

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Проектирование системы электроснабжения кафе»

Обучающийся

Д.С. Ротарь

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор П.А. Николаев

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

Консультант

к.ф.н., доцент О.В. Мурдускина

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

Тольятти 2022

Аннотация

Задачей выпускной квалификационной работы является разработка проекта электрической сети кафе.

В работе выполнен расчет электрических нагрузок кафе, на основе исходных данных представленных в виде установленных мощностей потребителей, выполнен выбор схемы электрической сети кафе, определены значения токов короткого замыкания электрической сети кафе, выбраны кабели и электрические аппараты, выбрано вспомогательное оборудование для электрической сети кафе, рассчитаны контуры заземления.

Текстовая часть выпускной квалификационной работы выполнена на 56 страницах, включает 9 таблиц, 14 рисунков, 25 литературных источников, пять из которых на английском языке. Графическая часть выпускной квалификационной работы состоит из шести чертежей формата А1.

Abstract

The task of the final qualifying work is to develop a project of the cafe's electrical network.

The paper calculates the electrical loads of the cafe, based on the initial data presented in the form of installed capacities of consumers, the scheme of the cafe's electrical network is selected, the values of short-circuit currents of the cafe's electrical network are determined, cables and electrical devices are selected, auxiliary equipment for the cafe's electrical network is selected, grounding circuits are calculated.

The text part of the final qualifying work is made on 56 pages, includes 9 tables, 10 figures, 25 literary sources, five of which are in English. The graphic part of the final qualifying work consists of six A1 drawings.

Содержание

Введение	5
1 Краткая характеристика объекта проектирования	7
2 Расчет электрических нагрузок кафе	10
3 Расчет освещения кафе	17
4 Расчет системы компенсации реактивной мощности	25
5 Выбор электрической схемы кафе	27
6 Расчет токов короткого замыкания	29
5 Выбор кабелей	34
7 Выбор электрических аппаратов и вспомогательного оборудования	40
8 Расчет заземления	49
Заключение	53
Список используемых источников.....	54

Введение

Электроэнергетика играет ключевую роль в развитии современного общества. Практически любая отрасль экономики не обходится без электроэнергии – промышленность, сельское хозяйство, городской электрический транспорт, железнодорожный транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, сфера информационных технологий и многие другие. При этом, даже небольшой перерыв в снабжении электроэнергией указанных выше отраслей может повлечь за собой финансовые убытки, простой рабочих, транспортные коллапсы, угрозу для безопасности государства, для жизни и здоровья людей.

Электрификация не обошла стороной и сферу общественного питания. В настоящее время практически весь технологический процесс в сфере общественного питания, так или иначе, связан с использованием электроэнергии. В сравнении с другими отраслями общественной направленности, сфера общественного питания является наиболее энергоемкой, т.к. технологический процесс связан с нагревом, а нагревательные элементы являются крупными потребителями электроэнергии.

В связи с этим, при проектировании электрических сетей объектов общественного питания необходимо стараться обеспечить максимально возможную степень энергоэффективности.

Таким образом, целью в выпускной квалификационной работе является разработка проекта электрической сети кафе. Для достижения цели, поставленной в выпускной квалификационной работе нужно решить ряд задач:

- используя исходные данные и нормативные документы определить электрические нагрузки кафе;

- выполнить светотехнический расчет кафе, с применением современного программного обеспечения выполнить поверочный светотехнический расчет;
- определить конфигурацию схемы электрической сети кафе;
- используя нормативные документы рассчитать токи короткого замыкания в электрической сети кафе;
- выбрать кабели для электропроводки кафе с применением современных методик;
- выбрать электрические аппараты для электрической сети кафе с применением современных методик;
- используя нормативные документы рассчитать контур заземления электрической сети кафе;
- определить затраты на монтаж, наладку и эксплуатацию электрической сети кафе.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

Объектом проектирования в выпускной квалификационной работе выступает кафе. На рисунке 1 приведена планировка кафе.

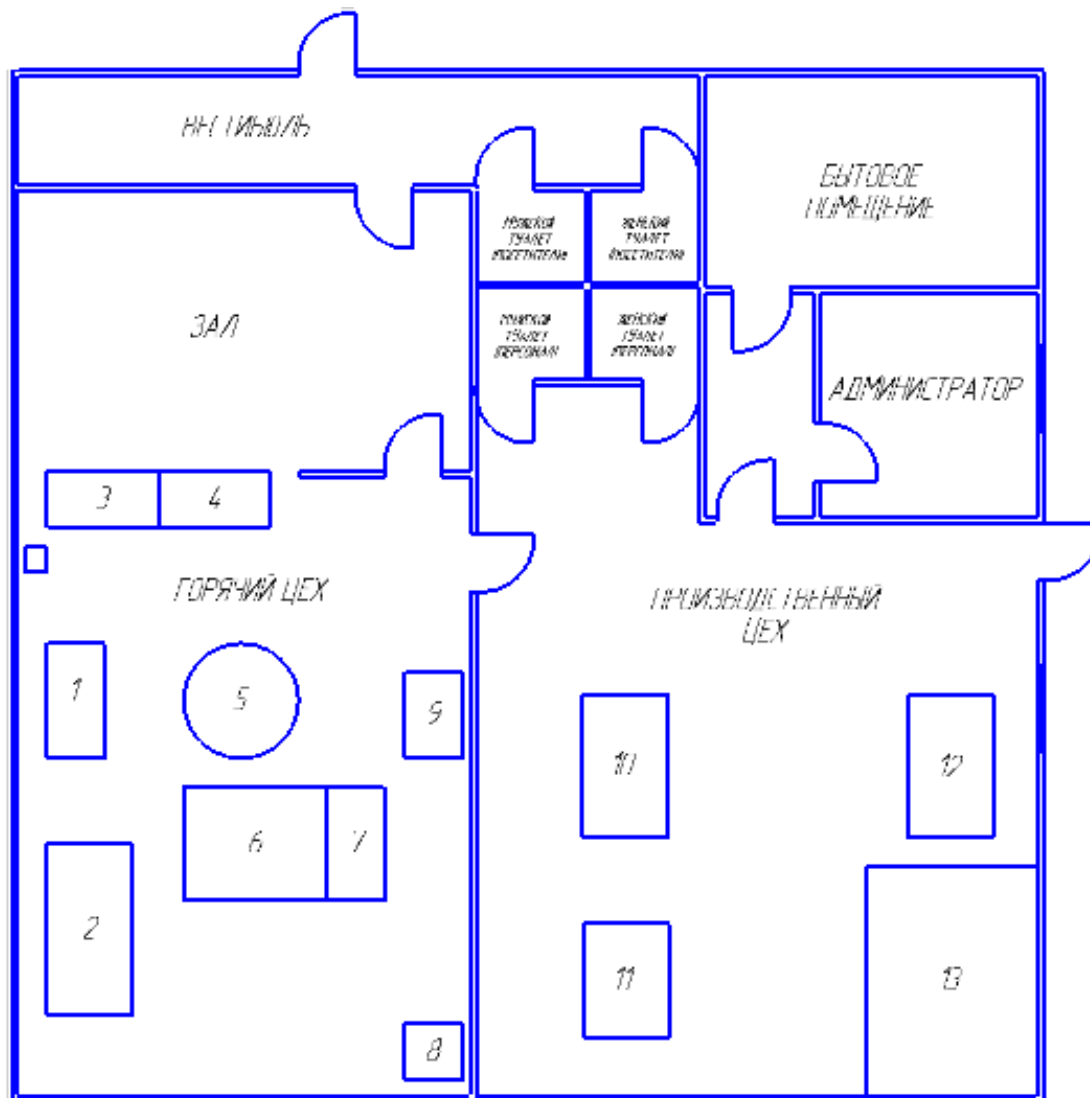


Рисунок 1 –Планировка кафе

Кафе включает в себя 11 помещений:

- вестибюль;
- зал;
- горячий цех;

- производственный цех;
- администрация;
- бытовое помещение
- мужской туалет для посетителей;
- мужской туалет для персонала;
- женский туалет для посетителей;
- женский туалет для персонала.

Кафе работает по трехсменному графику, без выходных.

Категория надежности электроснабжения – вторая.

Сведения о составе электроприемников кафе представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета электрических нагрузок кафе

№ на плане	наименование электроприемника	Установленная мощность электроприемника, кВт	Класс напряжения, кВ	Коэффициент мощности	Коэффициент использования
1	гриль	1,55	0,22	0,9	0,32
2	пароконвектомат	9,0	0,22	0,9	0,45
3	мармит для первых блюд	6,0	0,22	0,9	0,72
4	мармит для вторых блюд	4,0	0,22	0,9	0,72
5	котел	10,4	0,22	0,9	0,32
6	плита	11,6	0,22	0,9	0,66
7	сковорода	6,0	0,22	0,9	0,57
8	электрокипятильник	9,0	0,22	0,9	0,32
9	фритюрница	3,25	0,22	0,9	0,57
10	посудомоечная машина	3,75	0,22	0,72	0,82
11	кухонный процессор	1,1	0,22	0,72	0,72
12	холодильная камера	1,3	0,22	0,75	0,7
13	приточная вентиляция	3,0	0,4	0,78	0,8

Продолжение таблицы 1

№ на плане	наименование электроприемника	Установленная мощность электроприемника, кВт	Класс напряжения, кВ	Коэффициент мощности	Коэффициент использования
14	вытяжная вентиляция	5,0	0,4	0,78	0,85

Как видно из таблицы 1, наибольшее число силовых электроприемников приходится на кухню. В остальных помещениях предполагается проектирование осветительной сети.

Стоит заметить, что среди силовых электроприемников наличествуют как трехфазные, так и однофазные электроприемники.

Многие электроприемники электрической сети кафе характеризуются низким коэффициентом мощности, соответственно, необходимо рассмотреть вопрос компенсации реактивной мощности.

Сведения, приведенные в таблице 1, понадобятся при расчете электрических нагрузок кафе.

Выводы по разделу. В этом разделе приведена общая информация об объекте проектирования: определен состав силовых электроприемников кафе с указанием их установленной мощности, класса напряжения и других параметров; представлен генеральный план кафе, а также состав помещений.

2 Расчет электрических нагрузок кафе

Расчет электрических нагрузок – это основополагающий этап при разработке проекта электрической части любого объекта. По результатам этого расчета производится выбор кабелей, электрических аппаратов. При расчете электрических нагрузок нужно использовать исходные данные, которые приведены ранее в таблице 1.

Используя данные таблицы 1, нужно определить расчетную мощность каждой группы электроприемников (ЭП) с применением выражения (1):

$$P_{\text{ЭП}} = n p_{\text{ЭП}} \quad (1)$$

где n – число ЭП;

$p_{\text{ЭП}}$ – установленная мощность одного ЭП, кВт.

Для примера определяется расчетная мощность электродвигателя приточной вентиляции с применением выражения (1):

$$P_{\text{ЭП}} = 1 \cdot 3 = 3,0 \text{ кВт.}$$

Далее нужно определить среднесменную активную мощность рассматриваемого ЭП по выражению (2):

$$P_c = K_{\text{и}} P_{\text{ЭП}} \quad (2)$$

где $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования.

Применяя выражение (2) определяется среднесменную активную мощность электродвигателя приточной вентиляции:

$$P_c = 0,8 \cdot 3,0 = 2,4 \text{ кВт}$$

Далее определяется среднесменная реактивная нагрузка ЭП с применением выражения (3):

$$Q_c = K_{\text{и}} P_{\text{ЭП}} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (3)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Применяя выражение (3) определяется среднесменная реактивная нагрузка электродвигателя приточной вентиляции:

$$Q_c = 0,8 \cdot 3,0 \cdot 0,62 = 1,48 \text{ квар}$$

В кафе имеются однофазные электроприемники. Предварительно необходимо распределить их по разным фазам, а затем определить коэффициент асимметрии применяя выражение (4):

$$H = \frac{P_{\text{ф.нб}} - P_{\text{ф.нм}}}{P_{\text{ф.нб}}} \cdot 100\% \quad (4)$$

где $P_{\text{ф.нб}}$ – мощность наиболее загруженной фазы, кВт;

$P_{\text{ф.нм}}$ – мощность наименее загруженной фазы, кВт.

В случае, если асимметрия имеет значение более 15 %, то для определения расчетных мощностей однофазных ЭП правомерно использование выражения (5):

$$P_{\text{офЭП}} = 3P_{\text{ф.нб}} \quad (5)$$

Итак, определяется коэффициент асимметрии с применением выражения (4):

$$H = \frac{40,0 - 22,55}{40,0} \cdot 100\% = 17,4 \%$$

Для определения расчетных мощностей однофазных ЭП используется выражение (5):

$$P_{\text{офЭП}} = 3 \cdot 40,0 = 120 \text{ кВт}$$

Расчет остальных ЭП ведется по аналогичной методике.

Для определения среднесменных активной и реактивной нагрузок на шинах источника питания нужно использовать выражения (6) и (7):

$$P_p = \sum K_M P_c \quad (6)$$

$$Q_p = \sum K_M Q_c \quad (7)$$

где K_M – коэффициент совпадения максимумов.

С применением выражений (6) и (7) определяются среднесменные активная и реактивная нагрузки на шинах источника питания:

$$P_p = 0,85 \cdot 162,3 = 137,9 \text{ кВт}$$

$$Q_p = 0,85 \cdot 144,5 = 122,8 \text{ квар}$$

Теперь нужно определить расчетную полную мощность на шинах источника питания с применением выражения (8):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (8)$$

С применением выражения (8) определяется расчетная полная мощность на шинах источника питания:

$$S_p = \sqrt{137,9^2 + 122,8^2} = 184,6 \text{ кВА}$$

Теперь нужно определить расчетный ток на шинах источника питания с применением выражения (9):

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (9)$$

где U – напряжение на источнике питания, кВ.

С применением выражения (9) определяется расчетный ток на шинах источника питания:

$$I_p = \frac{184,6}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 266,4 \text{ А}$$

Расчет электрических нагрузок остальных электроприемников подключенных к электрической сети кафе ведется аналогичным образом по представленной выше методике.

Результаты расчета электрических нагрузок сведены в таблицу 2.

Выводы по разделу. В этом разделе определены электрические нагрузки силовых электроприемников, расчетная полная нагрузка составляет 184,6 кВА, расчетный ток составляет 266,4 А.

Таблица 2 – Результаты расчета электрических нагрузок

Исходные данные						Расчетные величины		Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_n$	$K_u P_n \text{tg}\varphi$		активная, кВт	реактивная, квар	полная, кВА	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.*	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэффициент мощности							
		одного ЭП	общая									
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
ЩС-1												
посудомоечная машина	1	3,25	3,25	0,57	0,9	1,85	0,88	0,95	4,85	3,9	4,2	3,1
кухонный процессор	1	3,75	3,75	0,82	0,72	3,07	2,95					
холодильная камера	1	1,1	1,1	0,72	0,72	0,79	0,76					
ЩС-2												
пароконвектомат	1	9,0	9,0	0,45	0,9	4,05	1,94	0,95	15,6	7,5	13,3	24,1
плита	1	10,4	10,4	0,32	0,9	3,328	1,59					
сковорода	1	11,6	11,6	0,66	0,9	7,656	3,67					
электрокипяtilьник	1	6,0	6,0	0,57	0,9	3,42	1,64					
ЩС-3												

Продолжение таблицы 2

Исходные данные						Расчетные величины		Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_n$	$K_u P_n t g \varphi$		активная, кВт	реактивная, квар	полная, кВА	
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.*	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэффициент мощности							
		одного ЭП	общая									
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
фритюрница	1	9,0	9,0	0,32	0,9	2,88	1,38	0,85	12,9	10,07	11,2	22,4
посудомоечная машина	1	3,75	3,75	0,82	0,72	3,07	2,95					
кухонный процессор	1	1,1	1,1	0,72	0,72	0,79	0,76					
холодильная камера	1	1,3	1,3	0,7	0,75	0,91	0,72					
приточная вентиляция	1	1,3	1,3	0,7	0,75	0,91	0,72					
вытяжная вентиляция	1	3,0	3,0	0,8	0,78	2,4	1,92					
котел	1	5,0	5,0	0,85	0,78	4,25	3,4					
ГРП												

Продолжение таблицы 2

Исходные данные					Расчетные величины		Коэффициент расчетной нагрузки	Расчетная мощность			Расчетный ток, А	
по заданию технологов				по справочным данным		$K_u P_n$		$K_u P_n \text{tg}\varphi$	активная, кВт	реактивная, квар		полная, кВА
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.*	Номинальная (установленная) мощность, кВт		коэффициент использования	коэффициент мощности							
		одного ЭП	общая									
1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15
ЩС-1	1				0,78	4,8	3,9	0,95	137,9	122,8	184,6	266,4
ЩС-2	1				0,9	15,6	7,5					
ЩС-3	1				0,77	12,9	10,0					

По результатам этого расчета производится выбор кабелей и электрических аппаратов для электрической сети кафе.

3 Расчет освещения кафе

Светотехнический расчет нужен для определения необходимого количества светильников, суммарный световой поток которых способен обеспечить нормируемую освещенность [2]. Распространенным методом расчета освещения выступает метод коэффициента использования светового потока, в силу того, что он наиболее точен и наименее трудоемок. В связи с этим, в ВКР используется этот метод расчета [9, 10, 15].

Перед расчетом необходимо определиться с источником света. Наиболее прогрессивным типом светильников выступают светодиодные светильники в силу ряда преимуществ [12, 15]:

- Светодиодные светильники имеют малую потребляемую мощность;
- Светодиодные светильники не содержат токсичных веществ;
- Светодиодные светильники имеют значительно больший ресурс относительно других видов источников света;
- Светодиодные светильники имеют большую механическую прочность в сравнении с другими видами светильников.

Очень важным преимуществом светодиодных светильников сравнительно с газоразрядными источниками света и лампами накаливания – это отсутствие пульсаций светового потока [6, 26]. Пульсации светового потока негативно сказываются на зрении и работоспособности людей, а у светодиодных светильников эти пульсации отсутствуют [6, 26].

Для определения числа светильников в помещении нужно использовать выражение (10):

$$N = \frac{E_n K_3 F z}{\Phi_l \eta_{\text{оу}}}, \quad (10)$$

где E_n – нормируемое значение освещенности, лк;

K_3 – коэффициент запаса, принимается равным 1,1;

F – освещаемая площадь, м²;

z – отношение средней освещенности к минимальной, для светодиодных светильников принимается равным 1,05;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы, лм;

$\eta_{\text{оу}}$ – коэффициент использования светового потока осветительной установки, о.е.

Для определения коэффициента использования светового потока осветительной установки необходимо знать индекс помещения, который можно определить по выражению (11):

$$i_{\text{п}} = \frac{AB}{H_{\text{р}}(A+B)}, \quad (11)$$

где A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м;

$H_{\text{р}}$ – высота рабочей поверхности, м.

Совместно с индексом помещения для определения коэффициента использования светового потока осветительной установки нужно знать коэффициенты $\rho_{\text{п}}$ – коэффициент отражения света от потолка, $\rho_{\text{с}}$ – коэффициент отражения света от стен, $\rho_{\text{р}}$ – коэффициент отражения от рабочей поверхности [7].

Для примера выполняется расчет необходимого числа светильников в помещении администратора. К расчету принимаются светодиодные светильники типа OFLEDSL 66 производства ООО «Волжский светотехнический завод», г. Тольятти. Для расчета нужно задаться исходными данными, которые приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для светотехнического расчета

$E_{\text{н}}$, лк	A , м	B , м	$H_{\text{р}}$, м	$\Phi_{\text{л}}$	$\rho_{\text{п}}$	$\rho_{\text{с}}$	$\rho_{\text{р}}$
300	4,0	2,0	0,5	2390	0,6	0,7	0,1

Для того что бы определить коэффициент использования светового потока осветительной установки необходимо рассчитать индекс помещения по выражению (11):

$$i_{\text{п}} = \frac{4,0 \cdot 2,0}{0,5 \cdot (4,0 + 2,0)} = 2,6.$$

По справочным таблицам, заданным коэффициентам отражения и индексу помещения выбирается значение коэффициента использования светового потока осветительной установки равное 0,95.

Теперь можно определить число светильников в офисном помещении торгового предприятия по выражению (10):

$$N = \frac{200 \cdot 1,2 \cdot 8,0 \cdot 1,05}{2290 \cdot 0,95} = 3,92 \approx 4.$$

Для освещения помещения администратора принимается 1 светильник типа OFLEDSL 66. Данный светильник показан на рисунке 2.



Рисунок 2 – Светодиодный светильник OFLEDSL 66

Светотехнический расчет остальных помещений кафе проводится по аналогии. Результаты расчета сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты светотехнического расчета кафе

Помещение	Число светильников	Тип светильников
вестибюль	6	OFLEDSL 66
зал	12	OFLEDSL 66
административное помещение	4	OFLEDSL 66
бытовое помещение	6	OFLEDSL 66
горячий цех	24	OFLEDSL 66
производственный цех	15	OFLEDSL 66
мужской туалет для посетителей	1	OFLEDSL 66
мужской туалет для персонала	1	OFLEDSL 66
женский туалет для посетителей	1	OFLEDSL 66
женский туалет для персонала	1	OFLEDSL 66
всего	68	

На рисунке 3 показана схема расположения светильников в помещениях кафе.

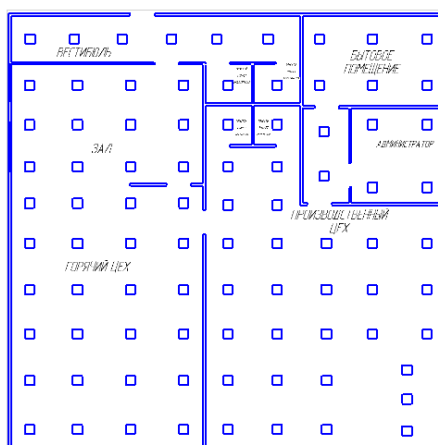


Рисунок 3 – Схема расположения светодиодных светильников в помещениях кафе

С целью удостоверения в адекватности светотехнического расчета выполнен поверочный светотехнический расчет в ПО «DIALUXEvo» [22, 23]. «DIALUXEvo» – мощный программный пакет, для расчетов освещенности как внутреннего, так и наружного освещения зданий и сооружений. Крайне удобным в этом ПО является возможность светотехнического расчета, как в трехмерном пространстве, так и в двухмерном.

Как говорилось выше, в ВКР выполняется поверочный светотехнический расчет с применением ПО «DIALUXEvo», цель расчета – удостоверение в адекватности результатов светотехнического расчета. Для выполнения светотехнического расчета в указанном ПО выбрано помещение горячего цеха. На рисунке 4 показан результат поверочного светотехнического расчета горячего цеха.

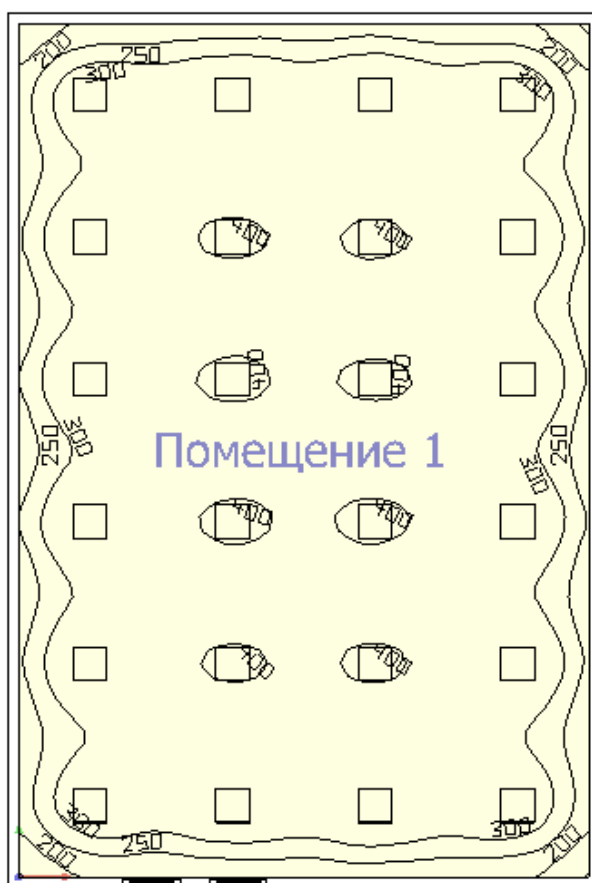


Рисунок 4 – Поверочный светотехнический расчет горячего цеха

Технология поверочного светотехнического расчета следующая. Вначале выполняется эскиз рассчитываемого помещения путем указания параметров длины, ширины и высоты помещения в соответствующих графах ПО. Затем по каталогу нужно выбрать подходящий светильник. После выбора светильника необходимо задать расчетное число светильников по осям X и Y . В поверочном расчете было задано 6 светильников по оси X и 6 светильников по оси Y , в соответствии с результатами, полученными в ходе светотехнического расчета. Затем, нужно расположить светильники на пространстве эскиза, после чего можно запустить расчет [24]. Результатом расчета становятся освещенности в помещении, значения которых указываются на эскизе [24, 25].

Итак, путем расчета определено, что для освещения помещений кафе необходимо 68 светодиодных светильников. Выполнен поверочный светотехнический расчет с применением ПО «DIALUXEvo». Результаты поверочного расчета показали адекватность выполненного в начале раздела светотехнического расчета. Стоит отметить еще одно преимущество ПО «DIALUXEvo», это возможность 3Dвизуализации результатов расчета. Это позволяет оценить результаты светотехнического расчета с максимальным приближением к реальности. На рисунке 5 показана эта возможность программного пакета.

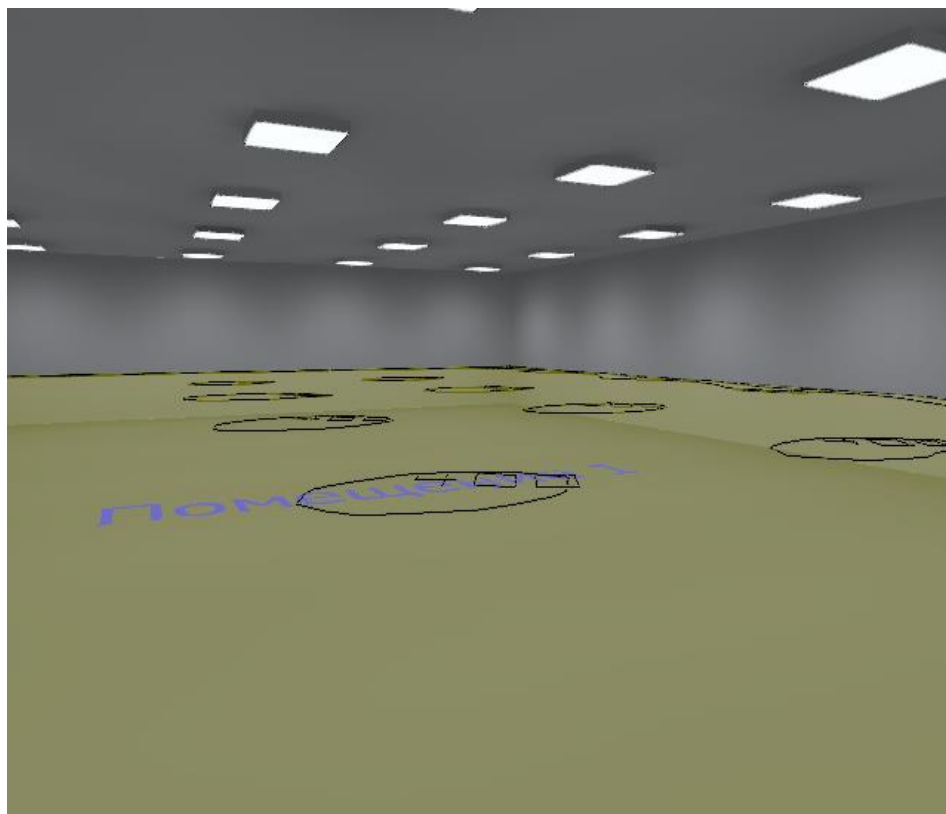


Рисунок 5 – 3Dвизуализация помещения торгового зала №1 с освещением
выбранными в расчете светильниками

Теперь необходимо определить мощность системы освещения кафе.
Для этого нужно использовать выражение (12):

$$P_{pc} = P_c n K_c \quad (12)$$

где P_c – установленная мощность одного светильника, кВт;

n – число светильников;

K_c – коэффициент спроса.

С применением выражения (12) определяется мощность осветительной
сети кафе:

$$P_{pc} = 0,026 \cdot 68 \cdot 0,7 = 1,23 \text{ кВт}$$

Для определения тока осветительной сети нужно использовать выражение (13):

$$I_{pc} = \frac{P_{pc}}{\sqrt{3}U_H} \quad (13)$$

С применением выражения (13) определяется ток осветительной сети кафе:

$$I_{pc} = \frac{1,23}{\sqrt{3} \cdot 0,22} = 3,2 \text{ А}$$

Далее необходимо рассчитать мощность устройства компенсации реактивной мощности.

Выводы по разделу. В этом разделе определены параметры сети освещения кафе. По результатам расчетов во всех помещениях кафе необходима установка 68 светодиодных светильников. С применением ПО выполнен поверочный расчет, показавший адекватность светотехнического расчета. Определена расчетная нагрузка сети освещения – 1,23 кВт.

4 Расчет системы компенсации реактивной мощности

Компенсация реактивной мощности – мероприятие, направленное на повышение качества электроэнергии в системах электроснабжения и электрических сетях предприятий, организаций, учреждений. Такие электроприемники как асинхронные машины, индукционные печи и некоторые другие потребляют из сети реактивную мощность. При этом, у линий снижается пропускная способность по активной мощности. По этой причине целесообразно генерировать реактивную мощность по месту ее потребления.

Необходимо определить нужную мощность конденсаторной батареи с применением выражения (14):

$$Q_c = P_p \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad (14)$$

где $tg\varphi_1$ – существующий коэффициент реактивной мощности;

$tg\varphi_2$ – требуемый коэффициент реактивной мощности.

С применением выражения (14) определяется нужная мощность конденсаторной батареи:

$$Q_c = 137,9 \cdot (0,72 - 0,33) = 53,7 \text{ квар}$$

Таким образом, необходимая мощность конденсаторной батареи – 53,7 квар. С применением каталога производителя конденсаторных батарей нужно выбрать наиболее подходящий вариант. Наиболее подходящим вариантом является батарея УКРМ-55 производства Новосибирского конденсаторного завода. Батарея показана на рисунке 6.



Рисунок 6 – УКРМ-55

Далее следует выбрать схему электрической сети кафе.

Выводы по разделу. В этом разделе выполнен расчет компенсации реактивной мощности электрической сети кафе. По результатам расчета необходима установка одной конденсаторной батареи мощностью 53,7 квар.

5 Выбор электрической схемы кафе

Выбор электрической схемы является ответственным этапом при проектировании электрических сетей предприятий, организаций и учреждений. От выбранной электрической схемы зависят простота конфигурации электрической сети, стоимость ее монтажа, и главным образом, параметры ее надежности.

Объекты общественного питания имеют смешанный состав ЭП, наличествуют как силовые ЭП, так и сеть освещения. Силовые ЭП, которые сконцентрированы в горячем и производственном цехах, целесообразно запитать от отдельных силовых щитов радиальными линиями. Систему освещения целесообразно запитать от отдельного щита, групповыми линиями.

Такое решение имеет ряд преимуществ: во-первых, питание мощных силовых ЭП от отдельного щита радиальными линиями позволяет повысить надежность работы всей электрической сети кафе, а во-вторых, питание сети освещения от отдельного щита групповыми линиями позволяет снизить стоимость монтажа этой электрической сети. Схема электрической сети кафе показана на рисунке 7.

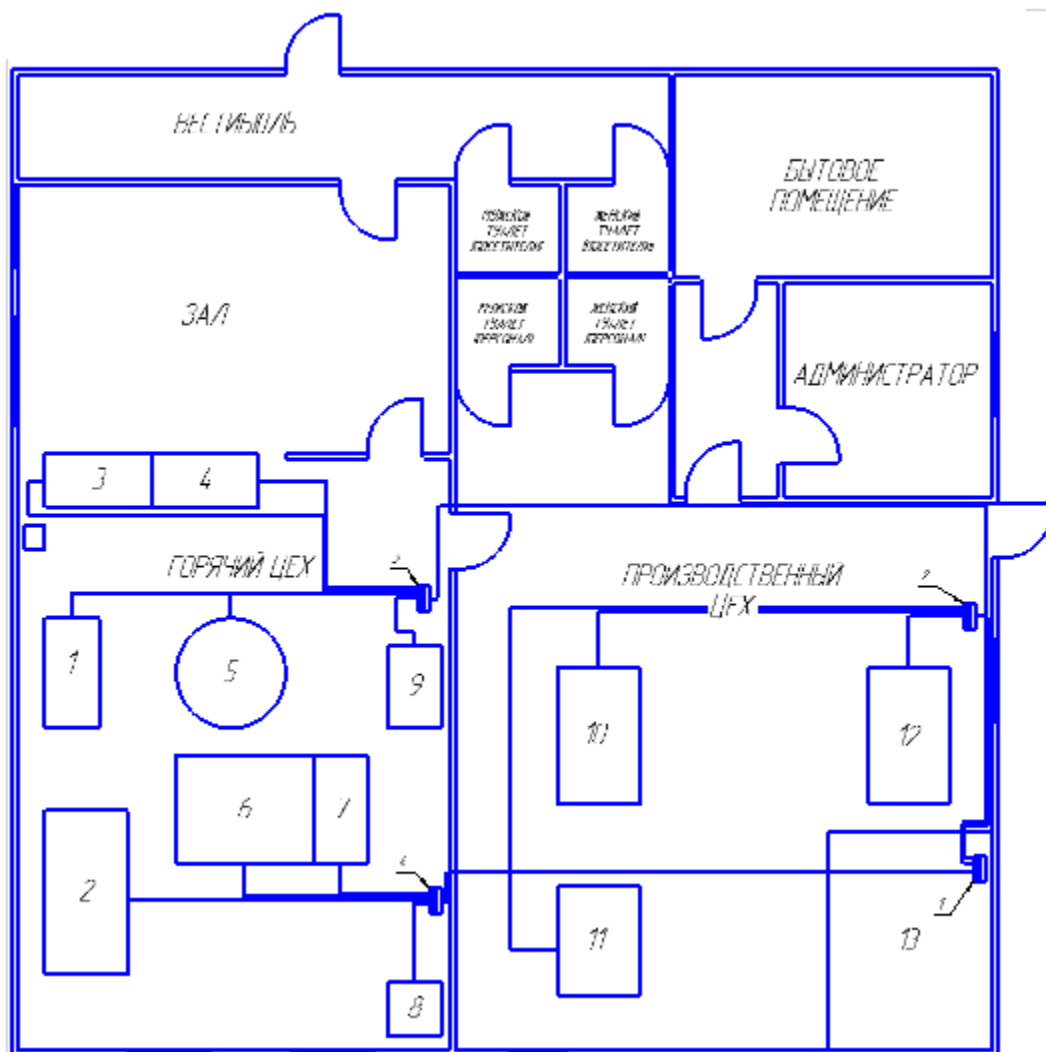


Рисунок 7 – Конфигурация электрической схемы кафе

Далее нужно определить токи короткого замыкания

Выводы по разделу. В этом разделе определены параметры электрической схемы кафе. В итоге принята радиальная схема, как наиболее надежная. Сеть освещения кафе запитана от отдельного щита.

6 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания необходим для определения значений токов трехфазного короткого замыкания, по значениям этих токов выполняется выбор электрических аппаратов [18].

Расчет токов короткого замыкания (ТКЗ) проводится по рекомендациям из РД 153.34.0-20.527-98 [4] и ГОСТ 28249-93 [11].

Перед началом расчета составляется схема замещения, в которой все элементы рассматриваемого участка рассматриваются как эквивалентные активные сопротивления. Схема замещения для расчета ТКЗ линии питающей силовые ЭП кафе показана на рисунке 8.

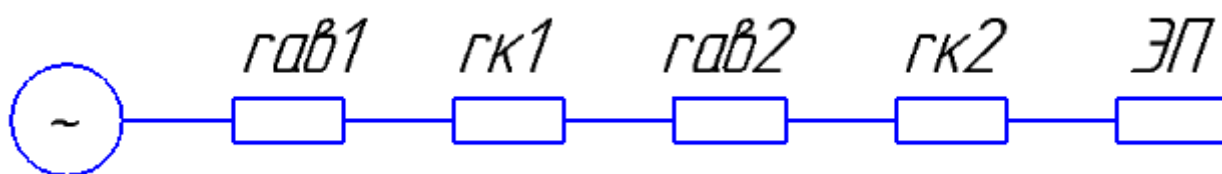


Рисунок 8 – Схема замещения для расчета ТКЗ

Расчет ТКЗ начинается с определения сопротивлений элементов схемы замещения. Сначала нужно определить активное сопротивление кабеля соединяющего автоматический выключатель главного распределительного пункта (ГРП) с силовым щитом с применением выражения (15):

$$r_k = c_0 r_{\text{кном}}, \quad (15)$$

где c_0 – коэффициент, учитывающий увеличение активного сопротивления кабеля при нагреве ТКЗ, принимается равным 1,5;
 $r_{\text{кном}}$ – активное сопротивление кабеля при нормальных условиях, Ом.

Такие параметры как активное сопротивление контактов автоматического выключателя определяются по таблицам [11].

Для того, что бы знать номинальное сопротивление кабеля необходимо знать погонное сопротивление кабеля и его длину. Для расчета номинального сопротивления кабеля нужно использовать выражение (16):

$$r_{\text{кном}} = r_{\text{пк}} l_{\text{к}}, \quad (16)$$

где $r_{\text{пк}}$ – погонное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

$l_{\text{к}}$ – длина кабеля, км.

Применяя выражение (16) определяется номинальное активное сопротивление кабеля соединяющего ГРП с силовым щитом №1:

$$r_{\text{кном}} = 1,79 \cdot 0,1 = 0,179 \text{ Ом.}$$

Теперь нужно определить сопротивление этого же кабеля с применением выражения (16):

$$r_{\text{к}} = 1,5 \cdot 0,179 = 0,268 \text{ Ом.}$$

Сопротивление кабеля от силового щита №1 до холодильной камеры определяется аналогичным образом

Суммарное активное сопротивление рассматриваемого участка определяется по выражению (17):

$$r_{\Sigma} = r_{\text{ав1}} + r_{\text{к1}} + r_{\text{ав2}} + r_{\text{к2}}, \quad (17)$$

где $r_{\text{ав}}$ – активное сопротивление контактов автоматического выключателя, Ом;

Применяя выражение (17) определяется суммарное активное сопротивление рассматриваемого участка:

$$r_{\Sigma} = 0,001 + 0,179 + 0,001 + 0,08 = 0,26 \text{ Ом.}$$

Теперь нужно определить периодическую составляющую ТКЗ по выражению (18):

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot r_{\Sigma}}, \quad (18)$$

где $U_{\text{ср}}$ – среднее номинальное напряжение сети, кВ.

Применяя выражение (18) определяется периодическая составляющая ТКЗ рассматриваемого участка:

$$I_{\text{п0}} = \frac{0,22}{\sqrt{3} \cdot 0,26} = 0,48 \text{ кА.}$$

Далее определяется аperiodическая составляющая ТКЗ по выражению (19):

$$i_{a0} = \sqrt{2I_{\text{п0}}}, \quad (19)$$

Применяя выражение (19) определяется аperiodическая составляющая ТКЗ:

$$i_{a0} = \sqrt{2} \cdot 0,48 = 0,67 \text{ кА.}$$

Теперь нужно определить ударный ТКЗ по выражению (20):

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{п0}} K_{\text{уд}}, \quad (20)$$

где $K_{\text{уд}}$ – ударный коэффициент, принимается равным 1,1 в соответствии с кривой на рисунке 9.

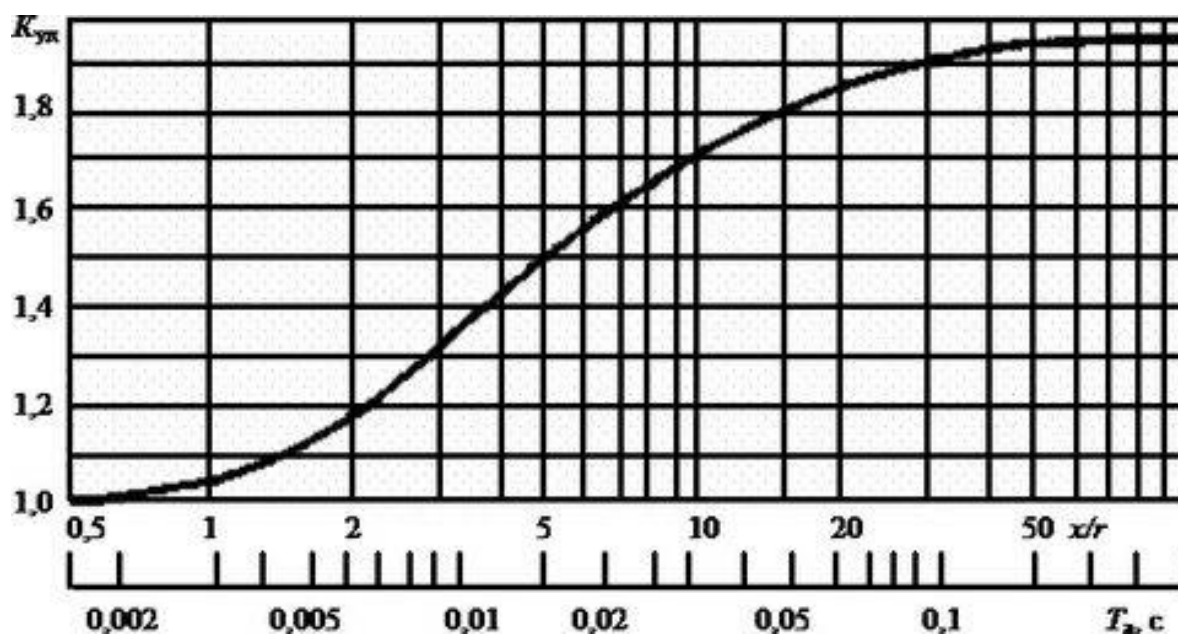


Рисунок 9 – Кривая для определения ударного коэффициента

Применяя выражение (20) определяется ударный ТКЗ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 0,48 \cdot 1,1 = 0,74 \text{ кА.}$$

Расчет ТКЗ остальных участков электрической сети кафе ведется аналогичным образом. Результаты расчета сведены в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчета ТКЗ электрической сети кафе

Щит	Электроприемник	$I_{п0}$, кА	i_{a0} , кА	$i_{уд}$, кА
ЩС-1	посудомоечная машина	0,61	0,77	0,84
	кухонный процессор	0,52	0,69	0,80
	холодильная камера	0,48	0,67	0,74
ЩС-2	пароконвектомат	0,55	0,71	0,82
	плита	0,41	0,61	0,72
	сковорода	0,45	0,60	0,73
	электрокипятильник	0,51	0,68	0,75
ЩС-3	гриль	0,61	0,78	0,92
	мармит для первых блюд	0,63	0,80	0,93

Продолжение таблицы 5

Щит	Электроприемник	$I_{п0}$, кА	i_{a0} , кА	$i_{уд}$, кА
ЩС-3	мармит для вторых блюд	0,62	0,80	0,92
	котел	0,52	0,66	0,75
	фритюрница	0,51	0,68	0,76
ЩО-1	электрощитовая, производственный цех	0,18	0,25	0,36
ЩО-2	административное помещение, бытовое помещение	0,21	0,29	0,41
ЩО-3	горячий цех	0,22	0,32	0,43
ЩО-4	зал, вестибюль	0,18	0,24	0,35

Выводы по разделу. Таким образом, по результатам расчета токов короткого замыкания в электрической сети кафе становится понятно, что принятия специальных мер для ограничения токов короткого замыкания не требуется, значения токов короткого замыкания не выходят за пределы шкалы значений токов отключения современных автоматических выключателей. Наибольшее значение ударного тока короткого замыкания относится к линии питающей мармит для первых блюд и равно 0,93 кА.

В дальнейшем, результаты расчета токов короткого замыкания понадобятся при выборе коммутационных аппаратов для электрической сети кафе.

7 Выбор кабелей

Проектирование электропроводки зданий и сооружений достаточно ответственный этап. Грамотный выбор типа кабелей и способа прокладки влияет на множество факторов, начиная от экономичности заканчивая пожаробезопасностью.

На проектирование электропроводки влияет ряд факторов:

- расчетные токи нагрузки проектируемой электропроводки;
- класс напряжения электропроводки;
- тип здания, сооружения для которого предназначается электропроводка;
- класс пожароопасности, взрывоопасности здания, сооружения.

Выбор кабелей для электропроводки осуществляется по двум методам [8]: методом экономической плотности тока (применяется для оголенных проводников) и по методу нагрева (применяется для изолированных проводников). Электропроводка зданий и сооружений, как правило, выполняется изолированными проводниками [8].

Итак, такой объект как кафе, не имеет рисков взрыва, кафе не хранит и не использует пожароопасные вещества, расчетные токи берутся из таблицы 6.

Выбор электропроводки для электрической сети осуществляется по методу нагрева. Для этого нужно сопоставить расчетное значение тока с предельно допустимым для выбираемого кабеля (21):

$$I_{\text{доп}} \geq I_p. \quad (21)$$

где $I_{\text{доп}}$ – предельно допустимый ток кабеля, А;

Для примера выполняется выбор кабеля для плиты с использованием выражения (21). Известно, что расчетный ток линии от Щита №2 до плиты составляет 40,1 А. Теперь по таблицам [3] нужно найти кабель с близким

предельно допустимым током. По значению предельно допустимого тока подходит кабель с сечением токоведущей жилы 10 мм^2 , допустимый ток такого кабеля составляет 45 А. По каталогу выбирается кабель типа ВВГнг(А)-3-10 с медными жилами производства ООО «Самкаб», г. Самара, представленный на рисунке 10.

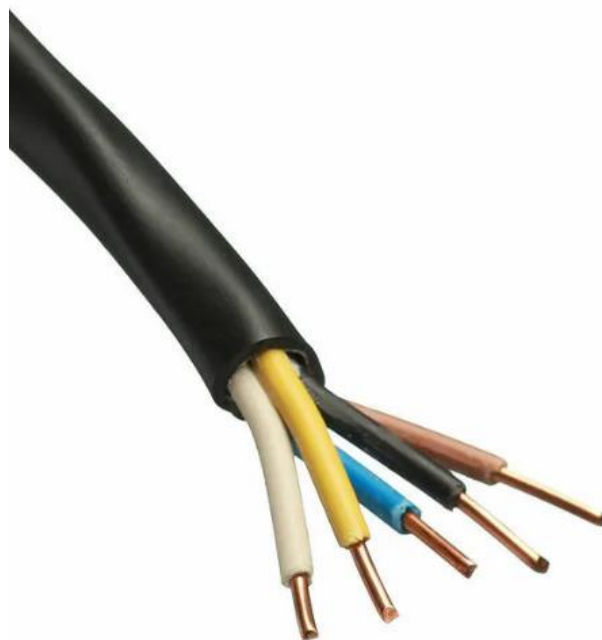


Рисунок 10 – Кабель ВВГнг(А)-3-10

Расчет и выбор кабелей для остальных ЭП и светильников выполняется по аналогии, результаты расчетов сведены в таблицу 6.

Теперь нужно определить потери мощности и напряжения в выбранных кабелях. Для примера определяются потери в кабеле от силового щита №1 до холодильной камеры.

Для определения потерь мощности в кабелях используется выражение (22):

$$\Delta P = \frac{P_p^2 + jQ_p^2}{U_{\text{ном}}^2} \cdot r \quad (22)$$

где Q_p – потребляемая ЭП реактивная мощность, квар;

r – активное сопротивление жил кабеля, Ом.

Определяются потери мощности в линии от силового щита до холодильной камеры с применением выражения (21):

$$\Delta P = \frac{0,79^2 + j0,76^2}{0,22^2} \cdot 1,79 = 0,22 \text{ кВт}$$

Из расчета заметно, что потеря мощности в кабельной линии от силового щита до ЭП незначительна.

Далее нужно определить потерю напряжения в кабельной линии от силового щита до ЭП с применением выражения (23):

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot r + Q_p \cdot x}{U_{\text{ном}}} \cdot l \quad (23)$$

С применением выражения (23) определяется напряжения в кабельной линии от щита до ЭП:

$$\Delta U = \frac{0,79 \cdot 1,79 + 0,76 \cdot 0,006}{0,22} \cdot 0,1 = 0,64 \text{ В}$$

Из расчета видно, что потеря напряжения незначительна.

Также нужно проверить выбранный кабель по условию термической стойкости к току КЗ.

Условие выглядит таким образом (24):

$$S_{\text{Тс}} \leq S_{\text{К}} \quad (24)$$

где $S_{\text{Тс}}$ – сечение кабеля необходимое по условиям термической стойкости, мм²;

s_k – выбранное сечение кабеля, мм².

Для определения сечения кабеля необходимого по условиям термической стойкости нужно применить выражение (25):

$$s_{\text{тс}} = \frac{I_{\text{п0}} \sqrt{t_3}}{C} \quad (25)$$

где t_3 – время срабатывания защитного аппарата, с;

C – термический коэффициент, Ас²/мм².

Сначала с применением выражения (25) определяется сечения кабеля необходимого по условиям термической стойкости:

$$s_{\text{тс}} = \frac{0,48 \cdot \sqrt{0,5}}{141,0} = 0,002 \text{ мм}^2$$

Теперь нужно сравнить выбранное сечение кабеля с сечением кабеля необходимого по условиям термической стойкости применяя соотношение (24):

$$0,002 \text{ мм}^2 \leq 10 \text{ мм}^2$$

Из результатов расчета заметно, что выбранное сечение соответствует параметрам термической стойкости.

Расчет по остальным ЭП и светильникам ведется аналогично, результаты сведены в таблицу 6. Результаты проверки кабелей по термической стойкости сведены в таблицу 7.

Таблица 6 – Результаты расчета и выбора кабелей для электрической сети кафе

Силовой щит	Электроприемник	Кабель	Сечение, мм ²	Потеря мощности, кВт	Потеря напряжения, В
ЩС-1	посудомоечная машина	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,18	0,9
	кухонный процессор	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,20	0,5
	холодильная камера	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,22	0,64
ЩС-2	пароконвектомат	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,23	0,56
	плита	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,26	0,54
	сковорода	ВВГ-нг-3-2,0	2,0	0,33	0,22
	электрокипятильник	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,55	0,23
ЩС-3	гриль	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,45	0,25
	мармит для первых блюд	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,58	0,56
	мармит для вторых блюд	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,61	0,54
	котел	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,21	0,57
	фритюрница	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,22	0,58
ЩО-1	электрощитовая, производственный цех	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,22	0,45
ЩО-2	административное помещение, бытовое помещение	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,42	0,91
ЩО-3	горячий цех	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,31	0,58
ЩО-4	зал, вестибюль	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,32	0,44

Таблица 7 – Результаты проверки кабелей по параметрам термической стойкости к токам КЗ

Силовой щит	Электроприемник	Кабель	Сечение, мм ²	Сечение по условиям термической стойкости мм ² ,
ЩС-1	электрическая плита	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,006
	духовой шкаф	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,004
	посудомоечная машина	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,005
	холодильная камера	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,002
ЩС-2	пароконвектомат	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,0001
	плита	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,0001
	сковорода	ВВГ-нг-3-2,0	2,0	0,0001
	электрокипятильник	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,0001
ЩС-3	гриль	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,002
	мармит для первых блюд	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,003
	мармит для вторых блюд	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,0001
	котел	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,002
	фритюрница	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,003
ЩО-1	электрощитовая, производственный цех	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,0001
ЩО-2	административное помещение, бытовое помещение	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,0001
ЩО-3	горячий цех	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,0001
ЩО-4	зал, вестибюль	ВВГ-нг-3-1,5	1,5	0,0001

Выводы по разделу. Таким образом, в качестве способа прокладки кабелей электропроводки кафе принимается прокладка кабелей в гофрированных трубах над потолком в перекрытии. Такое решение позволяет сэкономить средства на электромонтажных работах, а также на материалах. Изоляция выбранных кабелей изготовлена из материалов с низкой степенью образования дыма.

8 Выбор электрических аппаратов и вспомогательного оборудования

Коммутационные аппараты – важная составляющая любой системы электроснабжения, т.к. они выполняют операции включения и отключения в системах электроснабжения, а также на отдельные виды коммутационных аппаратов также налагаются функции защиты систем электроснабжения [14, 17].

В системах электроснабжения до 1 кВ широкое применение нашли автоматические выключатели, которые практически полностью вытеснили плавкие предохранители. В отличие от плавких предохранителей, автоматический выключатель является многократным коммутационным аппаратом, к тому же, оперирование автоматическим выключателем значительно более безопасно, в сравнении с плавкими предохранителями, что говорит в пользу автоматических выключателей. Стоит также отметить развитие автоматических выключателей с микропроцессорным расцепителем [14].

Выбор автоматических выключателей осуществляется с учетом ряда факторов [1]:

- класс напряжения защищаемой сети;
- расчетный ток нагрузки;
- расчетный ударный ток короткого замыкания;
- число фаз в системе электроснабжения;

Итак, в электрической сети кафе используются два класса напряжения – 220 В и 400 В.

Выбор коммутационных аппаратов осуществляется с применением результатов расчетов электрических нагрузок и результатов расчета ТКЗ. Главными условиями выбора коммутационных аппаратов выступают следующие соотношения (26), (27):

$$I_{\text{ном.КА}} \geq I_p, \quad (26)$$

где $I_{\text{ном.КА}}$ – номинальный ток коммутационного аппарата, А;

I_p – расчетный ток защищаемого участка, А.

$$I_{\text{откл.КА}} \geq i_{\text{уд}}, \quad (27)$$

где $I_{\text{откл.КА}}$ – ток отключения КЗ коммутационным аппаратом, кА;

$i_{\text{уд}}$ – расчетный ударный ТКЗ, кА.

Для примера выполняется выбор коммутационного аппарата для плиты с применением выражений (26) и (27). К применению рассматривается автоматический выключатель (АВ) IEK ВА47-29 1Р производства АО «Контактор», г. Ульяновск. Выбранный автоматический выключатель приведен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Автоматический выключатель IEK ВА47-29 1Р

С применением формул (26) и (27) определяются параметры автоматического выключателя:

$$\begin{aligned} 55,0 &\geq 40,1, \\ 4,0 &\geq 1,8 \end{aligned}$$

Номинальный ток рассматриваемого АВ составляет 55,0 А, допустимый отключаемый ТКЗ составляет 4 кА, при том что расчетный ток нагрузки ЭП составляет 40,1 А, а расчетный ударный ТКЗ составляет 0,72 кА.

Выбранный автоматический выключатель необходимо проверить по параметрам термической стойкости к току КЗ с применением соотношения (28):

$$B_{\text{тсн}} \geq B_{\text{тср}} \quad (28)$$

где $B_{\text{тсн}}$ – номинальное значение термической стойкости АВ, Ас^2 ;

$B_{\text{тср}}$ – расчетное значение термической стойкости АВ, Ас^2 .

Расчетное значение параметра термической стойкости АВ определяется выражением (29):

$$B_{\text{тср}} = I_{\text{п0}}^2 \cdot t_z \quad (29)$$

Применяя выражение (29) определяется параметр термической стойкости выбранного АВ:

$$B_{\text{тср}} = 0,72^2 \cdot 0,5 = 0,36$$

Из расчета видно, что выбранный АВ подходит по параметру термической стойкости.

Таким образом, рассматриваемый АВ может быть применен в качестве коммутационного аппарата для электрической сети кафе.

Выбор остальных коммутационных аппаратов выполняется по аналогии. Результаты выбора коммутационных аппаратов приведены в таблице 8.

Для защиты персонала кафе от поражения током в результате прикосновения к металлическим частям электрооборудования, в электрической сети должно быть предусмотрено устройство защитного отключения (УЗО).

Для выбора УЗО нужно определить значение дифференциального отключающего тока, которое определяется выражением (30):

$$I_{\Delta} = 0,4 \cdot I_p + 0,01l \quad (30)$$

С применением выражения (3) определяется значение дифференциального отключающего тока:

$$I_{\Delta p} = 0,4 \cdot 40,1 + 0,01 \cdot 0,3 = 16,3 \text{ А}$$

При выборе УЗО должно соблюдаться следующее условие, согласно соотношению (31):

$$I_{\Delta n} > 3 \cdot I_{\Delta p} \quad (31)$$

Т.е., значение дифференциального тока устройства УЗО должно быть не менее чем в три раза больше, чем расчетное значение дифференциального тока. Теперь по соотношению (31) определяется необходимое значение дифференциального тока УЗО:

$$45,6 \text{ А} > 3 \cdot 15,2 \text{ А}$$

Таким образом, дифференциальный ток УЗО должен быть не менее 45,6 А. Ближайшее значение дифференциального тока УЗО 50 А, выбирается УЗО типа ЭРА ProNO-902. Выбранное УЗО показано на рисунке 12.



Рисунок 12 – УЗО типа ЭРА ProNO-902

Выбор электрических аппаратов для других ЭП кафе проводится по аналогии, результаты выбора представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора коммутационных аппаратов электрической сети кафе

Силовой щит	Электроприемник	$I_{ном.КА},$ А	$I_{откл.КА},$ кА	$B_{тсн},$ Ас ²	$I\Delta_n, А$	Тип УЗО	тип АВ
ЩС-1	электрическая плита	10,0	4,0	0,72	50,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	духовой шкаф	16,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P

Продолжение таблицы 8

Силовой щит	Электроприемник	$I_{\text{ном.КА}}, \text{А}$	$I_{\text{откл.КА}}, \text{кА}$	$B_{\text{тсн}}, \text{Ас}^2$	$I\Delta_n, \text{А}$	Тип УЗО	тип АВ
ЩС-1	посудомоечная машина	10,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
ЩС-2	холодильная камера	10,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	пароконвектомат	16,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	плита	16,0	4,0	0,72	50,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	сковорода	10,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	электрокипятильник	10,0	4,0	0,72	35,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
ЩС-3	гриль	10,0	4,0	0,72	35,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	мармит для первых блюд	10,0	4,0	0,72	30,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	мармит для вторых блюд	10,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	котел	10,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
	фритюрница	10,0	4,0	0,72	50,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
ЩО-1	электрощитовая, производственный цех	10,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
ЩО-2	административное помещение, бытовое помещение	10,0	4,0	0,72	45,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
ЩО-3	горячий цех	10,0	4,0	0,72	50,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P
ЩО-4	зал, вестибюль	10,0	4,0	0,72	50,0	ЭРА ProNO-902	IEK BA47-29 1P

В этом же разделе выбрано вспомогательное оборудование электрической сети кафе, такое как корпуса силовых и осветительных щитов, оборудование для прокладки кабелей.

Данные для выбранного оборудования приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Выбранные щиты для электрической сети кафе

Щит	Марка щита
ЩС-1	EKF mb22-1
ЩС-2	EKF mb22-1
ЩС-3	EKF mb22-1
ЩО-1	IEK YKM40-03-54
ЩО-2	IEK YKM40-03-54
ЩО-3	IEK YKM40-03-54
ЩО-4	IEK YKM40-03-54

Выбранные щиты представлены на рисунках 13 и 14.



Рисунок 13 – Корпус щита типа EKFmb22-1



Рисунок 14 – Корпус щита ЕКFmb22-1

Как говорилось ранее, кабели прокладываются в гофрированных трубах, для прокладки выбраны трубы типа ЭРА GOFR-50-20 (рисунок 15).



Рисунок 15 – Гофрированная труба ЭРА GOFR-50-20

Выводы по разделу. Таким образом, из результатов расчета, выполненных в этом разделе, заметно, что выбранные коммутационные аппараты (автоматические выключатели и устройства защитного отключения) соответствуют всем требованиям по их выбору (отключающая способность, номинальное напряжение, номинальный ток). Выбранные в разделе коммутационные аппараты способны выдержать расчетный ток нагрузки силовых электроприемников подключенных к электрической сети кафе, выбранные коммутационные аппараты способны выдержать и отключить расчетные токи короткого замыкания электрической сети кафе.

Также в этом разделе выбрано вспомогательное оборудование такое как силовые щиты и гофрированные трубы, выполненные из слабо поддерживающих горение материалов.

9 Расчет заземления

Заземление является важным актом электробезопасности, эксплуатация электроустановок с неисправной системой заземления не допускается. В связи с этим, к расчету заземления электроустановок нужно подходить максимально ответственно.

Для таких объектов как кафе обычно применяется система заземления типа TN-S (рисунок 16).

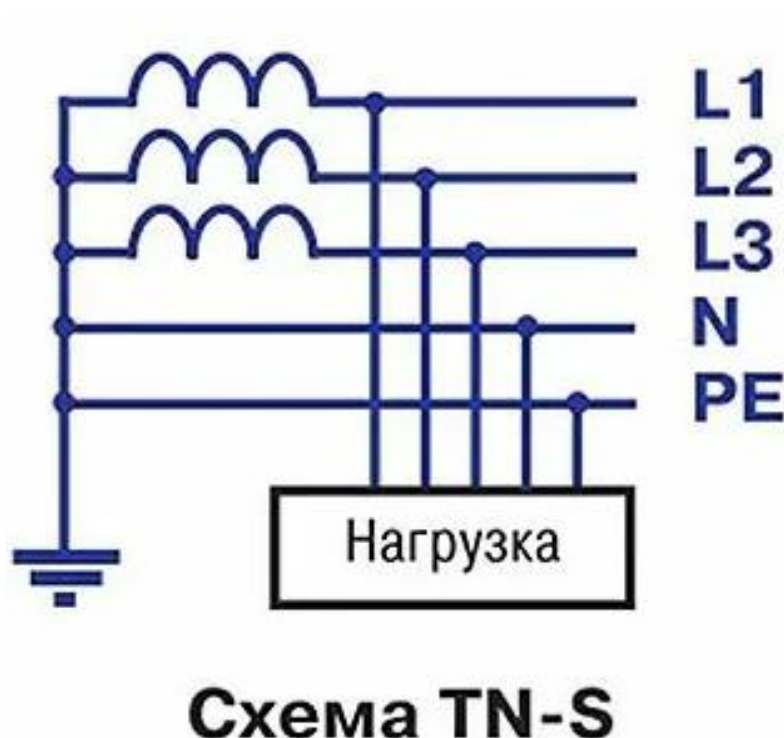


Рисунок 16 – Система заземления TN-S

В этой системе заземления используется отдельный проводник для подключения корпусов электрооборудования к контуру заземления, часто именуемый как защитный нулевой проводник.

Для примера выполняется расчет контура заземления в помещении горячего цеха. Расчет заземления начинается с определения сопротивления растеканию тока. Для этого применяется выражение (32):

$$R_p = 0,9 \cdot \frac{\rho}{l_3} \quad (32)$$

где ρ – сопротивление грунта, Ом/м;

l_3 – длина полосы заземлителя, м.

С применением выражения (32) определяется сопротивление растеканию тока:

$$R_p = 0,9 \cdot \frac{55,0}{2,0} = 24,7 \text{ Ом}$$

Далее нужно определить число заземлителей с применением выражения (33):

$$n = \frac{R_p}{r} \quad (33)$$

где r – нормируемое сопротивление одного заземлителя, Ом.

С применением выражения (33) определяется число заземлителей:

$$n = \frac{24,7}{4,0} = 6,1$$

Число заземлителей принимается равным шести.

Теперь определяется длина соединительной полосы заземлителей с применением выражения (34):

$$l_{\Pi} = n \cdot a \quad (34)$$

где a – расстояние между заземлителями, м;

С применением выражения (34) определяется длина соединительной полосы:

$$l_{\Pi} = 6 \cdot 2 = 12 \text{ м}$$

Теперь определяется сопротивление растеканию тока соединительной полосы с применением выражения (35):

$$R_{\Pi} = 2,1 \cdot \frac{\rho}{l_{\Pi}} \quad (35)$$

С применением выражения (35) сопротивление растеканию тока соединительной полосы:

$$R_{\Pi} = 2,1 \cdot \frac{55,0}{12,0} = 9,6 \text{ Ом}$$

Теперь нужно определить результирующее значение сопротивления растеканию тока всего контура заземления с применением выражения (36):

$$R_{\Sigma} = \frac{R_p \cdot R_{\Pi}}{\eta_p \cdot R_p + \eta_{\Pi} \cdot R_{\Pi}} \quad (36)$$

где η_p – коэффициент экранирования заземлителей;

η_{Π} – коэффициент экранирования соединительной полосы.

С применением выражения (36) определяется результирующее значение сопротивления растеканию тока всего контура заземления:

$$R_{\Sigma} = \frac{24,7 \cdot 9,6}{0,45 \cdot 24,7 + 0,34 \cdot 9,6} = 16,4 \text{ Ом}$$

Расчет контуров заземления в других помещениях ведется аналогично, результаты сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты расчета контуров заземления кафе

Помещение	R_p , Ом	$R_{п}$, Ом	R_{Σ} , Ом	n	$l_{п}$, м
вестибюль	24,7	8,9	16,0	6	12,0
зал	24,5	8,8	15,2	5	15,0
горячий цех	22,7	9,6	16,4	6	12,0
производственный цех	23,5	9,1	16,7	6	15,0
администрация	24,5	9,3	15,3	7	15,0
бытовое помещение	21,1	9,1	15,5	7	14,0
мужской туалет для посетителей	26,6	9,2	16,6	6	2,0
мужской туалет для персонала	21,1	8,6	16,2	6	2,0
женский туалет для посетителей	24,1	7,1	15,1	4	2,0
Женский туалет для персонала	24,2	7,2	15,2	4	2,0

Выводы по разделу. Таким образом, для организации контуров заземления в электрической сети кафе необходимо 57 вертикальных заземлителей, совокупная длина соединительной полосы составляет 91 м.

Заключение

В выпускной квалификационной работе поставлена и достигнута цель выполнения проекта электрической сети кафе. Для достижения цели решен ряд задач.

На первом этапе проектирования системы электроснабжения кафе с использованием нормативной документации определены электрические нагрузки кафе, по результатам расчета нагрузка составляет 137,9 кВт. Далее выполнен светотехнический расчет помещений кафе, основанный на методе коэффициента использования светового потока, в результате, для достижения нормируемой освещенности в помещениях кафе необходимо 68 светодиодных светильников. Результаты светотехнического расчета помещений кафе были проверены на адекватность с применением программного обеспечения. В проекте электроснабжения кафе приняты светодиодные светильники типа OFLED-SL 66. Третья решенная задача – выбор электрической схемы кафе, в результате которого принята радиальная схема электрической сети, как одна из наиболее надежных.

На следующем этапе определены токи короткого замыкания в системе электроснабжения кафе, используя значения которых выбраны электрические аппараты для электрической сети кафе. На предпоследнем этапе рассчитан контур заземления электрической сети кафе, по результатам этого расчета определено необходимое число вертикальных заземлителей и длины соединительных полос для обеспечения условий электробезопасности в помещениях кафе.

Таким образом, спроектированная электрическая сеть кафе отвечает современным нормам проектирования, требованиям электробезопасности и энергоэффективности используемых на территории Российской Федерации.

Список используемых источников

1. Белорусов Н.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Москва: Энергоатомиздат, 1988. 536 с.
2. Готман В.И. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах. Томск: ТПУ, 2013. – 120 с.
3. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. М: Стандартинформ, 2006. 47 с.
4. ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. – 19 с.
5. ГОСТ Р 50030.2-99 Автоматические выключатели. М.: Стандартинформ, 2010. – 108 с.
6. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка, и эксплуатация электрооборудования. М.: Инфра-М, 2013. – 272 с.
7. Кабышев А.В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий. Томск: ТПУ, 2012. 234 с.
8. Козловская В.Б. Электрическое освещение. Минск: Техноперспектива, 2008. – 277 с.
9. Костин В.Н. Электропитающие системы и электрические сети. СПб: Издательство СЗГЗТУ, 2007. – 255 с.
10. Мазуркевич В.Н. Проектирование заземляющих устройств ОРУ электрических станций и подстанций. Минск: БНТУ, 2012, 58 с.
11. Панова А.В. Экономика энергетики: учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2013. – 87 с.
12. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. – Новосибирск: Норматика, 2016. – 464 с.

13. РД 153.34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. М: ОАО РАО ЕЭС России, 1998. 131 с.
14. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей. М.: Стандартинформ, 1999. – 30 с.
15. Родштейн Л.А. Электрические аппараты: учебное пособие. Москва: Энергоиздат, 1981. 304 с.
16. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. М: Тяжпромэлектропроект, 1992. – 17 с.
17. РТМ 36.18.32.6-92 Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий. М.: Тяжпромэлектропроект, 1992. – 32 с.
18. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. М.: Стандартинформ, 2004. – 59 с.
19. СП 31-110-2003 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. М.: Стандартинформ, 2015. – 78 с.
20. Baillot R., Deshayes Y. Reliability investigation of LED devises for public light applications. New York: Elsevier Science, 2017. – 222 p.
21. Govind N., Dhoble S. J. The fundamentals and applications of light emitting diodes. New York: Elsevier Science, 2020. – 284 p.
22. Hongxing J, Jingyu L. Micro LEDs. London: Academic press, 2021. – 410 p.
23. Huang J., Kuo H., Shen S. Nitride semiconductor light emitting diodes. New York: Elsevier Science, 2017. – 822 p.
24. Mathebula V.C. Insulation performance enhancement of aged current transformers using nanofluids. Protection and control of modern power systems, №13, 2022. p. 55-65.

25. Ming Z. Adaptive relay coordination using a busbar splitting approach for a system integrity protection scheme. Protection and control of modern power systems, №14, 2022. P. 12-16.