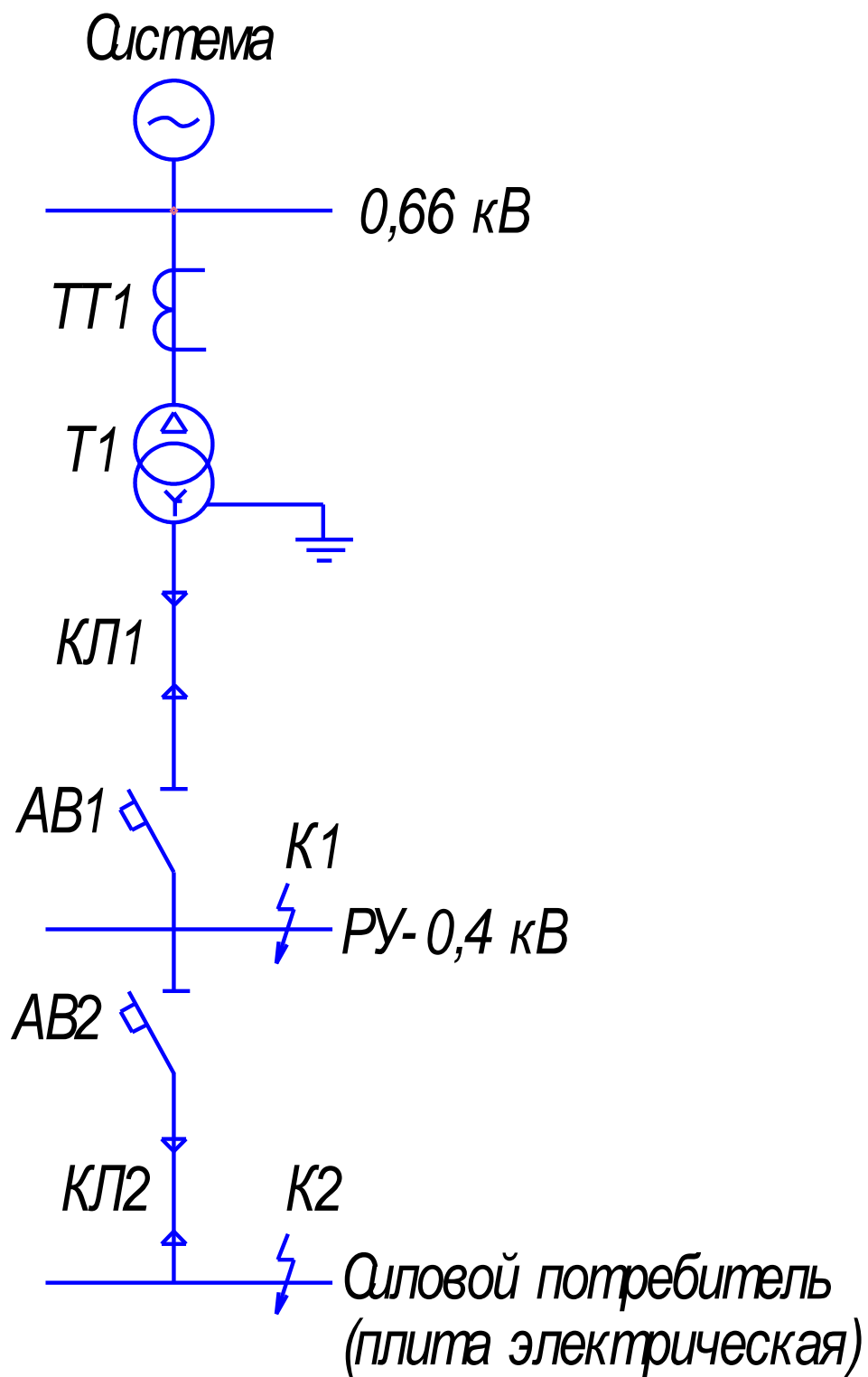


Рисунок 5.1 – Расчетная схема КЗ

Параметры расчетной схемы.

Система.

Мощность короткого замыкания:

- $S_K=4$ мВА;

- $U_{H.VH}=0,66$ кВ.

Трансформатор тока ТТ1:

- $K_{TT}=150/5$;

- $K_{TT}=0,33$ мОм;

- $X_{TT}=0,3$ мОм.

Трансформатор Т1:

- тип ТСЗ-40/0,66 схема соединения обмоток Δ/Y_0 ;

- $S_{ном}=40$ кВА, $U_{H.VH}=0,66$ кВ, $U_{H.HH}=0,4$ кВ, $P_{xx}=0,25$ кВт, $P_{kз}=0,8$ кВт,

$U_{kз}=4,5\%$, $i_{xx}=4\%$, $Kз=0,95$, $R_T=9,4$ мОм, $X_T=27,2$ мОм.

Кабельная линия КЛ1:

- ВВГ-4х10, длина $l=2$ м;

- $R_{уд}=1,84$ Ом/км= $1,84 \cdot 10^{-3}$ Ом/м;

- $X_{уд}=0,099$ Ом/км= $99 \cdot 10^{-6}$ Ом/м.

Автоматический выключатель АВ1:

- тип ВА57-35-340010-250А-2500-690АС-УХЛЗ, $I_n=250$ А

- $R_{кв}=0,12$ мОм;

- $X_{кв}=0,05$ мОм

Кабельная линия КЛ2:

- ПШВ-3х4,0 длина $l=30$ м;

- $R_{уд}=1,79$ Ом/км= $1,79 \cdot 10^{-3}$ Ом/м;

- $X_{уд}=0,073$ Ом/км= $73 \cdot 10^{-6}$ Ом/м.

Автоматический выключатель АВ2:

- тип АЕ2046-100-63А-12In -400АС-УЗ, $I_n=63$ А

- $R_{кв}=0,09$ мОм;

- $X_{кв}=0,03$ мОм.

Расчет параметров схемы замещения (прямая последовательность).

Все сопротивления расчетной схемы приводятся к $U_{баз}=0,4$ кВ.

Система.

Сопротивление системы учитывается индуктивным сопротивлением в схеме замещения:

$$X_C = \frac{U_{н.нн}^2}{S_k} 10^3 = \frac{0,4^2}{4} 10^3 = 40 \text{ мОм} \quad (5.1)$$

Трансформатор тока.

Активные и индуктивные сопротивления обмоток трансформатора тока:

- $R_{ТТ}=0,33$ мОм;

- $X_{ТТ}=0,3$ мОм.

Трансформатор.

Активные и индуктивные сопротивления обмоток трансформатора:

- $R_T=9,4$ мОм,

- $X_T= 27,2$ мОм.

Активные и индуктивные сопротивления первой кабельной линии КЛ1 определяется по известным удельным сопротивлением КЛ1 и его длине:

$$R_{1КЛ1} = R_{уд1} * l_1 = 1,84 * 10^{-3} * 2 = 3,68 * 10^{-3} \text{ Ом} \quad (5.2)$$

$$X_{1КЛ1} = X_{уд1} * l_1 = 99 * 10^{-6} * 2 = 0,198 * 10^{-3} \text{ Ом} \quad (5.3)$$

Активные и индуктивные сопротивления автоматического выключателя АВ1:

- $R_{КВ}=0,12$ мОм;

- $X_{КВ}=0,05$ мОм.

Активные и индуктивные сопротивления второй кабельной линии КЛ2 определяется по известным удельным сопротивлением КЛ2 и его длине:

$$R_{2КЛ2} = R_{уд2} * l_2 = 1,79 * 10^{-3} * 30 = 53,7 * 10^{-3} \text{ Ом} \quad (5.4)$$

$$X_{2КЛ2} = X_{уд2} * l_2 = 73 * 10^{-6} * 30 = 2,19 * 10^{-3} \text{ Ом} \quad (5.5)$$

Активные и индуктивные сопротивления автоматического выключателя АВ2:

- $R_{КВ}=0,09$ мОм;

- $X_{КВ}=0,03$ мОм.

Схема замещения прямой последовательности представлена на рисунке

5.2.

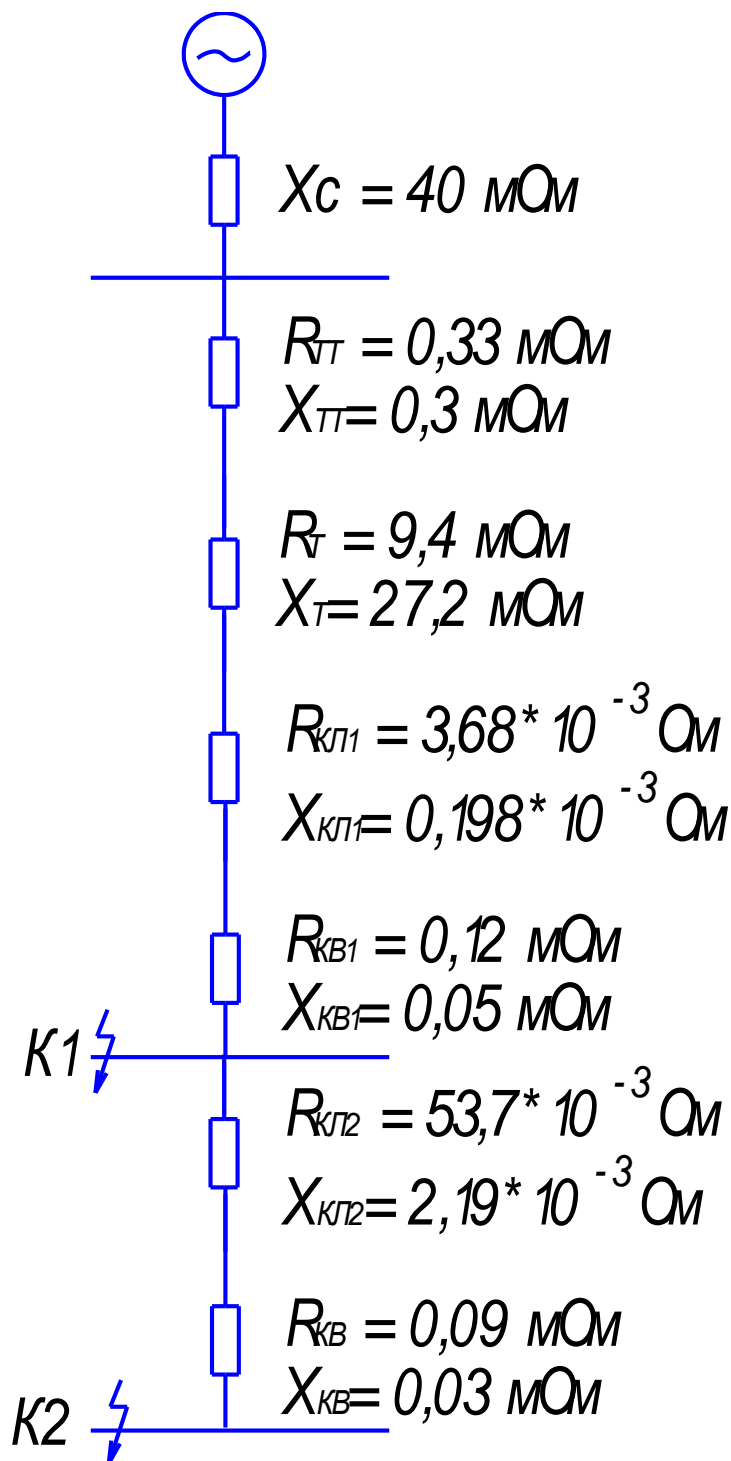


Рисунок 5.2 – Схема замещения прямой последовательности

По схеме замещения прямой последовательности суммарные сопротивления $R_{1\Sigma}$ и $X_{1\Sigma}$ определяется арифметическим суммированием сопротивлений до точки КЗ (К1):

$$R_{1\Sigma} = 0,33 + 9,4 + 0,00368 + 0,12 = 9,85 \text{ м}\Omega \quad (5.6)$$

$$X_{1\Sigma} = 40 + 0,3 + 27,2 + 0,000198 + 0,05 = 67,55 \text{ м}\Omega \quad (5.7)$$

Полное суммарное сопротивление до точки К1:

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{2\Sigma}^2} = \sqrt{9,85^2 + 67,55^2} = 68,26 \text{ мОм} \quad (5.8)$$

Ток трехфазного металлического КЗ:

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{U_{H.HH}}{\sqrt{3} * Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{400}{\sqrt{3} * 68,26} = 3,38 \text{ кА} \quad (5.9)$$

Ток трехфазного дугового КЗ определяем с использованием снижающего коэффициента K_c .

Расчет дугового трехфазного КЗ выполняется в следующей последовательности.

1. Определяются значение снижающего коэффициента для начального момента КЗ (K_{C1}) и для установившегося КЗ (K_{C2}) по кривым 1, 2 [11, рис. 4.8].

При $Z_{\Sigma}^{(3)}=68,26$ мОм, $K_{C1}=0,84$, а $K_{C2}=0,75$.

2. Ток трехфазного дугового КЗ для начала дугового процесса и его установившегося процесса определяется по формулам

$$I_{KI}^{(3)} = I_{KM}^{(3)} * K_{C1} = 3,38 * 0,84 = 2,83 \text{ кА}; \quad t_{K3} < 0,05 \text{ с} \quad (5.10)$$

$$I_{KI}^{(3)} = I_{KM}^{(3)} * K_{C2} = 3,38 * 0,75 = 2,53 \text{ кА}; \quad t_{K3} > 0,05 \text{ с} \quad (5.11)$$

Для того чтобы определить ударный коэффициент K_y по [11, рис. 4.6] найдем постоянную времени:

$$\tau = \frac{X_{1\Sigma}}{R_{1\Sigma}} = \frac{67,55}{9,85} = 6,85 \quad (5.12)$$

Этой постоянной времени соответствует $K_y=1,61$

Ударный ток КЗ определяется по формуле:

$$i_y = K_y * \sqrt{2} * I_{KM}^{(3)} = 1,61 * \sqrt{2} * 3,38 = 7,69 \text{ кА} \quad (5.13)$$

Расчет показал, что полученные при расчете ток трехфазного дугового КЗ равный 2,83 кА и ударный ток равный 7,69 кА меньше предельной коммутационная способность переменного тока $I_{cu} = 18$ кА для выбранного мною автомата ВА57-35-340010-250А-2500-690АС-УХЛЗ.

По формулам (5.6-5.13) выполним расчет токов короткого замыкания для точки K_2 .

$$R_{1\Sigma} = 0,09 + 0,0537 = 0,14 \text{ мОм}$$

$$X_{1\Sigma} = 0,03 + 0,00219 = 0,03 \text{ мОм}$$

$$Z_{\Sigma}^{(3)} = \sqrt{0,14^2 + 0,03^2} = 0,146 \text{ мОм}$$

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{U_{H.HH}}{\sqrt{3} * Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{400}{\sqrt{3} * 0,146} = 1,58 \text{ кА}$$

При $Z_{\Sigma}^{(3)}=0,146$ мОм, $K_{C1}=0,55$, а $K_{C2}=0,45$.

$$I_{KD}^{(3)} = I_{KM}^{(3)} * K_{C1} = 1,58 * 0,55 = 0,87 \text{ кА}; t_{K3} < 0.05 \text{ с}$$

$$I_{KD}^{(3)} = I_{KM}^{(3)} * K_{C2} = 1,58 * 0,45 = 0,71 \text{ кА}; t_{K3} > 0.05 \text{ с}$$

$$\tau = \frac{X_{1\Sigma}}{R_{1\Sigma}} = \frac{0,03}{0,14} = 0,21$$

Этой постоянной времени соответствует $Ky=1,0$

$$iy = Ky * \sqrt{2} * I_{KM}^{(3)} = 1,0 * \sqrt{2} * 1,58 = 2,23 \text{ кА}$$

Расчет показал, что полученные при расчете ток трехфазного дугового КЗ равный 1,58 кА и ударный ток равный 2,23 кА меньше предельной коммутационная способность переменного тока $I_{cu} = 6$ кА для выбранного мною автомата АЕ2046-100-63А-12In -400АС-У3.

6 Выбор аппаратов защиты и силовых сетей

6.1 Выбор автоматических выключателей и распределительных щитов

Выбор автоматических выключателей производится по следующим параметрам [12]:

- напряжению уставки $U_{уст} \leq U_{ном}$;
- рабочему току $I_{раб} \leq I_{ном}$;
- конструктивному исполнению;
- предельному отключаемому току.

При выборе распределительных щитов дополнительно учитывается количество и номенклатура размещаемого в нем оборудования.

а) Произведем выбор для рабочих мест с орг.техникой:

- $U_{ном} = 220 \text{ В}$;
- $I_{ном} = 3 \text{ А}$;
- конструктивное исполнение: крепление – дин-рейка, климатическое исполнение УХЛЗ (умеренный и холодный климат, категория размещения – в закрытом помещении без искусственного регулирования климатических условий), степень защиты – IP20 [13];
- рабочий ток 48А.

Всего рабочих мест с оргтехникой 16, сгруппируем их по 3 рабочих места на один автомат (получили 12 орг.мест на 4 автомата) и по 2 рабочих на один автомат (получили 4 орг.места на 2 автомата).

Выбрали: однополюсные автоматы серии ВА61-29 ГОСТ Р 50345 рекомендуемых для коммутации электросетей жилых и офисных зданий в нормальном режиме и для отключения в режиме, который способен привести к аварии (при токах перегрузки и токах короткого замыкания), а также обеспечения безопасности изоляции проводников в части термических перегрузок.

Для их размещения выбрали распределительный щит ЩРО 8505-2709 с выключателем ввода ВА57Ф35-340010-80А.

б) Произведем выбор щитка осветительного для системы освещения:

- $U_{ном} = 220 \text{ В}$;

- $I_{ном} = 5,7A$ для первого этажа, $I_{ном} = 4,4A$ для второго этажа, $I_{ном} = 4,1A$ для третьего этажа;

- конструктивное исполнение: корпус металлический, степень защиты IP31.

Выбрали щиток ОЩВ 6 (63/16А): щиток комплектуется DIN-рейками, автоматическими выключателями (трехполюсным вводным автоматом на номинальный ток 63А и шестью однополюсными автоматами на номинальный ток 16А), шинами «N» и «PE». [14]

в) Выбор распределительного щита:

- $U_{ном} = 380 В$;

- $I_{ном} = 84,37A$;

Выбрали пункт распределительный ПР11-3068-54УЗ 250А 1200x800x280мм навесной («МПО Электромонтаж») (см. рисунок 6.1 и 6.2, таблица 6.1) [15]

ПР-11 предназначен для приёма и распределения электрической энергии, а также для защиты линий при перегрузках и коротких замыканиях в трёхфазных сетях. Основные параметры:

- номинальное напряжение: 380 В, 50 Гц;

- номинальный ток: 250 А;

- степень защиты: IP54;

- тип установки: навесной;

- тип корпуса: металлический, окрашен порошково-полимерным композитом;

- габаритные размеры (В×Ш×Г), мм: 1200×800×280;

- масса: 52,3 кг;

- изготовитель: «МПО Электромонтаж».



Рисунок 6.1- Пункт распределительный ПР11-3068-54У3 250А

Таблица 6.1- Комплектация пункта распределительного ПР11-3068-54У3 250А

Наименование	Количество
Шкаф 415Rx IP54 1200×800×280 мм	1 шт
Выключатель автоматический АЕ 2046-10Б-16 А	7 шт
Выключатель автоматический ВА57-35-340010-250А	1 шт
Выключатель автоматический АЕ 2046-10Б-25А	1 шт
Шина медная «ноль», «земля» ППМ 3х20 мм.	2 шт

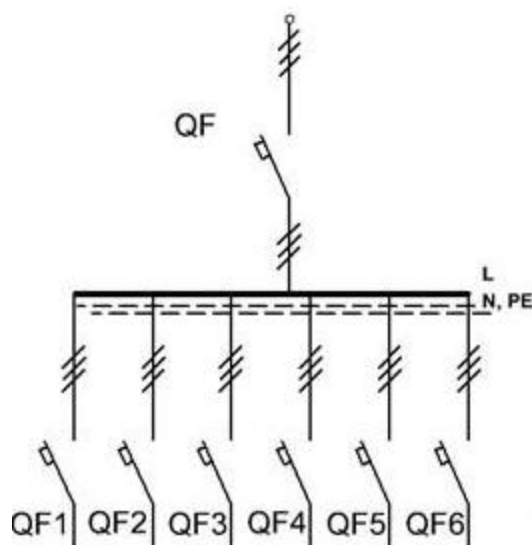


Рисунок 6.2- Схема электрическая принципиальная ПР11-3068-54У3

В качестве вводного выключателя выбрали пакетный выключатель серии ППЗ-250-IP30 рассчитанный на номинальный ток 250А, номинальное напряжение 380 В. [16]

Для учета электрической энергии (с учетом что $U_{ном} = 380$ В и $I_{ном} = 84,37$ А) выбрали трехфазный микропроцессорный многофункциональный универсальный многотарифный счетчик электрической энергии СЕ301-S31.

6.2 Расчет питающих линий

Выбор сечений кабельных линий S , мм², производится по экономической плотности тока по формуле (6.1)

$$S = \frac{I_{РАБ.НОМ.}}{j_{ЭК}}, \quad (6.1)$$

где $I_{раб.ном}$ – номинальный рабочий ток в данной кабельной линии;
 $j_{эк}$ – экономическая плотность тока, зависящая от типа кабеля и продолжительности использования максимума нагрузки. [17]

Согласно ПУЭ для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией с медными жилами, для продолжительности использования максимума нагрузки 1000-3000 ч., предельная экономическая плотность тока составляет 3,5 А/мм².

Определим сечение кабеля ввода питания на главный распределительный щит. Номинальный рабочий ток через одну его жилу (фазу) при равномерном распределении нагрузки 28,15А. Тогда сечение кабеля:

$$S = \frac{28,15}{3,5} = 8,04 \text{ мм}^2.$$

Округляем до ближайшего большего значения – 10 мм². Выбираем четырехжильный силовой медный кабель ВВГ 4x10, рекомендуемый для распределения и передачи электротока в стационарных установках на номинальное переменное напряжение 660 В и 1000 В частоты 50 Гц. Изоляция и оболочка из ПВХ материала. Допустимая токовая нагрузка одной жилы 66А.

Выбранный кабель необходимо проверить на термическую стойкость при коротком замыкании по формуле (6.2)

$$\Theta_{КЗ} \leq \Theta_{доп.КЗ} \quad (6.2)$$

где $\Theta_{КЗ}$ - температура жил кабеля при нагреве током КЗ;

$\Theta_{доп.КЗ}$ - допустимая температура жил кабеля при нагреве током КЗ. Согласно ПУЭ для кабеля ВВГ температура нагрева проводников при КЗ должна быть не выше 150 °С.

Определим температуры жил кабеля в конце короткого замыкания в три этапа. [18]

1 этап. Определяется начальная температура жил кабеля (до короткого замыкания).

За начальную температуру принимаем максимально возможную температуру предшествующего режима, определяемую по формуле (6.3)

$$T = T_0 + 0,02 * I_{ном} * (T_{доп} - T_{о.расч}) \quad (6.3)$$

где T_0 – фактическая температура окружающей среды во время короткого замыкания, °С (для Самарской области при прокладке в воздухе $\Theta_0 = 30^0С$;

$T_{доп}$ – расчетная длительно допустимая температура жилы, °С (для кабелей с ПВХ изоляцией - 80 °С);

$T_{о.расч}$ – расчетная температура окружающей среды, °С (для воздуха - 25 °С);

$I_{ном}$ – номинальный ток через кабель, А.

$$T = 30 + 0,02 * 28,15 * (80 - 25) = 60,96 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2 этап. Определяется значение расчетного коэффициента К по формуле (6.4)

$$K = \frac{b * I_{КЗ}^2 * t_{КЗ}}{S^2}, \quad (6.4)$$

где b – постоянная, $\text{м}^4/(\text{кА}^2 \cdot \text{с})$. Для медных жил $b = 19,58 \text{ м}^4/(\text{кА}^2 \cdot \text{с})$;

$I_{КЗ}$ - максимальное установившееся значение тока трехфазного короткого замыкания на шинах источника питания, кА. Принимаем согласно расчета (формула 5.9) $I_{КЗ} = 3,8 \text{ кА}$;

$t_{кз}$ – время протекания тока короткого замыкания, с. Принимаем равным времени срабатывания электромагнитного расцепителя в автоматических выключателях 0,1 с;

S- сечение жилы кабеля, мм².

$$K = \frac{19,58 * 3,8 * 3,8 * 0,1}{10 * 10} = 0,282$$

3 этап. Определяется температура жил в конце короткого замыкания по формуле (6.5)

$$T_{кз} = T * e^K + a(e^K - 1), \quad (6.5)$$

где а – величина, обратная температурному коэффициенту электрического сопротивления при 0 °С, равная 228 °С.

$$T_{кз} = 60,96 * e^{0,282} + 228(e^{0,282} - 1) = 134 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученное значение меньше допустимых 150 °С.

Результаты расчета и выбора остальных гибких проводов линий сведены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1- Выбор кабелей и проводов

Наименование оборудования	Номинальный ток, А	Длина линии, м	Марка, сечение провода
Щит силовой	48	11	АППВ 2х4
Щиток освещения 1 этажа	8,5	6	ППВ 2х4,0
Щиток освещения 2 этажа	7,1	10	ПВ1 1х4
Щиток освещения 3 этажа	6,6	15	ПВ1 1х4
К группе из трех орг.мест	9,0	20	ППВ 1х2,5
К одному орг.месту	3,0	6	ППВ 3х2,5
Холодильник бытовой	1,25	25	ППВ 3х2,5
Плита электрическая	20	30	ППВ 3х4,0
Вентилятор вытяжной	0,67	2	ВВГ-4х2,5

Краткая характеристика выбранных проводов. [19]

ПВ1х4 – одножильный медный провод с ПВХ изоляцией (ГОСТ 6323-79) предназначен для стационарной прокладки в осветительных и силовых сетях, а также для электрических установок и монтажа электрооборудования. Используется для негибкого монтажа электрических цепей.

ППВ2х4,0 – провод установочный с медной жилой с изоляцией из ПВХ пластиката. Применяется для электрических установок при стационарной прокладке в осветительных и силовых сетях, а также для монтажа электрооборудования, машин, механизмов и станков на номинальное напряжение до 450 В. Данный провод не распространяет горение.

ПВЗ (1х2,5) - провод силовой установочный (монтажный) с медной многопроволочной жилой сечением 2,5 мм², в поливинилхлоридной изоляции различных цветов.

6.3 Выбор коммутационной аппаратуры

Аппаратура для цепи питания вытяжного вентилятора, включает в себя выключатель-разъединитель нагрузки, магнитный пускатель с встроенной тепловой защитой и кнопочный пост, номинальный ток 1 А.

Выбираем выключатель-разъединитель нагрузки малогабаритный OptiSwitch D-L1-8-3P со встроенной защитой от токов КЗ [20]:

- количество полюсов – 3;
- номинальный ток $\sim I_n = 8 \text{ A}$;
- номинальное напряжение переменного тока $U_n = 220\text{В}$;
- привод ручной, служит для включения, автоматического отключения;
- число направлений коммутации – 1;
- способ крепления (монтажа) – DIN-рейка;
- степень защиты – IP20;
- диапазон рабочих температур (°C): от -45°C до +45°C.

Выбираем пускатель ПМЛ-1220-10А-220АС-(9-13А)-УХЛЗ-Б-КЭАЗ:

- количество полюсов – 3;

- номинальный ток $I_n = 10\text{А}$;
- диапазон регулировки теплового расцепителя 9-13 А;
- напряжение катушки управления 220В;
- род тока катушки управления: переменный, постоянный;
- количество вспомогательных замыкающих контактов – 1;
- количество главных замыкающих контактов – 3;
- мощность двигателя для категории использования АСЗ, напряжение 220В, переменный ток – $P = 2,2\text{ кВт}$;
- степень защиты IP54.

Для включения вентилятора выбрали кнопочный пост ПКЕ 222-2-У2-IP54-КЭАЗ (красный гриб).

Для подключения орг.мест выбрали одно, двух, трехместные розетки скрытой установки с заземляющим контактом, например типа РС16-646.

Для включения/выключения освещения выбрали одно, двух клавишные выключатели скрытой установки, например типа С16-087.

6.4 Расчет заземления

Цель расчета - определение количества и размеров заземлителей и составление плана размещения заземлителей и заземляющих проводников.

Исходными данными для расчета заземляющих устройств являются:

- напряжение заземляемой установки (до 1000 В);
- режим нейтрали установки (глухозаземленная);
- удельное сопротивление грунта (супесок , 300 Ом*м);
- план размещения заземляемого оборудования;
- характеристика естественных заземлителей (сопротивление растеканию тока, количество и размеры).

Расчет выполним методом коэффициентов использования электродов (учитывает однородную структуру грунта и используется для расчета простых заземлителей).

1. Определим допустимое сопротивление заземляющего устройства R_d – принимаем для электроустановок напряжением 380/220В $R_d \leq 4$ Ом.

Требуемое сопротивление искусственных заземлителей R_u не должно превышать допустимое сопротивление заземляющего устройства R_d : $R_u \leq R_d$.

2. Определяем расчетное удельное сопротивление грунта ρ , в котором предлагается размещать электроды заземления - супесок , 300 Ом*м.

3. Предварительно определяется конфигурация заземлителя – по контуру (рисунок 6.3):



Рисунок 6.3- Конфигурация заземлителя

Выбираем тип и размеры заземлителей – вертикальные стержневые электроды в грунте. С учетом возможности размещения заземлителя выбираем конфигурацию по контуру. Эскиз одного заземлителя показан на рисунке 6.4.

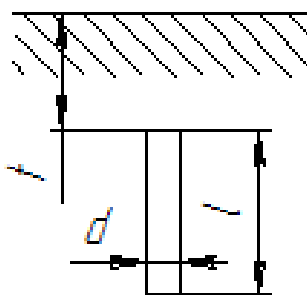


Рисунок 6.4- Расположение вертикального заземлителя в земле

Принимаем $l = 1,5$ м; $d = 0,015$ м; $t = 1,2$ м; $t = 1,2 + 0,75 = 1,95$

4. Сопротивление растеканию тока с одного заземлителя (6.6)

$$R1 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot l} \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t + 1}{4 \cdot t - 1} \right) = \frac{300}{2 \cdot \pi \cdot 1,5} \left(\ln \frac{2 \cdot 1,5}{0,015} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 1,95 + 1}{4 \cdot 1,95 - 1} \right) = 201,2 \text{ Ом} \quad (6.6)$$

где $R1$ - сопротивление растеканию тока с одного заземлителя;

ρ - расчетное удельное сопротивление грунта ρ , в котором предлагается размещать электроды заземления;

l, t, d – размеры заземлителя (по рисунку 6.4)

5. Необходимое количество параллельно соединенных заземлителей n , шт, определяется по формуле (6.7)

$$n = \frac{R1}{Rд} = \frac{201,2}{4} = 50,3 \text{ Ом} \quad (6.7)$$

где $R1$ - сопротивление растеканию тока с одного заземлителя;

$Rд$ - допустимое сопротивление заземляющего устройства.

Принимаем 50 параллельно соединенных заземлителей.

6. Длина соединительного (горизонтального) электрода при расположении заземлителей по контуру $lг$, м, определяется по формуле (6.8)

$$lг = 1,05 \cdot m \cdot n = 1,05 \cdot 1,0 \cdot 50 = 52,5 \text{ м} \quad (6.8)$$

где m – расстояние между заземлителями, $m=1$ м.

7. Сопротивление растеканию тока горизонтального электрода

$$R2 = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot lг} \cdot \ln \frac{2 \cdot lг^2}{d \cdot t} = \frac{300}{2 \cdot \pi \cdot 52,5} \cdot \ln \frac{2 \cdot 52,5^2}{0,015 \cdot 1,95} = 11,05 \text{ Ом} \quad (6.9)$$

8. Сопротивление растеканию тока искусственных заземлителей

$$Rи = \frac{R1 \cdot R2}{R1 \cdot \etaг + R2 \cdot n \cdot \etaв} = \frac{201,2 \cdot 11,05}{201,2 \cdot 0,75 + 11,05 \cdot 50 \cdot 0,7} = 3,13 \text{ Ом} \quad (6.10)$$

где $\etaг$ - коэффициент использования горизонтального электрода с учетом вертикальных электродов, $\etaг=0,75$;

$\etaв$ – коэффициент использования вертикальных электродов, учитывающий их взаимное экранирование, $\etaв=0,7$.

Полученное сопротивление искусственных электродов не превышает требуемое сопротивление: $Rи = 3,13 \text{ Ом} < Rд = 4 \text{ Ом}$.

7 Молниезащита здания

Одиночно стоящее здание с достаточной степенью надёжности должно защищаться молниеотводами от поражений прямыми ударами молнии.

Для защиты используем стержневой молниеотвод.

Расчет защиты от прямых ударов молнии заключается в определении зон защиты.

Исходными данными для расчета являются:

- размер площади, занимаемой зданием – $205,4 \text{ м}^2$;
- высота защищаемого объекта – 12 м .

Стандартной зоной защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h является круговой конус высотой $h_0 < h$, вершина которого совпадает с вертикальной осью молниеотвода (см. рис. 7.1). Габариты зоны определяются двумя параметрами: высотой конуса h_0 и радиусом конуса на уровне земли r_0 .

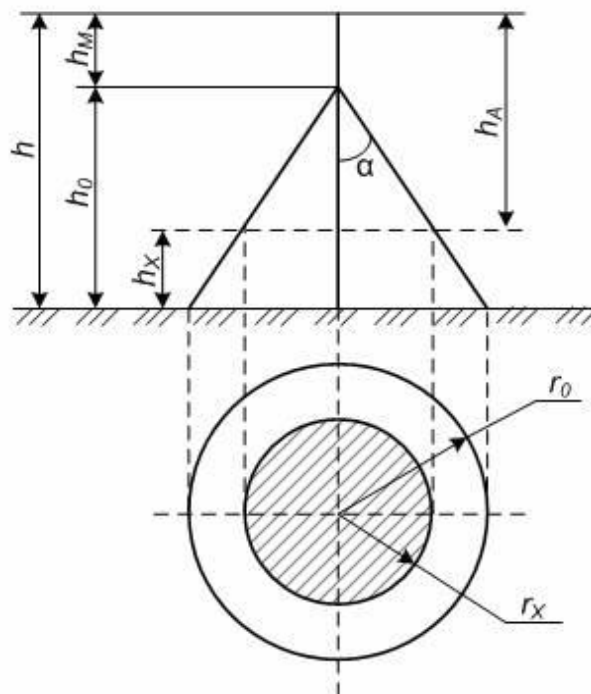


Рисунок 7.1 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

Порядок расчета.

Задаемся высотой молниеотвода $h=20$ м.

Определяем активную высоту молниеотвода h_a , м, по формуле (7.1)

$$h_a = h - h_x, \quad (7.1)$$

где h - высота молниеотвода, м.;

h_x – высота защищаемого объекта.

$$h_a = 20 - 12 = 8 \text{ м}$$

Определяем зону защиты r_x , м, по формуле (7.2)

$$r_x = \frac{1.6 * h_a * \rho}{1 + \frac{h_x}{h}}, \quad (7.2)$$

где ρ - коэффициент для различных высот молниеотвода. Принимаем для $h \leq 30$ м $\rho=1$

$$r_x = \frac{1.6 * 8 * 1}{1 + \frac{12}{20}} = 8 \text{ м},$$

При заданной длине молниеотвода защищаемая площадь составила $200,96 \text{ м}^2$, что меньше площади здания. По-этому увеличим высоту молниеотвода и проверим правильность выбора:

- $h=25$ м;

- $h_a= 13$ м;

- $r_x=14$ м;

- защищаемая площадь 615 м^2 , что достаточно для защиты здания.

Заключение

В результате выполнения бакалаврской работы разработан проект системы электроснабжения вновь проектируемого отдельно стоящего торгово-офисного здания.

В работе выполнены необходимые расчеты по определению электрических нагрузок; расчет потерь мощности и электроэнергии; компенсация реактивной мощности; поддержание требуемого качества напряжения; выбор числа и мощности трансформаторов; выбор защитных аппаратов и сечений проводников. Применена радиальная схема электроснабжения, общий расчетный ток нагрузки 84,47 А.

Выполнен расчет токов короткого замыкания с проверкой автоматических выключателей на способность противостоять воздействию ударных токов КЗ, расчет высоковольтного кабеля, расчет заземления.

Проект выполнен в соответствии с требованиями методических и руководящих материалов по проектированию электроснабжения промышленных предприятий, требований правил ПУЭ, ПТБ и ПТЭ в электроустановках, другой справочной, нормативной и методической литературой.

Список используемой литературы

1. 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.
2. Вахнина В.В. Проектирование осветительных установок: учебное пособие / В.В. Вахнина, О.В. Самолина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2008.
4. Вахнина В.В. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: методические указания по курсовому проектированию / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. - Тольятти: ТГУ, 2008.
5. Вахнина В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: учебное пособие / В.В. Вахнина. - Тольятти : ТГУ, 2006.
6. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 марта 2007 г. - М.: КНОРУС, 2007.
7. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. Обязательны для всех потребителей электроэнергии независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности. 4-е издание, переработанное и дополненное, с изменениями. Источник: <http://www.gosthelp.ru/text/PPBSPravilatexnikibezopas.html>
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – Энергосервис.- Москва, 2003 г.
9. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278 – 03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. М.: Изд-во ЭНАС, 2003.-87с.
10. Вахнина, В.В., Проектирование осветительных установок: учебное пособие / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко, Т.А. Рыбалко, О.В. Самолина. – Тольятти: ТГУ, 2014. - 117 с.

11. В.В. Вахнина, В.Л. Горячева, Ю.В. Степкина. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования.- Тольятти.: ТГУ, 2004.- с.90

12. Анчарова Т. В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - М.: Форум: НИЦ Инфра-М, 2012. - 416 с.

13. Суворин, А. В. Электротехнологические установки [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А. В. Суворин. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. - 376 с.

14. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие/ Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. - М.: Форум, 2010. - 496 с.

15. Колесник, Г.П. Электрическое освещение: основы проектирования: учебное пособие/Г.П. Колесник.- ВлГУ, 2006 г.-123 с

16. Ополева, Н.Г. Схемы и подстанции электроснабжения / Н.Г. Ополева // Справочник: учеб. пособие. – М.:ИД «ФОРУМ» ИНФА-М, 2008. – 408 с

17. Электромонтажные работы [Электронный ресурс]/ справочная энциклопедия. Электрон. дан. – режим доступа: <http://www.electro-sila.ru/st8.htm> – Загл. с экрана.

18. Заземление и зануление электроустановок [Электронный ресурс]/ электрон. дан. – режим доступа: <http://remont220.ru/zazemleniye-i-zanuleniye-elektrostanovok.php> – Загл. с экрана.

19. Электроснабжение административных зданий [Электронный ресурс]/ форум для электриков. Электрон. дан. – режим доступа: http://projectsdevelop.com/power_supply_of_office_buildings – Загл. с экрана

20. Рабочий проект электроснабжения офисного здания. [Электронный ресурс]/ блоги для инженеров-электриков. Электрон. дан. – режим доступа: <http://enginer-electric.ru/rabochie-proekty/vnutrennie-el-seti/386-rabochij-proekt-elektrosnabzheniya-administrativnogo-zdaniya.html> – Загл. с экрана

21. Martin, Robert F., Harmonic Currents, Compliance Engineering—1999 Annual Resources Guide, Cannon Communications, LLC.
22. Industrial Power Systems Shoab Khan, Sheeba Khan, Ghariani Ahmed December 17, 2007 by CRC Press. Reference - 488 Pages - 227 B/W Illustrations ISBN 9780824724436.
23. Christopher Cuttle, “Lighting by Design”, ISBN075065130 X. Architectural Press, Oxford, 2003 (In Australia from Elsevier Australia)
24. P. Ngai and P. Boyce “The Effect of Over head Glare on Visual Discomfort” Journal of the Illuminating Engineering Society Volume 29 Number 2 Summer 2000
25. Delmar's Standard Textbook of Electricity, 5th Edition by Stephen L. Herman. ISBN-13: 978-1111539153