

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)

---

Энергосбережение и энергоаудит  
(направленность (профиль) / специализация)

---

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Разработка системы электроснабжения гипермаркета с установкой резервной ДГУ

Студент

А.М. Смирнов  
(И.О. Фамилия)

---

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

---

Консультант

к.п.н., доцент А.В. Кириллова  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

---

Тольятти 2021

## Аннотация

При выполнении выпускной квалификационной работы был разработан проект системы электроснабжения торгового комплекса (гипермаркета), выполненный с учетом режимов работы и номинальных параметров электрооборудования, а также необходимости обеспечения резервного аварийного энергокомплекса.

В качестве резервного питания в проекте предусмотрена дизель-генераторная установка (ДГУ).

В процессе проектирования системы электроснабжения были решены следующие задачи:

- произведен расчет электрических нагрузок;
- произведен расчет искусственного общего и аварийного освещения;
- произведен выбор силовых трансформаторов;
- выполнен полный расчет для ДГУ;
- выбрана и обоснована схема электроснабжения;
- выбраны проводники и силовое оборудование;
- произведен расчет молниезащиты здания;
- даны рекомендации по повышению энергоэффективности;
- подведены итоги.

Выпускная квалификационная работа представлена на 80 страницах, содержит 20 таблиц, 6 рисунков, 1 приложение. Графическая часть выполнена на 6 листах формата А1.

## **Abstract**

The title of the graduation work is «Development of power supply for a shopping complex with a diesel generator set».

The senior paper consists of an explanatory note on 80 pages, including 6 figures, 20 tables, 1 appendix, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is the development of an energy efficient power supply for a shopping complex in the city of Tolyatti. We touch upon this issue taking into account the introduction of new equipment and installation technologies, as well as the use of standard developments.

The aim of the graduation work is to design a safety and efficient system of power supply for the shopping complex with a diesel generator set, considering the fact that this design object will belong to the first category of electricity supply.

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: calculation of electrical loads; calculation of electrical loads for lighting; selection of a power transformer; selection of conductors; selection of circuit breakers; calculation of lightning protection and grounding; electrical calculations for a diesel generator set; development of efficient energy saving measures on the territory of a shopping complex.

Taking into consideration the fact that in our case, it is necessary to provide comfort and safety for customers, and not to forget about the safety of food products that are sold in this shopping complex. All this depends on a reliable electrical supply, which must be designed according to all standards.

In conclusion, we'd like to stress this work is relevant all over the world, because every day a new building, commercial or residential building is put into operation. It is important for such facilities to provide reliable power supply, which the comfort and further operation of this building depends on.

## Содержание

Введение.....	6
1 Краткая характеристика объекта проектирования .....	8
2 Расчет электрических нагрузок .....	11
3 Расчет системы освещения.....	14
4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов КТП торгового комплекса с учетом компенсации реактивной мощности .....	19
5 Аварийное электроснабжение объекта проектирования .....	24
5.1 Исходные данные.....	24
5.2 Расчет нагрузки аварийного электроснабжения.....	24
5.3 Описание энергокомплекса.....	26
5.4 Место установки .....	27
5.5 Организация эксплуатации .....	28
5.6 Кабельное хозяйство.....	29
5.7 Заземление .....	29
5.7.1 Расчёт заземляющего устройства.....	31
5.8 Молниезащита энергокомплекса.....	34
5.9 Освещение энергокомплекса .....	34
5.10 Управление, автоматизация и диспетчеризация энергокомплекса .....	35
5.11 Мероприятия по экономии электроэнергии.....	36
5.12 Топливное и масляное хозяйство .....	36
5.13 Меры по взрыво-, пожаро- и электробезопасности.....	37
5.14 Расчёт токов трёхфазного и однофазного короткого замыкания .....	38
5.15 Проверка срабатывания автоматических выключателей .....	42
5.16 Расчет потерь напряжения в линиях .....	42
6 Выбор и обоснование схемы электроснабжения .....	44
6.1 Питание объекта.....	44
6.2 Главный распределительный щит (ГРЩ).....	44
6.3 Силовые распределительные щиты .....	45

7 Расчет номинальных токов и проводников .....	46
8 Расчет токов короткого замыкания .....	51
9 Выбор оборудования.....	60
9.1 Выбор автоматических выключателей .....	60
9.2 Выбор рубильника .....	65
9.3 Выбор плавких предохранителей.....	67
10 Заземление, молниезащита, уравнивания потенциалов.....	69
10.1 Заземление и уравнивание потенциалов .....	69
10.2 Расчет заземляющего устройства.....	70
10.3 Расчет молниезащиты торгового комплекса.....	74
11 Энергетическая эффективность.....	75
Заключение .....	76
Список используемых источников.....	78
Приложение А Дополнительные сведения для расчета осветительной нагрузки .....	81

## Введение

Чтобы грамотно спроектировать систему электроснабжения, в наше время требуется учитывать множество норм при её разработке, то есть учесть все аспекты, для того чтобы итоговое проектное решение удовлетворяло требованиям заказчика, чтобы система была не только энергоэффективной, но и экономически целесообразной. А также соответствовать требованиям безопасности и удобству эксплуатации, обеспечивая требуемое качество электроэнергии.

Непосредственно перед началом проектирования нужно обязательно ознакомиться с назначением предприятия, исходя из условий, необходимых в данном предприятии выбрать соответствующее оборудование, тип схемы электроснабжения, а также произвести расчеты, выбрать и обосновать соответствующие технические решения.

Для того чтобы система электроснабжения была надежной, отвечала условиям её работы, но не была дорогостоящей, необходимо взвешенно подойти к выбору электрического оборудования, которое будет задействовано в системе внутреннего электроснабжения торгового комплекса. Эти факторы являются ключевыми при разработке торговых комплексов при их больших площадях.

Соответственно, при таких площадях торгового комплекса, схема электроснабжения должна быть проста как в монтаже, так и в обслуживании, а также быть наиболее надежной в эксплуатации.

Основная цель выпускной квалификационной работы – оптимизация системы электроснабжения, надежное и бесперебойное электроснабжение торгового комплекса (гипермаркета), а также защита всех электроприемников от токов короткого замыкания.

Чтобы достичь данной цели, необходимо решить следующие задачи:

- определение электрических нагрузок торгового комплекса;
- расчет освещения;

- выбор числа и мощности трансформаторов для трансформаторных подстанций с учётом компенсации реактивной мощности;
- выбор и обоснование схемы внутреннего электроснабжения торгового комплекса;
- расчет и выбор кабельного хозяйства;
- выбор оборудования для системы электроснабжения;
- расчет для основной системы резервирования (ДГУ);
- расчет молниезащиты;
- расчет заземления;
- расчет токов короткого замыкания.

При проектировании системы электроснабжения торгового комплекса должны быть предусмотрены мероприятия по энергетической эффективности, и выполнены все нормы и требования.

## 1 Краткая характеристика объекта проектирования

Данный объект проектирования представляет собой торговое предприятие (гипермаркет), которое реализует продовольственные и непродовольственные товары универсального ассортимента, расположенное в городе Тольятти, для которого в таблице 1 приведены основные показатели. На рисунке 1 представлен вид торгового комплекса сверху.



Рисунок 1 – Вид сверху на торговый комплекс

Таблица 1 – Основные показатели проекта

Наименование	Ед. Изм.	Кол-во
Напряжение питающей сети	В	380/220
Категория надежности электроснабжения объекта	-	I
Общая установленная мощность электрооборудования	кВт	1667,5
Расчетная потребляемая мощность электрооборудования	кВт	1181,2
Расчетное годовое потребление электроэнергии	кВт*час	6496600

По категории электроснабжения электроприемники торгового комплекса распределяются:



Потребители I категории особой группы (питание через ИБП):

- розеточная сеть ВЭРС – это такие приемники, для которых критично отключение питания (контрольно-кассовое оборудование, электронные весы, компьютерная и офисная техника и т.д.).
- охранная и пожарная сигнализация,
- кассово-расчетный узел (КРУ),
- эвакуационное освещение,
- активное сетевое оборудование и серверы,
- система контроля доступа (СКУД)
- система «антипаники»,
- помещения главной кассы,
- система пневмопочты,
- система видеонаблюдения,
- система контроля кассовых предприятий,
- противокражная система,
- аварийное освещение в зоне кассовой линейки, главной кассе.

Группы потребителей I категории:

- холодильное оборудование,
- системы пожаротушения и дымоудаления,
- аварийное освещение,
- часть рабочего освещения (50% в торговом зале).

Группы потребителей II категории:

- часть рабочего освещения,
- наружное освещение и реклама,
- оборудование систем вентиляции.

Группы потребителей II категории, отключаемые при длительных аварийных режимах:

- часть технологического оборудования (ротационные печи, часть оборудования погрузочной зоны, пресскомпакторы, оборудование горячих цехов, пекарня),
- розеточная сеть ЭРС – для питания потребителей, не требующих гарантированного электроснабжения,
- потребители арендаторов.

Для ввода и распределения электроэнергии к электроприемникам установлен главный распределительный щит ГРЩ, а также распределительные щиты с автоматическими выключателями на вводе и отходящих линиях:

- ЩР – щит бытовой розеточной сети,
- ЩК – щит кондиционеров вентиляционно-тепловых агрегатов,
- ЩО – щит освещения,
- ЩАО – щит аварийного освещения,
- ЩС – щит силового (технологического) оборудования,
- ЩВ – щит вентиляции,
- ВЭРС – щит выделенной электросети IT оборудования,
- ЩМО – щит моечного оборудования.

Следовательно, все дальнейшие расчеты и выводы, основываются на приведенных данных об объекте, в том числе данных о категории электроснабжения потребителей торгового комплекса (ТК), для которых должно быть спроектировано современное и отвечающее всем требованиям проектное решение по электроснабжению ТК.

## 2 Расчет электрических нагрузок

Согласно СП 44.13330.2011 п. 3.14.в «Электроснабжение, силовое оборудование и электрическое освещение зданий следует проектировать в соответствии с требованиями СП 52.13330, СП 31-110-2003, ПУЭ-7 и нормативных документов по пожарной безопасности» [14].

Расчет электрических нагрузок торгового комплекса будет производиться согласно СП 31-110-2003 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» в соответствии с архитектурно-строительными чертежами.

Для начала проектирования, в первую очередь необходимо рассчитать ожидаемые электрические нагрузки торгового комплекса [17].

Активную нагрузку на примере расчета для розеток ЭРС, следует определять, используя формулу 1:

$$P_{\text{расч}} = P_1 \cdot n_1 \cdot k_c, \quad (1)$$

где  $P_1$  – это активная мощность прибора, кВт;

$n_1$  – это количество приборов в группе, шт;

$k_c$  – коэффициент спроса, о.е.

$$P_{\text{расч}} = 0,06 \cdot 360 \cdot 0,25 = 5,4 \text{ кВт.}$$

Для расчета реактивной нагрузки понадобится  $\cos \varphi$  приемника, и по формуле 2 находится  $\text{tg } \varphi$ , затем по формуле 3, реактивная мощность на примере освещения стеллажей:

$$\text{tg } \varphi = \arccos(\text{tg } \varphi), \quad (2)$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности освещения стеллажей, равный 0,96

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,292$$

Реактивную нагрузку на примере расчета для розеток ЭРС, следует определять, используя формулу 3:

$$Q_{\text{расч}} = P_{\text{расч}} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (3)$$

$$Q_{\text{расч}} = 9,1 \cdot 0,28 = 2,5 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность  $S_{\text{расч}}$  рассчитывается по следующей формуле 4:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (4)$$

$$S_p = \sqrt{999,5^2 + 690,9^2} = 1215,1 \text{ кВА.}$$

Суммарный расчетный ток  $I_{\text{расч}}$  определяется по формуле 5:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,38}. \quad (5)$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{1215,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1846,2 \text{ А.}$$

Параметры для остальных электроприемников занесены в таблицу 2.

Таким образом, были произведены расчеты по нагрузкам торгового комплекса, с целью дальнейшего выбора питающего и коммутационного оборудования.

Таблица 2 – Ведомость расчетных нагрузок гипермаркета

№ п/п	Наименование	N, шт	$P_{уст}$ , кВт	$k_c$	$P_{расч}$ , кВт	$Q_{расч}$ , кВт	$\cos \varphi$	$S_{расч}$ , кВА	$I_{расч}$ , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Освещение	1	49,34	0,85	41,94	14,8	0,96	51,5	74,3
2	Освещение стеллажей	1	9,1	0,80	7,3	2,1	0,96	7,6	11,5
3	Наружное освещение (световые гирлянды)	1	10	0,60	6,0	1,8	0,96	6,3	9,5
4	Розетки ЭРС	360	0,06	0,25	5,4	4,1	0,8	6,8	10,3
5	IT оборудование (ВЭРС)	1	104,4	0,50	52,2	39,2	0,8	65,3	99,1
6	Технологическое оборудование 2 этаж	1	115,85	0,50	57,93	28,1	0,9	64,4	92,9
7	Технологическое оборудование 1 этаж, насос, станции отвода конденсата, водонагреватели	1	490,25	0,50	245,1	118,7	0,9	272,3	413,8
8	Компрессорная	1	80	0,75	60	52,9	0,75	80	121,5
9	Компрессорная	1	300	0,75	225	198,4	0,75	300	455,8
10	Моечное оборудование	1	20	0,30	6	4,5	0,8	7,5	11,4
11	Вентиляция	1	55,2	0,70	38,6	29	0,8	48,3	73,4
12	Кондиционирование, возд.-тепл. завесы	1	316	0,70	221,6	195,1	0,75	294,9	448,1
13	Системы безопасности	1	12	0,80	9,6	4,6	0,9	10,7	16,2
14	Насосная АТП (не учитывается)	1	41	0	0	0	0,9	0	0
Суммарные значения									
Всего			1624,7	0,62	999,5	690,9	0,82	1215,1	1846,2

### 3 Расчет системы освещения

В соответствии с СП 52.13330.2016 освещение в торговом зале ТК должно быть на уровне не менее 400-700 лк [15]. Важно соблюсти баланс при проектировании системы освещения, ведь недостаточная, или наоборот чрезмерная степень освещенности может вызывать зрительный дискомфорт у покупателей.

Для освещения всего торгового комплекса будут использоваться энергоэффективные светодиодные светильники из каталога производителя «Световые технологии» [7].

Система освещения на базе LED светильников должна иметь достаточную освещенность, на примере кассовой зоны основные задачи освещения состоят в том, чтобы:

- увеличить покупательский поток;
- уменьшить утомляемость персонала;
- повысить внимание;
- снизить вероятность ошибок подсчета.

Для торгового зала в свою очередь используются линейные LED светильники, такие светильники имеют возможность создания акцента для реализуемого того или иного товара на стеллажах гипермаркета.

В этом случае, это те помещения, в которых система освещения должна быть максимально эффективна не только с точки зрения потребления электроэнергии, но и увеличении покупательской способности в торговом зале.

Далее в этом разделе будет произведен расчет системы освещения для помещений торгового комплекса по таким параметрам как: норма освещенности помещения, коэффициент использования, площадь помещения, а также некоторым параметрам светильников.

Количество требуемых к установке светильников рассчитывается по формуле 6:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot z \cdot K_3}{U \cdot \Phi}, \quad (6)$$

где N – количество светильников;

E – требуемое горизонтальное освещение в люксах, в данной работе принимаем равным для торгового зала: 700Лк;

S – площадь помещения;

z – отношение средней освещенности и максимальной освещенности;

K<sub>3</sub> – коэффициент запаса (таблица 3);

U - коэффициент использования;

Φ – световой поток лампы в люменах.

Чтобы определить коэффициент использования U, нужно произвести расчет индекса помещения, и определить коэффициенты отражения основных поверхностей помещений, а именно: пол, стены и потолок. Для этого воспользуемся справочными данным для определения коэффициента использования U [7].

Индекс помещения определяется по формуле 7:

$$i = \frac{S}{(H - h_1 - h_2) \cdot (A + B)}, \quad (7)$$

где H – высота помещения;

h<sub>1</sub> – высота рабочей поверхности (принимаем равным 0,85м);

h<sub>2</sub> – высота подвеса светильника (1м).

Таблица 3 – Коэффициент запаса

Тип помещений	Коэффициент запаса, относительные единицы
Очень чистые помещения, а так же осветительные установки с малым временем использования	1,25
Чистые помещения с трехгодичным циклом обслуживания	1,5
Наружное освещение, трехгодичный цикл обслуживания	1,75
Внутреннее и наружное освещение, сильное загрязнение	2,00

Коэффициент запаса принимается равным 1,5.

Расчет количества светильников для кабинета главного инженера:

$$i = \frac{15,1}{(2,8 - 0,85 - 0) \cdot (5 + 3)} = 0,95 \text{ о. е.}$$

$$N = \frac{300 \cdot 15,1 \cdot 0,6 \cdot 1,5}{0,8 \cdot 3202} = 2 \text{ шт.}$$

Для расчета и проектирования системы освещения остальных помещений торгового комплекса будет использоваться программное обеспечение DIALux с целью ускорения и удобства расчетов, а также наглядности итоговых данных. Все данные и результаты по проектированию системы освещения сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Ведомость помещений по потребляемой мощности

№	Наименование помещения	Площадь S, м <sup>2</sup>	P, кВт	Q, квар
1	2	3	4	5
101	Зона загрузки	331	1,8	0,54
102	Кабинет операторов АСУ	17	0,1	0,03
103	Кладовая упаковки	6	0,04	0,012
104	Кладовая сухих смесей пекарни	7,4	0,04	0,012
105	Сухой склад производства	10	0,1	0,03
106.1	Хол. камера №1 (БРАК)	4,2	0,05	0,015
106.2	Хол. камера №2 (ОХЛАЖД. МЯСО (ПОЛУТУШИ))	20,3	0,2	0,06
106.3	Хол. камера №3 (ОХЛАЖД. ПТИЦА)	12	0,1	0,03
106.4	Хол. камера №4 (МЯСНЫЕ П/Ф)	19	0,15	0,045
106.5	Хол. камера №5 (КОПЧЕНАЯ РЫБА)	9,4	0,08	0,024
106.6	Хол. камера №6 (ОХЛАЖД. РЫБА)	13,8	0,1	0,03
106.7	Хол. камера №7 (МАГАЗИН, ГАСТРОНОМИЯ)	46,7	0,3	0,09
106.8	Хол. камера №8 (МАГАЗИН. СОФ)	54,5	0,3	0,09
106.9	Хол. камера №9 (МЯСО)	13	0,1	0,03
106.10	Хол. камера №10 (ОБРАБОТАННЫЕ ОВОЩИ)	6,4	0,08	0,024
106.11	Хол. камера №11 (ГАСТРОНОМИЯ, МОЛОЧНАЯ ПР-ЦИЯ)	7,1	0,08	0,024
106.12	Хол. камера №12 (П/Ф КУЛИНАРНОГО П-ВА)	8,8	0,08	0,024
106.13	Хол. камера №13 (ГОТОВАЯ ПРОДУКЦИЯ)	6,4	0,08	0,024



Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
106.14	Хол. камера №14 (ПЕКАРНЯ)	39,5	0,25	0,075
106.15	Хол. камера №15 (ПЕКАРНЯ)	7,2	0,08	0,024
106.16	Хол. камера №16 (ПЕКАРНЯ)	8,4	0,08	0,024
106.17	Хол. камера №17 (МАГАЗИН)	47,4	0,3	0,09
107	Кабинет зав. производством	14,6	0,1	0,03
108	Бельевая	5,4	0,05	0,015
109	Гардероб производства с душевой	12,7	0,07	0,021
110	Сан/узлы персонала	3,9	0,05	0,015
111	Комната уборочного инвентаря	4,8	0,04	0,012
112	Моечная уборочной техники	5,6	0,04	0,012
113	Моечная оборотной тары	6	0,04	0,012
114	Склад макулатуры	17	0,1	0,03
115	-	7	0,04	0,012
116	-	11,5	0,08	0,024
117	Машинный зал холодильного оборудования	24,4	0,15	0,045
118	-	102,4	0,35	0,105
119	Моечная мясного цеха	10,8	0,08	0,024
120	Цех подготовки полуфабриката из мяса и птицы	110,4	1	0,3
121	Коридоры, проходы	271,8	1,5	0,45
122	Сан/узел персонала	7,5	0,08	0,024
123	Электрощитовая	23,3	0,05	0,015
124	Цех подготовки к продаже овощей и фруктов	11,4	0,05	0,015
125	Цех подготовки копченой рыбы	9,7	0,08	0,024
126	Моечная рыбного цеха	9,8	0,1	0,03
127	Цех подготовки рыбы	19,5	0,3	0,09
128	Сухой склад	78,2	0,34	0,102
129	Корневой цех	13,4	0,2	0,06
130	Кулинарный цех	46,7	0,2	0,06
131	Салатный цех	22,7	0,1	0,03
132	Моечного кулинарного цеха	9,2	0,08	0,024
133	Помещение для распаковки	6	0,05	0,015
134	Пекарня	86,6	0,4	0,12
135	Фасовка кремовых изделий	6,7	0,05	0,015
136	Насосная АТП	34,8	0,15	0,045
137	Тепловой узел	17,3	0,093	0,0279
138	Электрощитовая	13,8	0,05	0,015
139	Зарядная с тамбур-шлюзом	24,4	0,1	0,03
140	ТП	44,3	0,2	0,06
141	Кабинет дизайнера	15,8	0,093	0,0279
142	Мастерская	20	0,104	0,0312
142.1	Кабинет ГИ	15,1	0,093	0,0279
143	Арендные помещения	209	1,9	0,57
144	Кабинет НОКР и аналитика	19	0,104	0,0312
145	Кабинет менеджера по персоналу	20,6	0,104	0,0312

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5
146	Архив	4,6	0,05	0,015
147	Комната для собеседований/переговорная	12,4	0,093	0,0279
148	Сухой склад	138,4	0,7	0,21
149	Пост охраны	22,4	0,104	0,0312
150	Помещение клининга	9,5	0,07	0,021
151	Сан/узлы персонала	5,7	0,08	0,024
152	Гардеробная мерчендайзеров	21,1	0,093	0,0279
153	Гардероб мужской	50,8	0,3	0,09
154	Гардероб женский	86,7	0,5	0,15
155	Сан/узлы для посетителей	52,9	0,4	0,12
156	Предкассовая зона	542	3,4	1,02
157	Администратор РКУ	8,9	0,1	0,03
158	Менеджер ОРК	10,3	0,1	0,03
159	Электрощитовая	4,1	0,05	0,015
160	Коммутационный узел	4,2	0,05	0,015
161	Комната досмотра	6,9	0,1	0,03
162	Видеонаблюдения	10,7	0,05	0,015
163	Лестничная площадка	46,4	0,1	0,03
164	Торговый зал с кассовой зоной	3937,6	29,1	8,73
165	Тамбур	5,3	0,05	0,015
166/167	Тамбур входной группы 1 и 2	45,6	0,3	0,09
ИТОГО	–	7159,3 м <sup>2</sup>	49,37 кВт	14,8 квар

По формулам 4 и 5 из предыдущего раздела «Расчет электрических нагрузок» найдем полную потребляемую мощность и расчетный ток:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2},$$

$$S_p = \sqrt{49,37^2 + 14,8^2} = 51,5 \text{ кВА.}$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,38},$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{51,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 78,2 \text{ А.}$$

Паспортные данные основных используемых светильников, а также резюме помещений, включены в Приложение А.

#### **4 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов КТП торгового комплекса с учетом компенсации реактивной мощности**

По итогам расчета разделов 2 и 3, найдена полная расчетная мощность, которая составляет 1215,1 кВА (таблица 2).

Далее необходимо определить мощность силового трансформатора, а также количество, устанавливаемых трансформаторов для ТП.

По заданию, потребители инструментального цеха относятся к II и III категории надежности электроснабжения.

На основании ПУЭ, Раздел 1. «Общие правила». Глава 1.2. «Электроснабжение и электрические сети»:

«Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания» [11].

Так как на данном предприятии приемники относятся также к I категории, то следует принять к установке два силовых трансформатора, на основании чего проведем соответствующие расчеты.

Потери трансформатора рассчитываются по формулам 8-9:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot S_p, \quad (8)$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot S_p, \quad (9)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2}. \quad (10)$$

Расчет потерь силового трансформатора:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 1215,1 = 24,3 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 1215,1 = 121,51 \text{ квар.}$$

$$\Delta S_T = \sqrt{24,3^2 + 121,51^2} = 123,92 \text{ кВА.}$$

Так как от трансформаторной подстанции (ТП) в перспективе предусмотрено электроснабжение крупной пекарни, расположенной рядом с объектом проектирования, с дополнительной нагрузкой 350кВА, то в дальнейшем выборе трансформатора будет учитываться дополнительная нагрузка:

Расчет полной мощности пекарни ведется по формуле:

$$S_{\text{доп}} = \frac{P_{\text{р.доп.}}}{\cos\varphi}. \quad (11)$$

$$S_{\text{доп}} = \frac{350}{0,95} = 368,42 \text{ кВА.}$$

Учитывая потери и дополнительную нагрузку, расчетная мощность трансформатора определяется по формуле:

$$S_T \geq S_p = 0,7 \cdot (S_p + \Delta S_T + S_{\text{доп}}). \quad (12)$$

$$S_T \geq S_p = 0,7 \cdot (1215,1 + 123,92 + 368,42) = 1707,44 \text{ кВА.}$$

По справочному пособию по электроснабжению [2] выбирается трансформаторная подстанция с двумя трансформаторами типа ТСЗ.

Как правило, трансформаторы ТСЗ обладают повышенной степенью безопасности, в связи с чем предполагают эксплуатацию в том числе в местах общественно-социального значения (жилых зданиях, школах, торговых центрах и т.д.).

По расчетной мощности выбирается трансформатор ТСЗ-2000/6/0,4 [13] (трехфазный сухой защищенный), характеристики которого показаны в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики трансформатора.

Тип	S <sub>н</sub> , кВА	U <sub>н</sub> , кВ		U <sub>к.з.</sub> , %	Потери, кВт		I <sub>0</sub> , %
		ВН	НН		P <sub>xx</sub>	P <sub>кз</sub>	
ТСЗ-2000/6	2000	6	0,4	6,0	3,2	16	1,1

Расчет значения коэффициентов активной и реактивной мощности ведется по формулам 13 и 14 соответственно:

$$\cos\varphi = \frac{P_p}{S_p}. \quad (13)$$

$$\cos\varphi = \frac{999,5}{1215,1} = 0,823.$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_p}{P_p}. \quad (14)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q_p}{P_p} = \frac{690,9}{999,5} = 0,691.$$

Реактивная мощность конденсаторной установки находится по формуле:

$$Q_{к.у} = \alpha \cdot P_p \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k). \quad (15)$$

Так как  $\cos\varphi_k = 0,95$  тогда  $\operatorname{tg}\varphi_k = 0,33$ .

$$Q_{к.у} = 0,9 \cdot 999,5 \cdot (0,691 - 0,33) = 324,7 \text{ квар.}$$

По полученным расчетам реактивной мощности выбирается компенсирующее устройство [10]. Характеристики 2·УК 0,4 на 167 квар указаны в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики УК

Название	U, кВ	Q, квар	Количество ступеней регулирования	Шаг регулирования, квар
УКМ58-0,4-167-33,3 УЗ	0,4	167	5	33,3

Фактическое значение  $tg\varphi_{\phi}$  и  $cos\varphi_{\phi}$  после компенсации реактивной мощности находится по формуле:

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_p} \quad (16)$$

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_p} = 0,691 - \frac{2 \cdot 167}{0,9 \cdot 999,5} = 0,32.$$

Рассчитанный  $tg\varphi_{\phi}$  равен 0,32, тогда  $cos\varphi_{\phi}$  равен 0,95.

Мощность трансформатора с конденсаторной установки определяется по формуле:

$$S_{P(К.У.)} = 0,7 \cdot (S_p + S_{доп}) = 0,7 \cdot 1215,1 + 368,42 = 1108,5 \text{ кВА.} \quad (17)$$

$$S_{P(К.У.)} = 0,7 \cdot 1215,1 + 368,42 = 1108,5 \text{ кВА.}$$

Конденсаторная установка позволяет снизить установленную мощность трансформаторов, в связи с чем, к установке выбирается два трансформатора ТСЗ-1600/6 [13]. Параметры трансформатора ТСЗ-1600/6 указаны в таблице 7.

Таблица 7 – Характеристики трансформатора ТСЗ-1600/6

Тип	S <sub>н</sub> , кВА	U <sub>н</sub> , кВ		U <sub>кз</sub> , %	Потери, кВт		I <sub>0</sub> , %
		ВН	НН		P <sub>xx</sub>	P <sub>кз</sub>	
ТСЗ-1600/10	1600	6	0,4	6,0	2,8	14	1,1

В таблице 8 указана сводная ведомость нагрузок без КУ и с ним.

Таблица 8 – Сводная ведомость нагрузок

Параметр	cosφ	tgφ	P <sub>расч</sub> , кВт	Q <sub>расч</sub> , квар	S <sub>расч</sub> , кВА
Без КУ	0,82	0,69	999,5	690,9	1215,1
КУ				2х167	
С КУ	0,95	0,32	999,5	356,9	1061,31
Потери			24,3	121,51	123,92
Всего с КУ			1023,8	478,41	1130,1

Коэффициент загруженности трансформатора с обычной нагрузкой и дополнительной определяются по формулам:

$$K_3 = \frac{S_{p(к.у.)}}{N_T \cdot S_n}, \quad (18)$$

$$K_3 = \frac{S_{p(к.у.)} + S_{доп.}}{N_T \cdot S_n}. \quad (19)$$

$$K_3 = \frac{1130,1}{2 \cdot 1600} = 0,35,$$

$$K_3 = \frac{1130,1 + 368,42}{2 \cdot 1600} = 0,47.$$

Вывод по разделу: выбранный трансформатор в настоящее время загружен на 35%, а с вводом дополнительной нагрузки будет загружен на 47%, а выбранное компенсирующее устройство, позволило снизить мощность трансформаторов с 2000 до 1600 МВА, следовательно, выбранный трансформатор ТСЗ-1600/6/0,4 будет принят к установке.

## **5 Аварийное электроснабжение объекта проектирования**

### **5.1 Исходные данные**

Настоящий проект торгового комплекса предусматривает установку энергокомплекса аварийного электроснабжения торгового комплекса на базе дизель-генераторной установки (ДГУ).

Проектирование осуществляется в границах следующих участков:

от ДГУ до вводного автомата ДГУ в ГРЩ 0,4 кВ торгового комплекса.

В границы проектирования входят все кабельные связи, имеющиеся на данных участках.

Электроприемники располагаются в здании ТК и представляют собой различное технологическое холодильное оборудование.

Электроснабжение от ДГУ является аварийным, т.е. при исчезновении питания от сетевых вводов питание ответственных электроприемников ЩГП (Секция 3 ГРЩ) осуществляется от ДГУ.

Электроснабжение объекта осуществляется по 2 категории надёжности. Качество электроэнергии соответствует ГОСТ 32144-2013.

### **5.2 Расчет нагрузки аварийного электроснабжения**

Для установки на территории энергокомплекса аварийного электроснабжения, необходимо предварительно рассчитать ожидаемые электрические нагрузки, чтобы в дальнейшем можно было выбрать необходимое оборудование с подходящей номинальной мощностью.

Установленная активная нагрузка рассчитывается аналогично второму пункту.

Расчетная активная нагрузка, на примере компрессорной, рассчитывается с помощью формулы:

$$P_{\text{расч}} = P_{\text{расч}} \cdot K_{\text{И}} = 80 \cdot 0,9 = 72 \text{ кВт}, \quad (20)$$

где  $K_{\text{И}}$  – коэффициент использования, для компрессорной, равный 0,9



$$P_{\text{расч}} = 80 \cdot 0,9 = 72 \text{ кВт.}$$

Реактивная нагрузка считается аналогично второму пункту.

$$Q_{\text{расч}} = P_{\text{расч}} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (21)$$

$$Q_{\text{расч}} = 72 \cdot 0,882 = 63,5 \text{ квар.}$$

Полная расчетная мощность  $S_{\text{расч}}$  рассчитывается по следующей формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (22)$$

$$S_p = \sqrt{344,6^2 + 303,57^2} = 459,25 \text{ кВА.}$$

Суммарный расчетный ток  $I_{\text{расч}}$  определяется по формуле:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,38}, \quad (23)$$

$$I_{\text{расч}} = \frac{459,25}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 697,76 \text{ А.}$$

Параметры для других электроприемников занесены в таблицу 9:

Таблица 9 – Ведомость расчетных нагрузок гипермаркета

№	Наименование	N, шт	P <sub>уст.</sub> , кВт	K <sub>и</sub>	cos φ	tg φ	P <sub>расч.</sub> , кВт	Q <sub>расч.</sub> , квар	S <sub>расч.</sub> , кВА	I <sub>расч.</sub> , А
1	Компрессорная	1	80	0,9	0,75	0,882	72	63,5	96	145,86
2	Компрессорная	1	300	0,9	0,75	0,882	270	238,1 2	360	546,96
3	Ввод СН ДГУ	1	2,6	1	0,80	0,750	2,6	1,95	3,25	4,94
Суммарные значения										
Всего							344,6	303,6	459,3	697,8

По полученным расчетным нагрузкам к установке принимается следующий источник электроснабжения:

- одна дизель-генераторная установка ADDo400C-T400-2PГТП номинальной мощностью 400 кВт / 500 кВА [8].

ДГУ оснащена дизельным двигателем Doosan P180LE / Doosan DP158LD (Южная Корея) и электрическим генератором Marelli Mototor MJB 355 SA4 (Италия).

Установленная активная мощность электроприемников ГРЩ составляет 382,60 кВт, расчётная активная мощность - 344,60 кВт. Расчетная нагрузка приведена в таблице 9.

### **5.3 Описание энергокомплекса**

ДГУ устанавливается на площадке, на территории ТК в непосредственной близости от ГРЩ. Площадка, предусмотренная для размещения ДГУ, имеет асфальтобетонное покрытие. После выполнения выравнивающих, укрепляющих и прочих подготовительных работ ДГУ размещается на этой площадке.

ДГУ присоединяется к дизельному вводу Щита автоматического ввода резерва (ЩАВР), размещаемому в помещении ГРЩ и входящему в комплект поставки ДГУ. К сетевому вводу ЩАВР присоединяется кабель от Секции 2 ГРЩ. Ввод нагрузки ЩАВР присоединяется к отдельному Щиту гарантированного питания (ЩГП), от которого питается ответственная нагрузка.

Между сетевым и дизельным вводами ЩАВР выполнена механическая блокировка, исключающая одновременное включение сетевого ввода и дизельного ввода, т.е. возможность параллельной работы ДГУ с энергосистемой.

При пропадании сетевого напряжения на обоих сетевых вводах контроллер АВР подаёт команду на запуск ДГУ. В течение  $t < 30$  с ДГУ разворачивается и принимает на себя нагрузку ЩГП (Секции 3 ГРЩ).

Существующий ГРЩ, проектируемые ЩГП и ЩАВР располагаются в отдельном помещении ГРЩ в технической зоне здания ТК.

Вводная группа существующего ГРЩ (2 вводных автомата и 1 секционный автомат) охвачена существующим АВР1, переключающим всю нагрузку ГРЩ на другой ввод при исчезновении напряжения на одном. Данный проект не предусматривает каких-либо изменений в устройстве и работе существующего устройства АВР1.

Существующее устройство АВР2 и его кабельные связи демонтировать.

ДГУ предназначена для непрерывной выработки электроэнергии при различных нагрузках. ДГУ выполнена во всепогодном шумопоглощающем кожухе. Для эксплуатации в зимний период предусмотрен подогрев охлаждающей жидкости силового агрегата для надёжного обеспечения его запуска и быстрого выхода на рабочий режим. В объём комплектации входят панель управления ДГУ и Щит АВР 800 А.

#### **5.4 Место установки**

ДГУ устанавливаются на открытой площадке, расположенной вблизи ГРЩ на внутренней территории ТК.

Площадка представляет собой железобетонную плиту на щебёночном основании, выровненную в горизонтальной плоскости до угла  $\alpha < 1^\circ$ , способную выдержать массу работающей ДГУ.

Площадка не огораживается, так как по внутренней территории передвигаются только обслуживающий персонал, проход посторонних лиц исключается, на объекте действует пропускной режим - безопасность эксплуатации обеспечивается.

Место установки выбрано с учётом возможности размещения, доступности для обслуживающего персонала, близости к точкам подключения и обеспечения санитарно-защитной зоны (минимально вредное воздействие шума и отработавших газов двигателя на людей).

Установка ДГУ выполняется на железобетонную плиту непосредственно.

Площадка размещения энергокомплекса отдалена от существующих дорог и трасс инженерных сетей и не мешает их эксплуатации.

### **5.5 Организация эксплуатации**

Работа ДГУ осуществляется при пропадании напряжения от обоих сетевых вводов и срабатывании контроллера ЩАВР.

Время автономной работы ДГУ с полностью заправленным баком на номинальной 100% нагрузке - 8 ч.; на 75% нагрузке - 11 ч.

Заправка топливного бака ДГУ осуществляется автотопливозаправщиком по потребности.

Эксплуатацию энергокомплекса осуществляет электротехнический персонал в соответствии с требованиями и нормами Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП).

Ответственный за электрохозяйство и его заместитель осуществляют приёмку в эксплуатацию и общее руководство эксплуатацией энергокомплекса.

Ремонт и демонтаж электрооборудования должен производиться при отсутствии напряжения. Все работы в действующих электроустановках должны производиться в соответствии с требованиями и нормами Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок (МПОТ).

К эксплуатации допускается ДГУ с исправным оборудованием и проверенной системой автоматики, управления и защиты. Не допускается неквалифицированное изменение электрических схем, замена защитных аппаратов и изменение их уставок, внесение любых несанкционированных изменений.

Измерение сопротивления изоляции, целостности нулевых проводников, проверка работоспособности средств защиты должны

выполняться в установленные сроки специалистами, имеющими право на осуществление банной деятельности.

Периодически производится диагностика технических систем ДГУ. Мероприятия по техническому обслуживанию выполняются электротехническим персоналом торгового комплекса или специализированной организацией. Перечень, и виды выполняемых работ определяются нормативными документами и технической документацией завода-изготовителя ДГУ.

## **5.6 Кабельное хозяйство**

Проектом предусматриваются кабельные линии, указанные в кабельном журнале.

Марки кабелей выбраны по назначению, способу и условиям прокладки. Сечения кабелей выбраны по длительно допустимому току и потере напряжения.

Участки кабельных трасс, проходящие через проезды автотранспорта и проходы людей, прокладываются в специальных блоках перехода (по поверхности) или в трубах (в земле).

Прокладка кабелей осуществляется в соответствии с нормативной документацией. Кабельные линии, места их соединений и ответвлений выполняются так, чтобы в процессе монтажа и эксплуатации было исключено возникновение в них опасных механических напряжений и повреждений изоляции. В местах соединений и ответвлений кабели должны иметь изоляцию, равноценную изоляции жил целых мест этих кабелей.

## **5.7 Заземление**

Проектом предусматривается система заземления типа TN-C-S, т.е. система TN, в которой функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников совмещены в одном проводнике в какой-то её части, начиная от источника питания.

Режим работы нейтрали генератора ДГУ - глухое заземление.

Нейтраль генератора, корпус ДГУ, открытые проводящие части ДГУ и РУ, шины PEN (PE) РУ и жилы PEN (PE) кабелей, сторонние проводящие части должны быть заземлены. Корпус ДГУ должен быть заземлён в двух точках.

Броня кабелей заземляется путём соединения броневых кабелей и шины PE (PEN) через узел заземления брони концевой кабельной муфты.

Для выполнения мероприятий по заземлению энергокомплекса предусматривается сооружение нового заземляющего устройства (ЗУ).

Конструктивно ЗУ представляет собой совокупность следующих элементов:

1) заземлитель (один или группа вертикальных электродов, погружённых в землю на определённом расстоянии друг от друга, и горизонтальный электрод, объединяющий группу вертикальных электродов и обеспечивающий их электрическую связь);

2) заземляющие пробойники (пробойники, обеспечивающие электрическую связь заземлителя и заземляемых точек).

Проектируемое ЗУ имеет следующие параметры:

- вертикальные электроды выполняются из уголка стального горячекатаного равнополочного 50x50x5 ГОСТ 8509-93;
- горизонтальный электрод выполняется из полосы стальной горячекатаной 50x5 ГОСТ 103-76;
- вертикальные электроды располагаются в ряд вблизи площадки размещения энергокомплекса;
- все соединения заземлителя и присоединения заземляющих проводников к заземлителю выполняются сборкой;
- все сварные соединения окрашиваются антикоррозионной мастикой в три слоя;
- ЗУ расположено во 2 климатической зоне.

### 5.7.1 Расчёт заземляющего устройства

Эквивалентное удельное сопротивление двухслойного грунта определяется по формуле:

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = \frac{\rho_1 k_1 \rho_2 L_B}{[\rho_1 k_1 (L_B - H + T_{\text{г}}) + \rho_2 (H - T_{\text{г}})]}, \quad (24)$$

где  $\rho_1$  – удельное сопротивление верхнего слоя грунта, 180 Ом · м;

$k_1$  – климатический коэффициент для вертикальных электродов, равный 1,8;

$\rho_2$  – удельное сопротивление нижнего слоя грунта, 12 Ом · м;

$L_B$  – длина вертикального электрода, 3 м;

$H$  – толщина верхнего слоя грунта, равный 1 м;

$T_{\text{г}}$  – глубина заложения горизонтального электрода, равная 0,8 м.

Эквивалентное удельное сопротивление двухслойного грунта:

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = \frac{180 \cdot 1,8 \cdot 12 \cdot 3}{[180 \cdot 1,8 \cdot (3 - 1 + 0,8) + 12 \cdot (1 - 0,8)]} = 125,26 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Сопротивление одиночного вертикального электрода  $R_B$  (вертикальные электроды выполнены из уголка стального горячекатаного равнополочного 50x50x5):

$$R_B = \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{2\pi L_B} \left( \ln \frac{2L_B}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4T + L_B}{4T - L_B} \right) = \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{2\pi L_B} \left( \ln \frac{2L_B}{0,95b_y} + \frac{1}{2} \ln \frac{4T + L_B}{4T - L_B} \right), \quad (25)$$

где  $T$  – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, равное 2,3 м;

$b_y$  – ширина полки уголка, равная 0,05 м.

Сопротивление одиночного вертикального электрода  $R_B$ :

$$R_B = \frac{125,26}{2\pi \cdot 3} \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,95 \cdot 0,05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 34,5 \text{ Ом.}$$

Предполагаемое количество вертикальных электродов  $N_{\text{пр}}$  определяется по формуле:

$$N_{\text{пр}} = \frac{R_B}{R_H - k_{\text{И-В}}}, \quad (26)$$

где  $R_H$  – нормируемое сопротивление заземляющего устройства, 4 Ом;  
 $k_{\text{И-В}}$  – коэффициент использования вертикальных электродов, равный 0,8.

Предполагаемое количество вертикальных электродов:

$$N_{\text{пр}} = \frac{34,5}{4 - 0,8} = 10,8 = 11 \text{ шт.}$$

Предполагаемая длина горизонтального электрода при расположении вертикальных электродов в ряд  $L_{\Gamma}$  рассчитывается по формуле:

$$L_{\Gamma} = (N_{\text{пр}} - 1 \cdot h), \quad (27)$$

где  $h$  – расстояние между вертикальными электродами, равное 3 м.

Предполагаемая длина горизонтального электрода:

$$L_{\Gamma} = (11 - 1 \cdot 3) = 30 \text{ м.}$$



Расчет сопротивления горизонтального электрода с учетом коэффициента использования  $R_{\Gamma}$  (выполнен из полосы стальной горячекатаной 50x5):

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_1 k_2}{2\pi L_{\Gamma} k_{И-\Gamma}} \ln \frac{L_{\Gamma}^2}{2dT_{\Pi}} = \frac{\rho_1 k_2}{2\pi L_{\Gamma} k_{И-\Gamma}} \ln \frac{L_{\Gamma}^2}{b_{\Pi} T_{\Pi}}, \quad (28)$$

где  $k_2$  – климатический коэффициент для горизонтальных электродов, равный 4,5;

$k_{И-\Gamma}$  – коэффициент использования горизонтальных электродов, равный 0,8;

$b_{\Pi}$  – ширина стальной полосы, равная 0,05 м.

Сопротивление горизонтального электрода:

$$R_{\Gamma} = \frac{180 \cdot 4,5}{2\pi \cdot 30 \cdot 0,8} \ln \frac{9}{0,05 \cdot 0,8} = 29,1 \text{ Ом.}$$

Сопротивление вертикальных заземлителей  $R_{B(\text{экв})}$  определяется по формуле:

$$R_{B(\text{экв})} = \frac{R_{\text{н}} \cdot R_{\Gamma}}{R_{\Gamma} - R_{\text{н}}}, \quad (29)$$

$$R_{B(\text{экв})} = \frac{4 \cdot 29,1}{29,1 - 4} = 4,63 \text{ Ом.}$$

Определяем сопротивление заземляющего устройства по формуле:

$$R_{3у} = \frac{R_{B(\text{экв})} \cdot R_{\Gamma}}{R_{B(\text{экв})} + R_{\Gamma}}, \quad (30)$$

$$R_{3у} = \frac{4,63 \cdot 29,1}{4,63 + 29,1} = 3,9 \text{ Ом.}$$

Уточнённое количество вертикальных электродов с учётом горизонтального электрода N:

$$N = \frac{R_B}{R_H \cdot k_{И-Г}}, \quad (31)$$
$$N = \frac{34,5}{4 \cdot 0,8} = 10,8 = 11 \text{ шт.}$$

В результате расчёта сооружается заземлитель со следующими параметрами:

- длина вертикального электрода - 3,0 м;
- расстояние между вертикальными электродами - 3,0 м;
- количество вертикальных электродов - 11 шт.;
- суммарная длина уголка 50x50x5 - 33 м;
- суммарная длина полосы 50x5 - 30 м;
- выполняется условие  $R_{3y} < 4 \text{ Ом}$ .

### **5.8 Молниезащита энергокомплекса**

Мероприятия по молниезащите проектом не предусматриваются.

Площадка размещения ДГУ располагается на внутренней территории ТК и расположена рядом с основным корпусом ТК. Окружающие здания превышают высоту ДГУ на несколько метров и обеспечены системой молниезащиты. Таким образом, ДГУ располагается в зоне защиты от удара молнии и в отдельной системе молниезащиты не нуждается.

### **5.9 Освещение энергокомплекса**

Мероприятия по выполнению наружного и внутреннего освещения проектом не предусматриваются.

Рабочее освещение площадки энергокомплекса выполняется существующими светильниками наружной установки.

Аварийное освещение площадки обеспечивается переносными фонарями.

### **5.10 Управление, автоматизация и диспетчеризация энергокомплекса**

Управление ДГУ осуществляется оператором с помощью панели управления ДГУ, размещённой в специальном отсеке установки, или автоматически по наличию напряжения на сетевых вводах ГРЩ. Через панель управления реализуются все режимы и варианты работы ДГУ, заложенные заводом-изготовителем.

К панели управления подключается контрольный кабель дистанционного пуска, обеспечивающий автоматическое управление ДГУ от контроллера АВР в ГРЩ.

Кроме того, к ДГУ подключается кабель собственных нужд, обеспечивающий питание элементов обогрева и управления ДГУ.

Защита ДГУ обеспечивается комплектным генераторным автоматическим выключателем.

Для исключения возможности включения ДГУ на сеть электроснабжающей организации предусматривается блокировка коммутационных аппаратов в ГРЩ, которая исключает включение ДГУ при одном или двух включённых сетевых вводах. Таким образом, исключается возможность параллельной работы сети и ДГУ.

Алгоритм работы ЩАВР представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Алгоритм работы ЩАВР

Режим работы	Автомат ввода №1 (QF1)	Автомат ввода №2 (QF2)	Секционный автомат (QF3)	Контактор ДГУ ЩАВР (KM1)	Контактор сети ЩАВР (KM2)
Вводы №1 и №2 под напряжением	ВКЛ	ВКЛ	ОТКЛ	ОТКЛ	ВКЛ
Ввод №1 под напряжением, Ввод №2 без напряжения	ВКЛ	ОТКЛ	ВКЛ	ОТКЛ	ВКЛ

Продолжение таблицы 10

Режим работы	Автомат ввода №1 (QF1)	Автомат ввода №2 (QF2)	Секционный автомат (QF3)	Контактор ДГУ ЩАВР (KM1)	Контактор сети ЩАВР (KM2)
Ввод №2 под напряжением, Ввод №1 без напряжения	ОТКЛ	ВКЛ	ВКЛ	ОТКЛ	ВКЛ
Вводы №1 и №2 без напряжения	ВКЛ	ВКЛ	ОТКЛ	ВКЛ	ОТКЛ

В контроллере ЩАВР реализованы устройства контроля напряжения сетевого ввода. При пропадании напряжения сети контроллер ЩАВР с выдержкой времени, равной 3 с, подаёт сигнал на пуск ДГУ по контрольному кабелю дистанционного пуска, связывающему ЩАВР с панелью управления ДГУ.

### 5.11 Мероприятия по экономии электроэнергии

Проектом предусматриваются следующие мероприятия по экономии электроэнергии:

- соблюдение правил эксплуатации электрооборудования согласно нормативным документам и руководствам заводов-изготовителей;
- применение современного оборудования с относительно высоким КПД;
- применение современных коммутационных аппаратов;
- выравнивание нагрузок фаз в сетях 0,4 кВ;
- применение качественных ГСМ и расходных материалов для ДГУ.

### 5.12 Топливное и масляное хозяйство

ДГУ укомплектована штатным топливным баком, обеспечивающим восемь часов непрерывной работы на 100% номинальной мощности.

Заправка топливом бака осуществляется автотопливозаправщиком по потребности.

Все работы по замене масла и смазки осуществляются по мере необходимости и при техническом обслуживании установок.

### **5.13 Меры по взрыво-, пожаро- и электробезопасности**

В соответствии с п. 7.3.47 ПУЭ зона размещения ДГУ не относится в части её электрооборудования к взрывоопасной.

В соответствии с п. 7.4.7 ПУЭ зона размещения ДГУ не относится в части её электрооборудования к пожароопасной.

В проекте соблюдены все требования нормативных документов по электробезопасности.

Для защиты от поражения электрическим током в нормальном режиме применяются следующие меры защиты от прямого прикосновения:

- основная изоляция токоведущих частей;
- ограждения и оболочки.

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции применяются следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

- защитное заземление;
- автоматическое отключение питания;
- уравнивание потенциалов.

Электробезопасность эксплуатации электрооборудования обеспечивается следующими мерами:

- выбор уставок защитных аппаратов, обеспечивающих их срабатывание при возникновении токов короткого замыкания и перегрузки;
- отключение токов короткого замыкания за время, не превышающее 0,4 с (согласно п. 1.7.79 ПУЭ);
- защита кабелей от механических повреждений и нарушения изоляции;

- выбор марок и сечений кабелей, способов их прокладки в соответствии с требованиями ПУЭ, ГОСТов и других нормативных документов.

Основная система уравнивания потенциалов предусматривает соединение между собой следующих проводящих частей:

- нулевой защитный PEN(PE) – проводник кабельных линий;
- основной заземляющий проводник;
- заземляющее устройство;
- открытые проводящие части электроустановок энергокомплекса;
- сторонние проводящие части.

Объединение осуществляется на главной заземляющей шине (ГЗШ). В качестве ГЗШ принята шина PE ГРЩ.

Присоединение нулевых защитных проводников уравнивания потенциалов к открытым проводящим частям электроустановок, а также к сторонним проводящим частям выполняется при помощи болтовых соединений или сварки.

#### **5.14 Расчёт токов трёхфазного и однофазного короткого замыкания**

Далее будет произведен расчет токов трёхфазного и однофазного короткого замыкания для энергокомплекса.

Начальное действующее значение периодической составляющей тока трёхфазного короткого замыкания в заземляющем устройстве с автономными источниками электроэнергии рассчитывается по формуле:

$$I_{п0}^{(3)} = \frac{E_{фГ}''}{\sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \quad (32)$$

где  $E_{фГ}''$  – сверхпереходная фаза ЭДС автономного источника, В;

$R_{1\Sigma}$  – суммарное активное сопротивление цепи КЗ прямой последовательности, мОм;

$X_{1\Sigma}$  – суммарное индуктивное сопротивление цепи КЗ прямой последовательности, мОм.

Расчет начального действующего значения периодической составляющей тока однофазного КЗ в ЭУ с автономными источникам электроэнергии производится по формуле:

$$I_{п0}^{(1)} = \frac{3E_{\Phi\Gamma}''}{\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \quad (33)$$

где  $R_{1\Sigma}$  – суммарное активное сопротивление цепи КЗ обратной последовательности, мОм;

$X_{1\Sigma}$  – суммарное индуктивное сопротивление цепи КЗ обратной последовательности, мОм.

Сверхпереходная фазная ЭДС автономного источника находится по формуле:

$$E_{\Phi\Gamma}'' = \sqrt{(U_{\Phi_0} + I_0 X_d'' \sin \Phi_0)^2 + (I_0 X_d'' \cos \Phi_0)^2}, \quad (34)$$

где  $U_{\Phi_0}$  – фазное напряжение на выводах источника в момент, предшествующий КЗ, В;

$I_0$  – ток в цепи источника в момент, предшествующий КЗ, А;

$\Phi_0$  – угол сдвига фаз между напряжением и током в момент, предшествующий КЗ, град;

$X_d''$  – сверхпереходное сопротивление источника, Ом.

Сверхпереходное сопротивление источника в именованных единицах определяется по формуле:

$$X_d'' = X_{d-ие}'' = X_{d-ое}'' \cdot \frac{U_H^2}{S_H}, \quad (35)$$

где  $X_{d-ие}''$  – сверхпереходное сопротивление источника в именованных единицах, мОм;

$X_{d-ое}''$  – сверхпереходное сопротивление источника в относительных единицах, о.е;

$U_H$  – номинальное напряжение источника, В;

$S_H$  – номинальная полная мощность источника, кВА.

Суммарное активное сопротивление прямой последовательности рассчитывается по формуле:

$$R_{1\Sigma} = r_{та} + r_{кв} + r_p + r_{ш} + r_k + r_{1кб} = r_{кв} + r_k + r_{1кб}, \quad (36)$$

где  $r_{кв}$  – активное сопротивление токовых катушек и переходных сопротивлений подвижных контактов автоматических выключателей, мОм;

$r_k$  – суммарное активное сопротивление различных контактов и контактных соединений, мОм;

$r_{1кб}$  – Активное сопротивление прямой последовательности кабелей, мОм.

Расчет суммарного индуктивного сопротивления прямой последовательности производится по формуле:

$$X_{1\Sigma} = x_{та} + x_{кв} + x_p + x_{ш} + x_k + x_{1кб} = x_{кв} + x_k + x_{1кб}, \quad (37)$$

где  $x_{кв}$  – суммарное индуктивное сопротивление различных контактов и контактных соединений, мОм;

$x_{1кб}$  – индуктивное сопротивление прямой последовательности кабелей, мОм.



Суммарное активное сопротивление обратной последовательности определяется по формуле:

$$\begin{aligned} R_{0\Sigma} &= r_{0T} + r_p + r_{Ta} + r_{KB} + r_{0Ш} + r_K + r_{0КБ} + r_{0ВЛ} \\ + r_d &= r_{KB} + r_K + r_{0КБ} + r_d, \end{aligned} \quad (38)$$

где  $r_{0КБ}$  – активное сопротивление обратной последовательности кабелей, мОм.

Суммарное индуктивное сопротивление обратной последовательности находится по формуле:

$$X_{0\Sigma} = x_{0T} + x_p + x_{Ta} + x_{KB} + x_{0Ш} + x_K + x_{0КБ} + x_{0ВЛ} = x_{KB} + x_{0КБ}, \quad (39)$$

где  $x_{0КБ}$  – индуктивное сопротивление обратной последовательности кабелей, мОм.

Расчет начального значение аperiodической составляющей тока КЗ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0}, \quad (40)$$

Ударный ток КЗ определяется по формуле:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot K_{уд}, \quad (41)$$

где  $K_{уд}$  – ударный коэффициент.

Итоги расчетов токов КЗ из паспортных данных установки ДГУ приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты расчетов токов КЗ

Точка КЗ	$R_{1\Sigma}$	$X_{1\Sigma}$	$R_{0\Sigma}$	$X_{0\Sigma}$	$E_{\Phi}$	$I_{\text{п0}}$	$K_{\text{уд}}$	$i_{\text{уд}}$
	МОм	МОм	МОм	МОм	В	кА	-	кА
K1 <sup>(3)</sup>	0,48	38,55	-		247,7	6,43	2,00	18,13
K2 <sup>(3)</sup>	5,24	40,79	-		247,7	6,02	1,70	14,47
K1 <sup>(1)</sup>	0,48	38,55	15,48	0,11	247,7	9,41	-	-
K2 <sup>(1)</sup>	5,24	40,79	33,92	4,67	247,7	7,66	-	-

### 5.15 Проверка срабатывания автоматических выключателей

Необходима проверка расцепителей автоматических выключателей для контроля тока срабатывания.

Расчетный ток отключения автоматического выключателя находится по формуле:

$$I_{\text{мин-КЗ}} = K \cdot I_{\text{ном}} \cdot K_{\text{разб}}, \quad (42)$$

где  $K$  – кратность токовой отсечки расцепителя автоматического выключателя;

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$K_{\text{разб}}$  – коэффициент разброса автоматического выключателя.

Данные расчета проверки срабатывания расцепителя автоматического выключателя внесены в таблицу 12.

Таблица 12 – Результаты расчета проверки срабатывания защитных автоматов

Аппарат	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$K, -$	$I_{\text{уст}}, \text{А}$	$K_{\text{разб}}, -$	$I_{\text{мин-КЗ}}, \text{А}$	$I_{\text{к}}, \text{А}$	Срабатывание аппарата
QF01	800	6.0	800	1.2	5760	6020	Обеспечено

### 5.16 Расчет потерь напряжения в линиях

Потери напряжения в линии рассчитываются по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L_{\text{л}} \cdot R_{\text{уд}}}{U_{\text{н}}}, \quad (43)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение, В;

$I$  – Расчетный ток линии, А;

$L_L$  – Длина линии, км;

$R_{уд}$  – Удельное сопротивление кабеля/провода, Ом/км.

В соответствии с ГОСТ Р 50571.15-97 потеря напряжения от выводов генератора ДГУ до наиболее удаленной точки не должно превышать 4%.

Итоги расчетов потерь напряжения в линиях приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты расчета потерь напряжения в линиях

Обозначение линии	Марка и сечение кабеля	Количество кабелей в пучке	$U$ , В	$I$ , А	$L_L$ , км	$R_{уд}$ , Ом/км	$\Delta U$ , %
АВР-н2.1-1,2	ВБбШвнг 2х(4х150)	2	400,0	697,8	0,070	0,124	1,31
ГРЩ-н2.1-1,2	ВВГнг-LS 2х(4х150)	2	394,8	697,8	0,006	0,124	0,11
Минимум			394,4				1,42

Вывод по разделу: Наибольшая потеря напряжения – на АВР-н2.1-1,2 – 1,31%, что не превышает допустимое отклонение напряжения в 4% и соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

## **6 Выбор и обоснование схемы электроснабжения**

### **6.1 Питание объекта**

Для питающей КЛ объекта принята трехфазная четырехпроводная система (L1, L2, L3, PEN), пятипроводная система (L1, L2, L3, N и PE) — для ГРЩ и силовой распределительной сети и однофазная трехпроводная (L1, N и PE) для однофазных электроприемников и электрического освещения.

Принята система заземления TN-C-S: TN-C — со стороны питающей подстанции до ГРЩ и система TN-S с отдельным заземляющим устройством, начиная с ГРЩ. Точкой раздела систем заземления является шина PE в ГРЩ.

Проводники PEN питающих кабелей соединяются с шиной PE во вводных панелях ГРЩ. Здесь же шину PE соединяется с шиной N перемычкой (материал и сечение перемычки, как и у фазных шин).

Распределение электроэнергии от ГРЩ к силовым распределительным щитам и потребителям 1 и 2 категории выполняется по радиальной схеме.

Главным достоинством применяемой схемы будет являться ее высокая надежность и простота монтажа. При этом, в случае возникновения аварийной ситуации, отключение электроприемников осуществляется селективно, то есть отключается только поврежденный участок линии, не затрагивая целый участок сети.

Как и у любого проектного решения, у данного типа схемы есть свои недостатки, которые должны быть учтены и приняты во внимание. Масштабы и протяженность линий в такой схеме сравнительно велики, это должно быть учтено при расчете потерь в линиях, и технико-экономических расчетах [18].

### **6.2 Главный распределительный щит (ГРЩ)**

Главный распределительный щит (ГРЩ) имеет две секции шин, запитанных от независимых вводов ТП и секцию шин АВР с выходом на дизель-генератор. В ГРЩ принята пятипроводная система шин: фазные

шины L1, L2 и L3, шина рабочей (N) и защитной (PE) нейтрали. Материал шин — медь, сечение всех шин одинаковое.

Шина PE выполняет также функции главной заземляющей шины (ГЗШ) и главной потенциалоравнивающей шины (ГПШ) (см. п. 1.7.119 ПУЭ).

Функции коммутации и защиты цепей от перегрузки и КЗ выполняются автоматическими выключателями с электронными микропроцессорными и термомагнитными расцепителями.

Конструктивно ГРЩ принят на базе металлических шкафов (панелей) двухстороннего (одностороннего) напольного изготовления. Степень защиты шкафов IP55. В двери каждого шкафа предусмотрена установка комплектного внутреннего замка, позволяющего открыть дверь только ключом.

### **6.3 Силовые распределительные щиты**

Все распределительные щиты приняты с пятипроводной системой проводников: фазные проводники L1, L2 и L3, рабочий (N) и защитной шиной (PE). Материал проводников — медь, сечение всех проводников одинаковое.

Проводник PE выполняет также функции заземляющего и потенциалоравнивающего проводника.

Коммутация и защита цепей от перегрузки и КЗ выполняются автоматическими выключателями с электронными микропроцессорными и термомагнитными расцепителями.

Защита от токов утечки выполняется устройствами защитного отключения (УЗО).

Щиты металлические навесного исполнения, степень защиты IP55. В двери каждого щита предусмотрена установка комплектного внутреннего замка, позволяющего открыть дверь только ключом.

## 7 Расчет номинальных токов и проводников

Следующий этап в разработке системы электроснабжения относится к расчету номинальных токов и выбору проводников по исходным и расчетным данным.

Так как выбранная схема электроснабжения имеет большую протяженность кабельных линий, то при выборе кабеля не стоит делать большой запас сечения, это существенно скажется на стоимости системы электроснабжения торгового комплекса в целом.

Питание трехфазной сети будет осуществляться по 5-ти проводной схеме (L1, L2, L3, N, PE). Выбор кабеля производится по номинальному напряжению и допустимому току.

Для присоединения вводов к ГРЩ примем к монтажу силовой кабель ПВЗ с медной многопроволочной жилой сечением 240 миллиметров квадратных, в поливинилхлоридной изоляции.

Для коммутации к распределительным щитам выбран силовой кабель марки ВВГнг-LS.

Также, в отдельных случаях будет применен кабель марки ВВГнг-FRLS, это огнестойкий кабель с медными жилами, с изоляцией и оболочкой из поливинилхлоридных композиций пониженной пожароопасности, он будет использоваться, например, для аварийного освещения.

Для ввода собственных нужд ДГУ будет использован кабель марки ВВбШвнг, это силовой бронированный лентами кабель, с медной жилой, изоляцией из ПВХ, защитным шлангом из ПВХ пониженной горючести.

Далее будут произведены расчеты для выбора сечения и количества жил кабеля, исходя из справочных данных [6].

Величину расчетного тока для ротационной печи (трехфазный электроприемник) определим по формуле:

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos\varphi}, \quad (44)$$

где  $P$  – номинальная мощность электроприемника, равная 72,6 кВт;  
коэффициент мощности  $\cos\varphi = 0,95$ .

$$I_p = \frac{72,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 116,1 \text{ А.}$$

К установке примем кабель типа ВВГнг-LS 5x50 с допустимым током в 46 А, условие по допустимому току выполняется  $116,1 \text{ А} \leq 167 \text{ А}$ .

Аналогично проведем расчеты для других электроприемников и групп электроприемников, результаты запишем в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет номинальных токов и выбор сечения кабелей

№ п/п	Группа	Нагрузка	Расчетный ток, А	Тип кабеля
1	2	3	4	5
1	Пом.118	Ротационная печь	116,1	ВВГнг-LS 5x50
2	ЩК1	Кондиционеры и тепловая завеса	209,1	ВВГнг-LS 2(5x50)
3	Пом.118	Уличное освещение	53,1	ВВГнг-LS 5x25
4	ЩС1.1	Технологическое оборудование	19,1	ВВГнг-LS 5x6
5	ЩС1.2	Технологическое оборудование	179,3	ВВГнг-LS 5x95
6	ЩС2	Технологическое оборудование	77,3	ВВГнг-LS 5x25
7	ЩО1	Рабочее освещение	89,3	ВВГнг-LS 5x25
8	ЩО4	Рабочее освещение	32,9	ВВГнг-LS 5x25
9	ЩО5	Рабочее освещение	14,1	ВВГнг-LS 5x10
10	ЩО6	Рабочее освещение	15,3	ВВГнг-LS 5x10
11	ЩК2	Кондиционеры и тепловая завеса	407,6	2xВВГнг-LS 5x120
12	ЩК3	Кондиционеры и тепловая завеса	31,9	ВВГнг-LS 5x10
13	ЩР1	Розеточная сеть	26	ВВГнг-LS 5x25
14	ЩВ3	Вентиляционное оборудование	5,3	ВВГнг-LS 5x2,5
15	ЩВ4	Вентиляционное оборудование	17,7	ВВГнг-LS 5x10
16	ЩВ5	Вентиляционное оборудование	54,9	ВВГнг-LS 5x16

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
17	ЩБ1.1	ИБП 12 кВА	54,5	ВВГнг-LS 5x25
18	ЩБ2.1	ИБП 40 кВА	60,8	ВВГнг-LS 5x25
19	ВЭРС-1.1	Выделенная сеть ИТ оборудования	29,2	ВВГнг-LS 5x25
20	ВЭРС-1.2	Выделенная сеть ИТ оборудования	25,1	ВВГнг-LS 5x16
21	ЩАО1	Аварийное освещение	8,9	ВВГнг-FRLS 5x6
22	ЩБ2.2	ИБП 40 кВА	60,8	ВВГнг-LS 5x25
23	ВЭРС-2.1	Выделенная сеть ИТ оборудования	-	ВВГнг-LS 5x25
24	ВЭРС-1.2	Выделенная сеть ИТ оборудования	25,1	ВВГнг-LS 5x25
25	ЩАО1	Аварийное освещение	8,9	ВВГнг-FRLS 5x16
26	ЩБ2.3	ИБП 40 кВА	60,8	ВВГнг-LS 5x25
27	ВЭРС-3	Выделенная сеть ИТ оборудования	-	ВВГнг-LS 5x25
28	ЩАО2	Аварийное освещение	1,7	ВВГнг-FRLS 5x2,5
29	ЩАО3	Аварийное освещение	4,3	ВВГнг-FRLS 5x6
30	ЩАО5	Аварийное освещение	0,8	ВВГнг-FRLS 5x2,5
31	Пом.112	Подовая печь	82,8	ВВГнг-LS 5x50
32	Пом.75	Пароконвертомаг	80	ВВГнг-LS 5x50
33	ЩС1.3	Технологическое оборудование	169,5	ВВГнг-LS 5x95
34	ЩС1.4	Технологическое оборудование	48,6	ВВГнг-LS 5x25
35	ЩО2	Рабочее освещение	21,6	ВВГнг-LS 5x25
36	ЩО3	Рабочее освещение	35,4	ВВГнг-LS 5x25
37	ЩС1.5	Щит силовой	9,1	ВВГнг-LS 5x4
38	ЩВ2	Вентиляционное оборудование	11,8	ВВГнг-LS 5x6
39	ЩВ6	Вентиляционное оборудование	23,2	ВВГнг-LS 5x10
40	ЗМ1	-	-	ПуГВ 1x150
41	ЗМ1	-	-	ПуГВ 1x150
42	ЩАВР	АВР-н1.1-1.2	-	ВВГнг-LS 2(4x150)
43	Ввод ЩГП	АВР-н2.1-2.2	-	ВВбШвнг- 2(4x150)
44	Пом.162	Видеонаблюдение	-	ВВГнг-LS 5x16
45	-	Компрессорная пом. 117	162,1	ВВГнг-LS 5x70
46	-	Компрессорная пом. 117	607,7	ВВГнг-LS 2x(5x185)
47	-	Ввод собственных нужд ДГУ	15	ВВбШвнг-3x2,5
48	Ввод 1	-	1349,6	ПВЗ 16 (1x240)
49	Ввод 2	-	823,2	ПВЗ 16 (1x240)

Рассчитаем потери в линиях, от трансформатора КТП до ГРЩ, от ГРЩ до РЩЗ и от РЩЗ до самого удаленного электроприемника, чтобы проверить



на допустимое отклонение напряжение на соответствие ГОСТ 13109-87 «Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения». Результаты сведены в таблицу 15.

Потери напряжения в трехфазных линиях переменного тока определяются по формуле:

$$\Delta U_{\text{Л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{р}} \cdot L}{U_{\text{Л}}} \cdot ((r_0 \cdot \cos \varphi) + (x_0 \cdot \sin \varphi)), \quad (45)$$

где  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток в линии, А;

$L$  – длина линии, км;

$U_{\text{Л}}$  – напряжение в линии, В;

$r_0$  – удельное активное сопротивление кабеля, Ом/км;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км.

Потери напряжения в трехфазных линиях переменного тока:

$$\Delta U_{\text{Л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1349,6 \cdot 0,02}{380} (0,075 \cdot 0,95 + 0,07 \cdot 0,31) \cdot 100\% = 1,15 \%$$

$$\Delta U_{\text{Л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 65,5 \cdot 0,02}{380} (0,72 \cdot 0,8 + 0,066 \cdot 0,6) \cdot 100\% = 0,4 \%$$

$$\Delta U_{\text{Л}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 17,7 \cdot 0,161}{380} (1,79 \cdot 0,8 + 0,073 \cdot 0,6) \cdot 100\% = 1,92 \%$$

Таблица 15 – Параметры линий до вентиляционного оборудования

№ п/п	Линия	Кабель	Длина L, км	$I_{\text{р}}$ , А	$\cos \varphi$	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км
1	2	3	4	5	6	7	8
1	от КТП до ГРЩ	ПВЗ 16 (1x240)	0,02	1349,6	0,95	0,075	0,07
2	от ГРЩ до РЩЗ	ВВГнг-LS 5x25	0,02	65,5	0,8	0,72	0,066
3	от РЩЗ до вент. оборудования	ВВГнг-LS 5x10	0,161	17,7	0,8	1,79	0,073

Расчет уровня напряжения в исследуемой линии производится по формуле:

$$U_{ЭП} = U_X - \Delta U_L, \quad (46)$$

где  $U_X$  – напряжение холостого хода на зажимах вторичной обмотки трансформатора, равное 105%;

$\Delta U_L$  – потери напряжения в линиях, %.

Определим уровень напряжения в исследуемой линии:

$$U_{ЭП} = 105 - 1,15 - 0,4 - 1,92 = 101,53\%.$$

Таким образом, допустимое отклонение напряжения соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

## 8 Расчет токов короткого замыкания

При расчетах токов КЗ рекомендуется учитывать сопротивление электрической дуги в месте КЗ» [5]. Расчет токов короткого замыкания будем производить согласно методике, описанной в [2].

Для расчета токов будем использовать следующие формулы:

Коэффициент действующего значения тока следует находить по формуле:

$$q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}, \quad (47)$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент, который определяется по графику, который проиллюстрирован на рисунке 2.

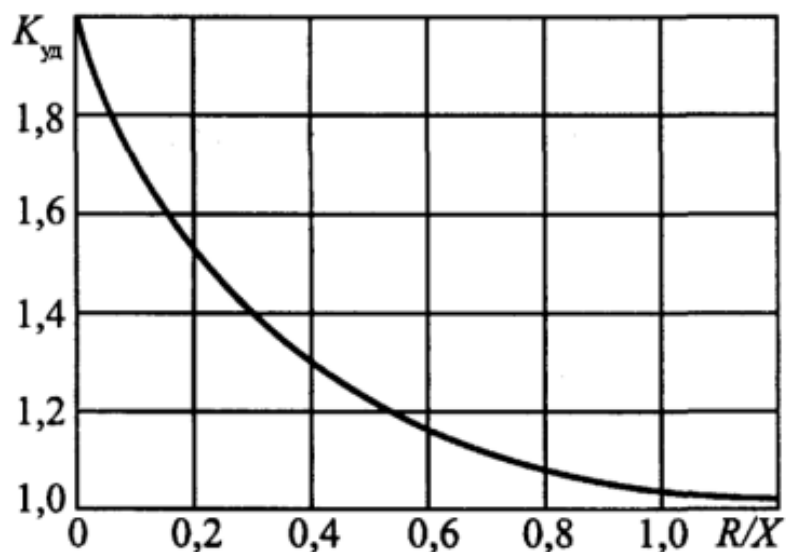


Рисунок 2 – График зависимости ударного коэффициента

Далее ток трехфазного КЗ определяется с учетом полного сопротивления до точки КЗ по формуле:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{\text{КЗ}}}. \quad (48)$$

Ток двухфазного КЗ находится по формуле:

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)}. \quad (49)$$

Ударный ток определяется по формуле

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)}. \quad (50)$$

Действующее значение ударного тока находится по формуле:

$$I_y = q \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)}. \quad (51)$$

Используя вышеперечисленные формулы, далее будет произведен расчет токов короткого замыкания по линии от 110кВ, до вентиляционного оборудования в ЩВ5. На рисунке 3 составлена схема для расчета токов КЗ.

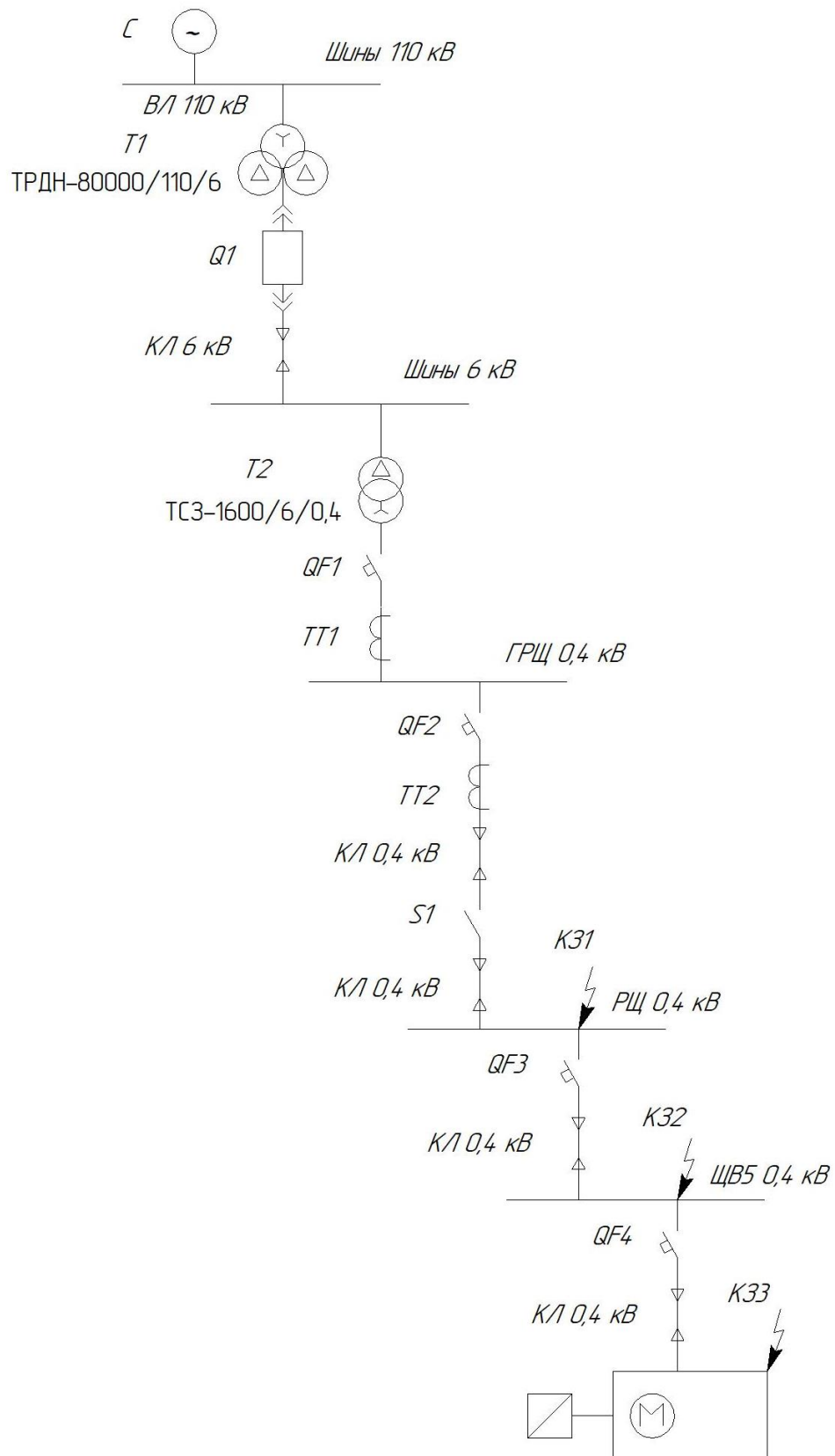


Рисунок 3 – Схема для расчетов токов КЗ

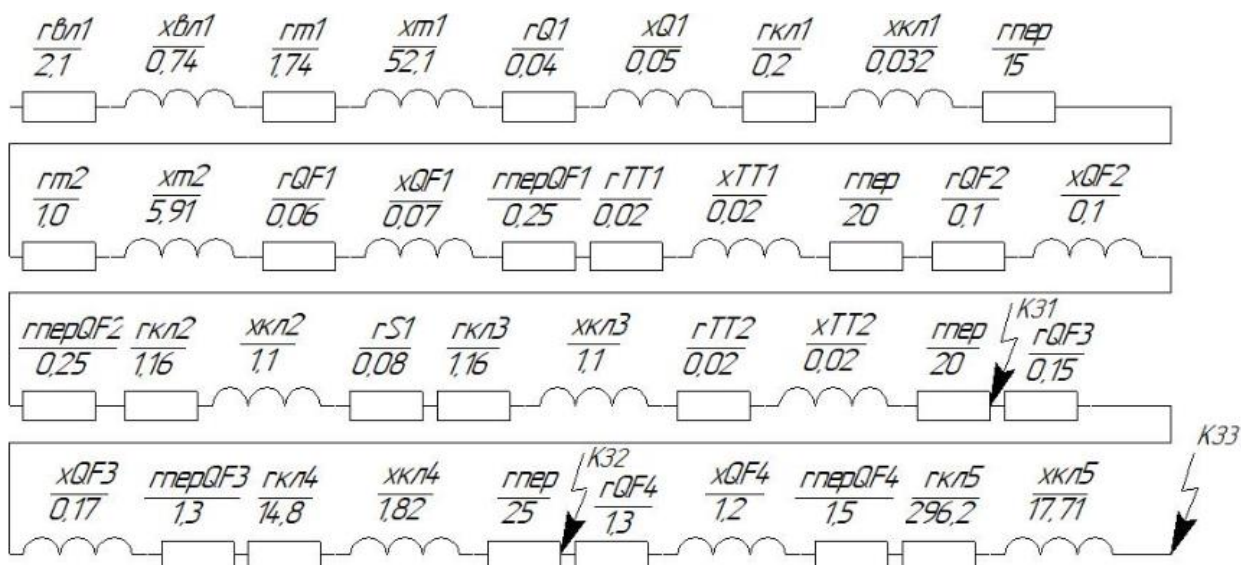


Рисунок 4 – Схема замещения

По справочным данным находятся активные и индуктивные сопротивления для всех элементов схемы замещения [16], полученные занесены в таблицу 16.

Таблица 16 – Справочные данные для сопротивлений элементов схемы замещения

Элемент схемы	Активное сопротивление, мОм	Индуктивное сопротивление, мОм
Q1	0,04	0,05
QF1	0,06	0,07
QF2	0,10	0,10
QF3	0,15	0,17
QF4	1,3	1,2
T1	1,74	52,1
T2	1,0	5,91
TT1	0,02	0,02
TT2	0,02	0,02
S	0,08	0,08
перQF1	0,25	-
перQF2	0,25	-
перQF3	1,3	-
перQF4	1,5	-

Далее необходимо рассчитать активные и индуктивные сопротивления для линий, при этом нужно иметь в виду, что расчет для линий до 1кВ и выше 1кВ имеют разные формулы:

Расчет для линий более 1 кВ расчет по формулам:

$$r = r_0 \cdot L \cdot \frac{U_6}{U_{cp}}, \quad (52)$$

$$x = x_0 \cdot L \cdot \frac{U_6}{U_{cp}}, \quad (53)$$

где  $r_0$  – удельное активное сопротивление кабеля, мОм/км;

$x_0$  – удельное индуктивное сопротивление кабеля, мОм/км.

Расчет для линий ниже 1 кВ расчет по формулам:

$$r = r_0 \cdot L. \quad (54)$$

$$x = x_0 \cdot L. \quad (55)$$

Расчеты для линий занесены в таблицу 17.

Таблица 17 – Расчетные активные и индуктивные сопротивления для линий

Линия	Обозначение на схеме	Удельное активное сопротивление, мОм/м	Удельное индуктивное сопротивление, мОм/м	Протяженность линии, м
ВЛ	гвл/хвл	1,16	0,41	500
КЛ1	гкл1/хкл1	0,53	0,088	100
КЛ2	гкл2/хкл2	0,077	0,071	15
КЛ3	гкл3/хкл3	0,077	0,071	15
КЛ4	гвл4/хкл4	0,74	0,091	20
КЛ5	гкл5/хкл5	1,84	0,11	161

Расчет параметров схемы замещения для воздушной линии и кабельных линий.

$$r_{вл} = 1,16 \cdot 500 \cdot \frac{0,4}{110} = 2,1 \text{ мОм.}$$

$$x_{вл} = 0,41 \cdot 500 \cdot \frac{0,4}{110} = 0,74 \text{ мОм.}$$

$$r_{кЛ1} = 0,53 \cdot 100 \cdot \frac{0,4}{110} = 0,2 \text{ мОм.}$$

$$x_{кЛ1} = 0,088 \cdot 100 \cdot \frac{0,4}{110} = 0,032 \text{ мОм.}$$

$$r_{кЛ2} = 0,077 \cdot 15 = 1,16 \text{ мОм.}$$

$$x_{кЛ2} = 0,071 \cdot 15 = 1,1 \text{ мОм.}$$

$$r_{кЛ3} = 0,077 \cdot 15 = 1,16 \text{ мОм.}$$

$$x_{кЛ3} = 0,071 \cdot 15 = 1,1 \text{ мОм.}$$

$$r_{кЛ4} = 0,74 \cdot 20 = 14,8 \text{ мОм.}$$

$$x_{кЛ4} = 0,091 \cdot 20 = 1,82 \text{ мОм.}$$

$$r_{кЛ5} = 1,84 \cdot 161 = 296,24 \text{ мОм.}$$

$$x_{кЛ5} = 0,11 \cdot 161 = 17,71 \text{ мОм.}$$

Далее необходимо просуммировать активные и индуктивные сопротивления элементов схемы замещения до каждой точки КЗ, чтобы получить упрощенную схему замещения.



Рисунок 5 – Схема замещения

Суммарное активное сопротивление дотя точки КЗ1:

$$R_{сумк31} = r_{вл} + r_{кЛ1} + r_{кЛ2} + r_{кЛ3} + r_{Т1} + r_{Т2} + r_{ТТ1} + r_{ТТ2} + \quad (56)$$

$$r_{Q1} + r_{QF1} + r_{QF2} + r_{перQF1} + r_{перQF2} + r_{пер1} + r_{пер2} + r_{пер3} + r_{дуги}.$$

$$R_{сумк31} = 2,1 + 0,2 + 1,16 + 1,16 + 1,74 + 1,0 + 0,02 + 0,02 + 0,04 + 0,06 + 0,1 + 0,25 + 0,25 + 15 + 20 + 20 + 7 = 70,1 \text{ мОм.}$$



Суммарное индуктивное сопротивление для точки КЗ1

$$X_{\text{сумКЗ1}} = x_{\text{вл}} + x_{\text{кл1}} + x_{\text{кл2}} + x_{\text{кл3}} + x_{\text{Т1}} + x_{\text{Т2}} + x_{\text{ТТ1}} + x_{\text{ТТ2}} + x_{\text{Q1}} + x_{\text{QF1}} + x_{\text{QF2}}. \quad (57)$$

$$X_{\text{сумКЗ1}} = 0,74 + 0,032 + 1,1 + 1,1 + 52,1 + 5,91 + 0,02 + 0,02 + 0,05 + 0,07 + 0,1 = 61,2 \text{ мОм.}$$

Полное сопротивление для точки КЗ1:

$$Z_{\text{КЗ1сум}} = \sqrt{R_{\text{сумКЗ1}}^2 + X_{\text{сумКЗ1}}^2}. \quad (58)$$
$$Z_{\text{КЗ1сум}} = \sqrt{70,1^2 + 61,2^2} = 93,1 \text{ мОм.}$$

По рисунку 2 находится ударный коэффициент тока, по полученным данным полного сопротивления ударный коэффициент равен –  $K_y = 1,01$

Коэффициент действующего значения:

$$q = \sqrt{1 + 2(1,01 - 1)^2} = 1.$$

Ток трехфазного симметричного КЗ:

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 93,1} = 2,48 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,48 = 2,15 \text{ кА.}$$

Ударный ток:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 1,01 \cdot 2,48 = 3,54 \text{ кА.}$$

Действующее значение тока:

$$I_y = 1 \cdot 2,48 = 2,48 \text{ кА.}$$

Для расчета однофазного тока КЗ будет составлена схема замещения (рисунок 6), с учетом  $r_{\Pi} = 2 \cdot r_0$ .

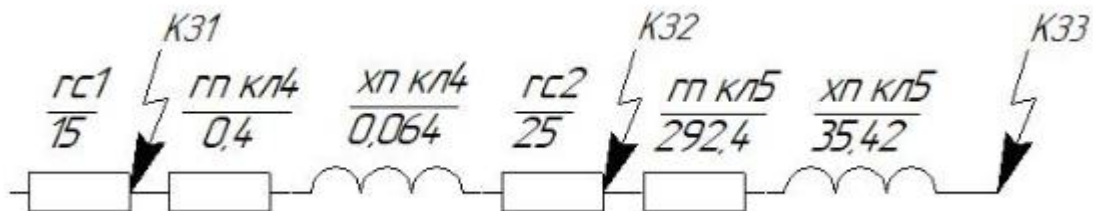


Рисунок 6 – Схема замещения для расчета однофазного КЗ

Расчет для однофазного тока КЗ будет произведен по формуле:

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{U_{\text{нф}}}{Z_{\Pi} + 0,33 \cdot Z_{\text{T}}^{(1)}}, \quad (59)$$

где  $U_{\text{нф}}$  – номинальное напряжение фазы, В;

$Z_{\Pi}$  - сопротивление петли фазануль до точки КЗ, мОм;

$Z_{\text{T}}^{(1)}$  – сопротивление трансформатора однофазному КЗ, мОм.

Сопротивления  $Z_{\text{T}}^{(1)}$  и  $Z_{\Pi}$  находятся по справочным данным а сопротивление петли принимается равным переходному сопротивлению ступени.

Расчет для однофазного тока КЗ:

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{220}{15 + 0,33 \cdot 54} = 6,7 \text{ кА.}$$

Для точек К2 и К3 необходимо провести расчет аналогичным образом для К1. Полученные данные для всех точек КЗ занесены в таблицу 18.

Таблица 18 – Расчетные токи КЗ для схемы замещения

№ п/п	Точка КЗ	$R_{\text{сум}}$	$X_{\text{сум}}$	$Z_{\text{сум}}$	$K_y$	q	$I_{\text{КЗ}}^{(1)}$ , кА	$I_{\text{КЗ}}^{(2)}$ , кА	$I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ , кА	$i_y$ , кА	$I_y$ , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КЗ 1	70,1	61,2	93,1	1,01	1	6,7	2,15	2,48	3,54	2,48
2	КЗ 2	41,25	1,99	41,3	1	1	5,82	4,84	5,59	7,9	5,59
3	КЗ 3	299	19,21	299,6	1	1	5,14	0,67	0,77	1,1	0,77

По итогам расчетов, найдено полное сопротивление элементов для схемы замещения, а также определен наиболее опасный для системы электроснабжения ток короткого замыкания, таковым является однофазный ток короткого замыкания.

## **9 Выбор оборудования**

Во время разработки системы электроснабжения всегда встает вопрос о выборе надежного и долговечного защитного и коммутационного оборудования. Выбор оборудования производится на основе расчетных данных электротехнической части объекта и технико-экономической целесообразности монтажа такого оборудования. В качестве таких аппаратов применяют защитные автоматические выключатели, предохранители и рубильники.

Выбрав в качестве производителя защитных аппаратов хорошо себя зарекомендовавшую французскую марку Legrand [1], далее в этом разделе будет произведен подбор аппаратов для защиты распределительных и групповых сетей, а также проведена их проверка по основным параметрам.

### **9.1 Выбор автоматических выключателей**

Данный тип оборудования необходим для своевременной защиты отходящих линий при наличии условий ненормального режима работы сети или возникновения токов короткого замыкания, ведь последствия таких режимов и явлений может оказаться разрушительным для электроприемников. В связи с этим требуется правильный подбор оборудования, опираясь на основные параметры сети, так и группу приемников, которые необходимо защитить. Стоит помнить, что надежность работы системы электроснабжения обеспечивается быстрым и своевременным отключением питания поврежденных линий, а также селективностью работы защитных аппаратов.

В соответствии с таб.1.7.1. п.1.7.79. ПУЭ (7-ое издание) в системе TN время отключения питания  $t_{оп}$  при напряжении 220 В не должно превышать 0,2 с, а при 380 В - 0,4 с. В соответствии с паспортными данными автоматических выключателей (Legrand DPX3 и DMX3) время срабатывания электромагнитного расцепителя много меньше 0,2 с (менее 50 мс).

В связи с этим для обеспечения безопасного отключения вполне достаточно, чтобы при замыкании на корпус или нулевой защитный проводник возникал ток короткого замыкания, превышающий не менее чем в 1,2 (коэффициент запаса, учитывающий разброс характеристики выключателя и погрешности расчетов) раза ток срабатывания электромагнитного расцепителя выключателя.

На вводах главного распределительного щита (ГРЩ) будет использоваться автоматический выключатель нагрузки марки Legrand DMX с электронным расцепителем. Ниже в таблице 19 приведены паспортные данные автоматического выключателя.

Таблица 19 – Параметры для автоматического выключателя АВВ Т8L

№ п/п	Паспортные данные	Значение параметра
1	2	3
1	Номинальное напряжение, В	230-690
2	Номинальный ток, А	2500
3	Номинальный ток расцепителя, А	2500
4	Уставка срабатывание электронного расцепителя, А	9 I <sub>н.р.</sub>
5	Номинальная наибольшая отключающая способность, кА	120 (при 400 В, 50 Гц)
6	Номинальная предельная наибольшая отключающая способность, кА	65

Далее проверим возможность установки автоматического выключателя, основываясь на следующих параметрах и условиях эксплуатации в нормальном режиме функционирования системы электроснабжения торгового комплекса. Расчет ведется согласно методическому пособию [9] и справочным данным [3].

По номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{сети.ном}, \quad (60)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение автоматического выключателя, В;

$U_{сети.ном}$  – номинальное напряжение сети, В.

Для автоматического выключателя Legrand DMX3:

$$U_{ном} = 400 В \geq U_{сети.ном} = 380 В.$$

По номинальному току расцепителя:

$$I_{ном} \geq I_{прод.расч}, \quad (61)$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток электромагнитного расцепителя автоматического выключателя, А;

$I_{длит.расч}$  – расчетный длительный ток нагрузки, А.

Для автоматического выключателя Legrand DMX3:

$$I_{ном} = 2500 А \geq I_{прод.расч} = 1846,2 А.$$

По номинальному току автоматического выключателя:

$$I_{ном.а} \geq I_{ном}, \quad (62)$$

где  $I_{ном.а}$  – номинальный ток автоматического выключателя, А;

$I_{ном}$  – номинальный ток участка цепи, А.

Для автоматического выключателя Legrand DMX3:

$$I_{ном.а} = 2000 А \geq I_{ном} = 2500 А.$$

По пиковому току:

$$I_{сраб} \geq I_{пик}, \quad (63)$$

где  $I_{сраб}$  – ток срабатывания автоматического выключателя, А;

$I_{пик}$  – кратковременный пиковый ток в линии, А.

Для автоматического выключателя Legrand DMX3:

$$22,5 \text{ кА} \geq 1,3 \text{ кА}.$$

По возможности отключения тока однофазного короткого замыкания:

$$I^{(1)} < 1,1 \cdot I_{сраб}, \quad (64)$$

где  $I^{(1)}$  – ток однофазного короткого замыкания, кА.

Для автоматического выключателя Legrand DMX3:

$$6,7 \text{ кА} < 24,75 \text{ кА}.$$

По отключающей способности выключателя:

$$I^{(3)} < I_{откл}, \quad (65)$$

где  $I^{(3)}$  – ток симметричного короткого замыкания, кА;

$I_{откл}$  – предельный ток отключения выключателя, кА.

Для автоматического выключателя Legrand DMX3:

$$5,59 \text{ кА} < 65 \text{ кА}.$$

По динамической стойкости токам трехфазного короткого замыкания:

$$i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}}, \quad (66)$$

где  $i_{\text{дин}}$  – ток электродинамической стойкости, кА;

$i_{\text{уд}}$  – ударный ток трехфазного короткого замыкания, кА.

Для автоматического выключателя Legrand DMX3:

$$48 \text{ кА} \geq 7,9 \text{ кА}.$$

Таким образом, автоматический выключатель Legrand DMX3-2500 может быть принят к установке [1].

Далее произведем выбор автоматических выключателей для других линий и занесем в таблицу 20.

Таблица 20 – Выбор автоматических выключателей

№ п/п	Группа	Автоматический выключатель	Номинальный ток, А
1	2	3	4
1	Пом.118	DPX3 250	200
2	ЩК1	DPX3 250	160
3	Пом.118	DPX3 160	63
4	ЩС1.1	DPX3 160	63
5	ЩС1.2	DPX3 250	200
6	ЩС2	DPX3 250	160
7	ЩО1	DPX3 250	100
8	ЩО4	DPX-E 3P 63	50
9	ЩО5	DPX-E 3P 63	25
10	ЩО6	DPX-E 3P 63	25
11	ЩК2	DPX3 630	630
12	ЩК3	DPX3 160	63
13	ЩР1	DPX3 250	100
14	ЩВ3	DPX-E 3P 63	16
15	ЩВ4	DPX-E 3P 63	25
16	ЩВ5	DPX-E 3P 160	80
17	ЩБ1.1	DPX3 250	100
18	ЩБ2.1	DPX3 250	100
19	ВЭРС-1.1	DPX-E 3P 63	60
20	ВЭРС-1.2	DPX-E 3P 63	50
21	ЩАО1	DPX-E 3P 63	16



Продолжение таблицы 20

1	2	3	4
22	ЩБ2.2	DPX3 250	100
23	ВЭРС-2.1	DPX-E 3P 63	50
24	ВЭРС-1.2	DPX-E 3P 63	50
25	ЩАО1	DPX-E 3P 63	25
26	ЩБ2.3	DPX3 250	100
27	ВЭРС-3	DPX-E 3P 63	50
28	ЩАО2	DPX-E 3P 63	16
29	ЩАО3	DPX-E 3P 63	16
30	ЩАО5	DPX-E 3P 63	16
31	Пом.112	DPX3 250	160
32	Пом.75	DPX3 250	160
33	ЩС1.3	DPX3 250	250
34	ЩС1.4	DPX3 250	100
35	ЩО2	DPX-E 3P 63	32
36	ЩО3	DPX-E 3P 63	80
37	ЩС1.5	DPX-E 3P 63	25
38	ЩВ2	DPX-E 3P 63	25
39	ЩВ6	DPX-E 3P 63	32
40	ЩАВР	DMX-N 2500	800
41	ЩГП (Ввод на секции III)	ABB OT800	800
42	Ввод I	DMX3 2500	2500
43	Ввод II	DMX3 2500	2500
44	РЩ1	DPX3250	250
45	РЩ2	DPX3 250	250
46	РЩ3	DPX3 250	250
47	РЩ4	DPX3 250	250
48	РЩ5	DPX3 250	250
49	Резерв 1	DPX3 250	250
50	Резерв 2	DPX3 250	250
51	Резерв 3	DPX3 250	250
52	Резерв 4	DPX3 250	250
53	АВР1	DMX-N 2500	2500

## 9.2 Выбор рубильника

Для выбора рубильника, как и в случае выключателя необходимо проверить возможность установки данного оборудования на вводе торгового комплекса, основываясь на следующих параметрах и условиях эксплуатации в нормальном режиме функционирования системы электроснабжения торгового комплекса.

По номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{сети.ном}, \quad (67)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение рубильника, В;

$U_{сети.ном}$  – номинальное напряжение сети, В.

По номинальному току расцепителя:

$$I_{ном} \geq I_{прод.расч}, \quad (68)$$

где  $I_{ном}$  – номинальный ток расцепителя, А;

$I_{длит.расч}$  – расчетный длительный ток нагрузки, А.

По динамической стойкости токам трехфазного короткого замыкания:

$$i_{дин} \geq i_{уд}, \quad (69)$$

где  $i_{дин}$  – ток электродинамической стойкости, кА;

$i_{уд}$  – ударный ток трехфазного короткого замыкания, кА.

К установке принят рубильник АВВ ОТ2000Е03, далее проверяется возможность установки по параметрам сети и нагрузки.

По номинальному напряжению:

$$1000 \text{ В} \geq 380 \text{ В},$$

По номинальному току расцепителя:

$$2000 \text{ А} \geq 1846,2 \text{ А}.$$

По динамической стойкости к трехфазным токам короткого замыкания:

$$55 \text{ кА} \geq 7,9 \text{ кА.}$$

Следовательно, к установке принят рубильник марки АВВ ОТ2000Е03

### 9.3 Выбор плавких предохранителей

Наряду с автоматическими выключателями, рубильниками, для защиты на вводе предусмотрен предохранитель с плавкой вставкой. Как и в предыдущих пунктах, данное защитное оборудование проверяется по параметрам и условиям эксплуатации в нормальном режиме функционирования системы электроснабжения торгового комплекса.

В качестве предохранителя к установке принимается оборудование марки ЕАТОН 170М6528 2000А.

По номинальному напряжению:

$$U_{ном} \geq U_{сети.ном}, \quad (70)$$

где  $U_{ном}$  – номинальное напряжение плавкого предохранителя, В;

$U_{сети.ном}$  – номинальное напряжение сети, В.

По номинальному току плавкой вставки:

$$I_{ном.вс.} \geq I_{прод.расч.}, \quad (71)$$

где  $I_{ном.вс.}$  – номинальный ток плавкой вставки, А;

$I_{прод.расч}$  – расчетный ток нагрузки, А.

По номинальному току предохранителя:

$$I_{ном.пр.} \geq I_{ном.вс.}, \quad (72)$$

где  $I_{\text{ном.пр.}}$  – номинальный ток предохранителя.

Также проводится проверка по чувствительности защиты при КЗ:

$$\frac{I^{(1)}}{I_{\text{ном.вс}}} \geq 3,$$

где  $I^{(1)}$  – ток однофазного короткого замыкания, кА.

Для предохранителя EATON 170M6528 2000А произведена проверка:

По номинальному напряжению:

$$1000 \text{ В} \geq 380 \text{ В}.$$

Далее будет произведен расчет по номинальному току плавкой вставки и предохранителя.

По номинальному току плавкой вставки:

$$2000 \text{ А} \geq 1846,2 \text{ А}.$$

По номинальному току предохранителя:

$$2000 \text{ А} \geq 2000 \text{ А}.$$

Чувствительность защиты при КЗ:

$$\frac{6700}{2000} = 3,35 \geq 3.$$

Данное оборудование проходит проверку по всем необходимым условиям, следовательно, предохранитель марки EATON 170M6528 2000А, может быть принят к установке.

## **10 Заземление, молниезащита, уравнивания потенциалов**

Защитное заземление, молниезащита и защитное уравнивание потенциалов выполняют функции защиты от поражения электрическим током и ударов молний, заноса высоких потенциалов и уменьшения влияния силовых цепей на цепи электронного оборудования (гл. 1.7 ПУЭ, ГОСТ 12.1.030-81, ГОСТ 12.4.124-83, ГОСТ Р 50571.3-94, ГОСТ Р 50571.10-96 и СО-153-34.21.122-2003).

### **10.1 Заземление и уравнивание потенциалов**

Для проектируемого объекта принята система защитного заземления TN-C-S (TNC до шины РЕ в ГРЩ и TN-S от шины РЕ в ГРЩ) по п.6.2.1 ГОСТ Р 51330-99.

Защитное заземление принято общим для электроустановок напряжением до 1000В в сети с глухозаземленной нейтралью, молниезащиты и уравнивания потенциалов [20].

Для защитного заземления принято искусственное заземляющее устройство (ИЗУ) с главной заземляющей шиной (ГЗШ) в ГРЩ.

С ГЗШ соединены заземляющими проводниками корпус ГРЩ, шины РЕ распределительных щитов (щитков), сторонние проводящие части здания (корпуса электроприемников, лотки и короба кабельной прокладки, металлические конструкции здания, металлические лестницы, трубы и др.).

Непрерывность металlosвязи в металлических лотках, используемых для прокладки кабелей, обеспечивается сертифицированной конструкцией стыков лотков лестничного типа.

Искусственное заземляющее устройство (ИЗУ) образуют горизонтальный заземлитель (стальная полоса 40x4мм) и вертикальные заземлители (стальной уголок 50x50x5мм). ГЗШ ГРЩ, ИЗУ и ЕЗУ соединяются заземляющими проводниками (стальная полоса 40x4мм).

Для защитного уравнивания потенциалов принята система «главная потенциалоуравнивающая шина (ГПШ) с уравнительными проводниками». Функции ГПШ и ГЗШ объединены (п.3.29 ГОСТ Р 50571.20-2000). Функцию уравнительных проводников выполняют шины и проводники РЕ.

Для защиты от заноса высоких потенциалов, по подземным металлическим коммуникациям принято стационарное их заземление на вводе в здание.

Заземление на вводе кабелей выполнить путем присоединения их оболочек и брони к ГЗШ. Стальные трубы на вводе заземлить путем соединения между собой и присоединения к контуру заземления стальной полосой 20x4 мм.

Прокладка силовых кабелей в металлических заземленных коробах и лотках уменьшает влияние электромагнитных полей силовых цепей на слаботочные цепи за счет электромагнитной индукции.

## **10.2 Расчет заземляющего устройства**

Сопротивление заземляющего устройства электроустановок напряжением до 1000 В в сети с глухозаземленной нейтралью согласно п.1.7.101 ПУЭ и п.4.4 ГОСТ 12.1.030-81 не должно превышать 4 Ом.

В качестве исходных данных для расчета параметров заземляющего устройства (ЗУ) принимается:

- ЗУ образовано горизонтальным заземлителем и вертикальными заземлителями;
- в качестве вертикального заземлителя принят стальной стержень диаметром 18 мм и длиной 5 м, в качестве горизонтального заземлителя выбран стальной стержень, как и в случае вертикального заземлителя.

Удельное сопротивление грунта на участке строительства не превышает  $\rho = 190 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .

По следующей формуле определяется расчетное удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{\rho} = K_{\text{сез}} \cdot \rho, \quad (73)$$

где  $K_{\text{сез}}$  – повышающий сезонный коэффициент.

Расчетное удельное сопротивление грунта равно:

$$\rho_{\rho} = 1,9 \cdot 100 = 190 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Сопротивление растекания тока в вертикальном заземлителе  $R_{\text{в}}$ , Ом, следует определять по формуле:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \left( \ln \left( \frac{2L}{d} \right) + 0,5 \ln \left( \frac{4T + L}{4T - L} \right) \right), \quad (74)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$L$  – длина стержня, м;  $d$  – диаметр стержня, м;

$T$  – расстояние от поверхности земли до середины стержня, м, а сопротивление грунта составляет 190 Ом·м, расстояние от поверхности грунта до середины стержня  $T = 3,2$  м.

Определим сопротивление растекания тока в стержне:

$$R_{\text{в}} = \frac{190}{2\pi \cdot 5} \left( \ln \left( \frac{10}{0,018} \right) + 0,5 \ln \left( \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) \right) = 40,71 \text{ Ом.}$$

Формула для определения числа вертикальных заземлителей имеет вид:

$$n_0 = \frac{R_{\text{в}} \cdot \Psi}{R_{\text{н}}}, \quad (75)$$

где  $R_{\text{н}}$  – нормативное сопротивление заземлителя, Ом;

$\Psi$  – коэффициент сезонности горизонтального заземлителя, равный 1,8.

Определим число вертикальных заземлителей:

$$N_B = \frac{40,71 \cdot 1,8}{4} = 19 \text{ шт.}$$

Сопротивление растекания тока в горизонтальном заземлителе, Ом, следует определять по формуле:

$$R_r = 0,366 \frac{\rho \cdot \Psi}{\eta_r \cdot L_r} \lg \left( \frac{2 \cdot L_r^2}{b \cdot t_r} \right), \quad (76)$$

где  $\eta_r$  – коэффициент использования горизонтального заземлителя;

$L_r$  – длина полосы горизонтального заземлителя с учетом заземляющих проводников;

$b_r = 0,04\text{м}$  – ширина полосы горизонтального заземлителя;

$t_r = 0,7\text{м}$  – глубина заложения горизонтального заземлителя.

Длину горизонтального заземлителя найдем по формуле:

$$L_r = a. \quad (77)$$

Значит, сопротивление горизонтального заземлителя будет равно:

$$R_r = 0,366 \frac{190 \cdot 1,8}{0,45 \cdot 5} \lg \left( \frac{50}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 135,6 \text{ Ом.}$$

где  $a$  – расстояние между заземляющими стержнями, м. Таким образом, длина горизонтального заземлителя  $L_r = 5$  м.

Определим сопротивление вертикального заземлителя с учетом сопротивления растеканию тока горизонтальных заземлителей:



$$R_{B(\text{ЭКВ})} = \frac{R_{\Gamma} \cdot R_{\text{H}}}{R_{\Gamma} - R_{\text{H}}}. \quad (78)$$

$$R_{B(\text{ЭКВ})} = \frac{135,6 \cdot 4}{135,6 - 4} = 4,12 \text{ Ом.}$$

Определяем сопротивление заземляющего устройства по формуле:

$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{R_{B(\text{ЭКВ})} \cdot R_{\Gamma}}{R_{B(\text{ЭКВ})} + R_{\Gamma}}, \quad (79)$$

$$R_{\text{ЗУ}} = \frac{4,12 \cdot 135,6}{4,12 + 135,6} = 3,9 \text{ Ом.}$$

Полное количество вертикальных заземлителей  $N$ , шт, следует определять по формуле:

$$N_{\Gamma} = \frac{R_{\text{B}}}{R \cdot \eta_{\text{B}}}, \quad (80)$$

где  $\eta_{\text{B}}$  – коэффициент спроса вертикальных заземлителей.

$$N_{\Gamma} = \frac{40,71}{4,12 \cdot 0,45} = 22 \text{ шт.}$$

Таким образом, полное число вертикальных и горизонтальных заземлителей контура составляет 19 и 22 стержня соответственно. [4]

Вывод по разделу:

Расчетное сопротивление защитного заземляющего устройства отвечает требованиям ПУЭ и ГОСТ 12.1.030-81 обеспечивает необходимые защитные свойства с учетом возможных изменений свойства грунта в зависимости от времени года.

### **10.3 Расчет молниезащиты торгового комплекса**

С целью обеспечения безопасности людей, здания и оборудования от взрывов и пожаров при возможном прямом и вторичном воздействии удара молнии, устанавливается молниезащита – молниеприемники.

Для начала необходимо определить категорию здания по устройству молниезащиты. Согласно РД 34.21.122-87 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений», торговые комплексы относятся к III категории по устройству молниезащиты [20]. Должна обеспечиваться необходимая надежность системы – 0.9.

Обращаясь к нормативному документу СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций», по таблице 3.8, следует отметить, что на поверхности кровли торгового комплекса будет устанавливаться сетка молниеприемника, с размером ячейки – 9600x9600 мм [12].

Материалом для прутьев сетки молниеприемника служит оцинкованная сталь диаметром 8 мм с установкой на кровле посредством универсальных держателей с бетоном DKC ND1000. Соединение прутьев выполняется соединителем DKC NG3103. С помощью фасадного держателя ND2302 осуществляется крепление молниеприемника к фасаду, каждые 25 метров выполняется соединение с контуром заземления.

При присоединении токоотвода к контуру заземления выводится стальная полоса размерами 5x40 мм. По всей площади здания создается горизонтальный контур молниезащиты, с помощью стержня диаметром 18 мм. Согласно ПУЭ п.1.7.82 молниезащитный контур должен быть объединен с ЗУ защитного заземления электроустановок здания [11].

Вывод по разделу:

Определена категория здания по устройству молниезащиты, выбран тип и размер молниеприемника, а также материал, из которого он будет изготовлен. Выбраны соединители, а также крепления для установки сетки молниеприемника.

## 11 Энергетическая эффективность

Возможность экономии электроэнергии в рамках внедрения мероприятий по повышению энергетической эффективностью должна закладываться ещё на этапе разработки системы электроснабжения объекта [19].

Ниже перечислены одни из таких мероприятий, внедренных при разработке проектного решения для торгового комплекса:

- все системы освещения (общее и аварийное, а также фасадное) построены с применением современных светильников на базе LED технологий;

- количество требуемых к установке светильников производилось с учетом требуемого уровня освещенности, подкрепленных санитарными нормами и правилами;

- применение ИБП для слаботочных систем, в том числе аварийного освещения в связке с ДГУ;

- с целью снижения потерь в линиях, по ходу распределения электроэнергии проложены кабельные линии и установлены распределительные щиты в узлах нагрузок;

- выбор мощности силовых трансформаторов производился с учетом их оптимальной загрузки в нормальном режиме работы, опираясь также на технико-экономические расчеты и расчеты потерь в трансформаторах;

- сечение проводов и кабелей распределительных сетей выбиралось с учетом максимальных коэффициентов использования;

- применение тепловых завес в тамбурах с водяным теплообменником типа RW в связке с системой отопления с целью сокращения расходов на эксплуатацию.

## Заключение

Итогом выполнения бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Разработка системы электроснабжения гипермаркета с установкой резервной ДГУ» является готовая электротехническая часть проекта торгового комплекса (гипермаркета) в г. Тольятти.

При разработке проекта внутреннего энергоэффективного электроснабжения торгового комплекса производились следующие расчеты:

- расчет электрических нагрузок электроприемников;
- расчет общего и аварийного освещения;
- расчет оптимально загруженных силовых трансформаторов для КТП торгового комплекса с учетом дополнительной нагрузки нового объекта;
- расчет параметров для дизель-генераторной установки (расчет токов КЗ, заземляющих устройств и обоснование отсутствия молниезащиты для оборудования);

Помимо расчетных параметров сети электроснабжения для проекта гипермаркета, также были произведены:

- выбор силовых трансформаторов марки ТСЗ-1600/10 для внутренней КТП гипермаркета;
- выбор и обоснование типа схемы внутреннего электроснабжения;
- выбор коммутационного и защитного оборудования, а также кабельного хозяйства;
- выбор типа молниезащиты.

Расчет и выбор силового трансформатора ТСЗ-1600/10 производился путем определения требуемой мощности с оптимальной загрузкой трансформатора, учитывая перспективную нагрузку.

Произведен выбор сечения и марки кабеля, используя справочные данные по допустимому току, а также учитывая условия прокладки и окружающей среды. В основном для прокладки кабельных линий внутри

торгового комплекса используется широко распространенный кабель марки ВВГнг-LS.

Для центрального поста противопожарной системы выбран кабель марки ВВГнг-FRLS 5x120 мм<sup>2</sup> с большим пределом огнестойкости, такой же тип кабеля используется для питания аварийного освещения с сечением 5x16 мм<sup>2</sup>.

Расчет для общего искусственного освещения и выбор светильников производился в программе DIALux с использованием каталога светильников от производителя «Световые технологии». Осветительное оборудование подбиралось так, что их световые кривые были распределены максимально равномерно и соответствовали нормам освещенности для каждого помещения.

Также проектом гипермаркета предусматривается установка энергокомплекса аварийного электроснабжения на базе дизель-генераторной установки (ДГУ). Данный способ резервирования необходим для питания электроприемников III секции ГРЩ (холодильное оборудование и слаботочные системы).

## Список используемых источников

1. Автоматические выключатели Legrand [Электронный ресурс]. URL: [https://legrand.ru/upload/iblock/8db/DC356\\_DMX3.pdf](https://legrand.ru/upload/iblock/8db/DC356_DMX3.pdf) (Дата обращения 24.05.2021).
2. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения: учебно-методическое пособие. Издательство ТГУ: Тольятти, 2016. 78 с.
3. Выбор автомата по мощности нагрузки и сечению провода [Электронный ресурс]. Дата обновления: 22.04.2019. URL: <https://volgaproekt.ru/stati/vybor-avtomata-po-moshchnosti-nagruzki.html> (дата обращения: 16.05.2021).
4. ГОСТ Р 50571.5.54-2013 Электроустановки низковольтные. Часть 5-54. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов [Электронный ресурс]: Национальный стандарт Российской Федерации 01.01.2015. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108284> (Дата обращения 22.05.2021).
5. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ [Электронный ресурс]: Межгосударственный стандарт от 01.01.1995. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004630> (Дата обращения 22.05.2021).
6. ГОСТ 53768-2010 Провода и кабели для электрических установок на номинальное напряжение до 450/750 В включительно. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2012. 22 с.
7. Группа компаний «Световые технологии». Каталог LED светильников [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/commercial-luminaires/office-luminaires/> (Дата обращения 12.05.21).
8. Дизель генераторная установка. Завод энергетического оборудования «Электроспецтехника» [Электронный ресурс]. URL:

[https://www.estech.ru/poleznaya\\_informatsiya/dizelnye-generatory-serii-ad/dizel-generatornaya-ustanovka-ad-200s-t400-ad-200-na-dvigatele-yamz/](https://www.estech.ru/poleznaya_informatsiya/dizelnye-generatory-serii-ad/dizel-generatornaya-ustanovka-ad-200s-t400-ad-200-na-dvigatele-yamz/) (Дата обращения 11.05.21).

9. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: справочные материалы по электрооборудованию [Электронный ресурс]. URL: [https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SEROB/ucheberab3/Tabstud3/M\\_Kabishev\\_Obuhov\\_Raschet.pdf](https://portal.tpu.ru/SHARED/s/SEROB/ucheberab3/Tabstud3/M_Kabishev_Obuhov_Raschet.pdf) (Дата обращения: 09.05.2021).

10. Конденсаторная установка УКМ-58 0.4-167-33.3. «Микрон» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mircond.com/kondensatornye-ustanovki/kondensatornaya-ustanovka-ukm-58-0-4-167-33-3-1900x450x440/> (Дата обращения 13.05.21).

11. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html> (Дата обращения 01.05.2021).

12. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. [Электронный ресурс]: URL: <https://ru-bezh.ru/uploads/instrukcii/rd/%D0%A0%D0%94%2034.21.122-87.pdf> (Дата обращения: 23.05.2021).

13. Силовой трансформатор ТСЗ-1600 [Электронный ресурс]. URL: [https://slavenergo.ru/transformator\\_tsz\\_1600](https://slavenergo.ru/transformator_tsz_1600) (дата обращения 24.05.2021).

14. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий [Электронный ресурс]: Свод правил по проектированию и строительству от 01.01.2004. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035252> (Дата обращения 24.05.2021).

15. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. [Электронный ресурс]: Свод правил от 05.08.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (Дата обращения 20.05.2021).

16. Calculation of short-circuit currents [Электронный ресурс]. URL: <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr.sti/files/ressources/techniques/3357/3357-ect158.pdf> (Дата обращения 08.05.21).

17. Daza S. A. Electric Power System Fundamentals: tutorial. London: Artech house, 2016. 405 p.

18. Panteleev V. Optimization model of power supply system of industrial enterprise. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. pp. 441 – 450.

19. Sanober Hassan Khattak, Michael Oates, Rick Greenough Towards improved energy and recourse management in manufacturing // Energies. 2018. № 11(4). С. 1-15

20. Ugrad H., Winker W. Protection Techniques in Electrical Energy System. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016. pp. 441 – 450.



## Приложение А

### Дополнительные сведения для расчета осветительной нагрузки

#### 1. Паспортные данные используемых светильников

Гипермаркет



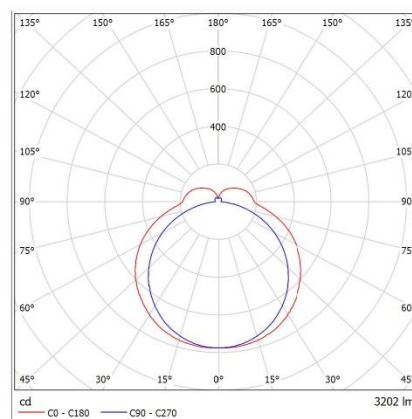
27.04.2021

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

LIGHTINGTECHNOLOGIES 1066000040 AOT.OPL UNI LED 1200x200 EM 4000K /  
Паспорт светильника



Место выхода света 1:



Классификация светильников по CIE: 84  
CIE Flux Code: 40 71 90 84 100

Светильник для освещения учебных заведений, офисных помещений, торговых залов, где установка светильников осуществляется непосредственно на поверхность потолка. Опаловый рассеиватель создаст равномерное свечение, исключая эффект.

Из-за отсутствия свойств симметрии для этому светильнику невозможно представление таблицы UGR.

Рисунок А.1 – Паспорт светильника №1

## Продолжение Приложения А

Гипермаркет



**DIALux**

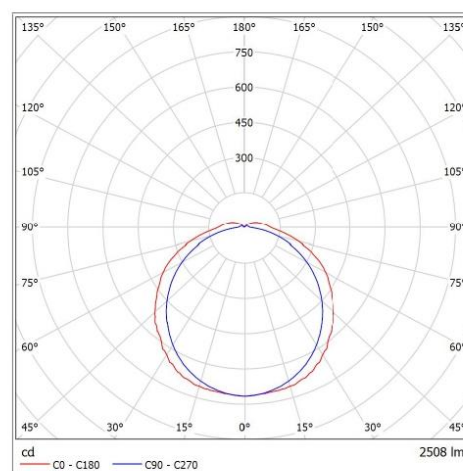
27.04.2021

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

### LIGHTINGTECHNOLOGIES 1074000500 LZ.OPL ECO LED 600 5000K / Паспорт светильника



Место выхода света 1:



Классификация светильников по CIE: 93  
CIE Flux Code: 42 73 91 93 100

Светильник промышленного освещения с высокой степенью IP, высокой светоотдачей и CRI. Предназначен для тяжелых условий эксплуатации, в том числе и для применения в помещениях с пониженной окружающей температурой (до -30°C). Возможно изготовление различных модификаций: со II классом защиты от поражения электрическим током, аварийным блоком и управлением освещением, вандалозащищенных. В роли источника света применяются LED-кластеры с длительным сроком службы.

Из-за отсутствия свойств симметрии для этого светильника невозможно представление таблицы UGR.

## Продолжение Приложения А

Гипермаркет



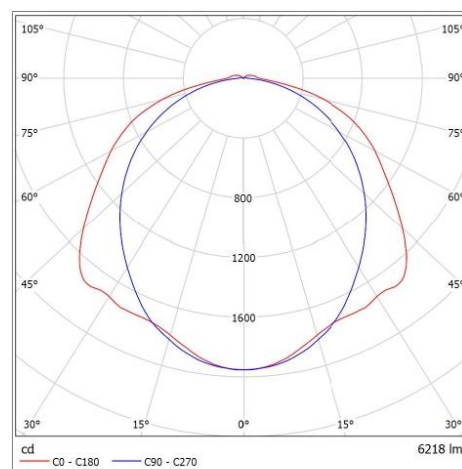
**DIALux**

21.05.2021

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

### LIGHTINGTECHNOLOGIES 1631000200 SLICK.PRS ECO LED 60 5000K / Паспорт светильника

Место выхода света 1:



Классификация светильников по CIE: 97  
CIE Flux Code: 43 75 93 97 100

Энергосберегающий светильник с высокой степенью IP, и высоким световым потоком для создания качественного освещения промышленных предприятий и хозяйственных помещений. Корпус изготовлен из литого под давлением алюминия. Рассеиватель опаловый микропризматический из поликарбоната. Установка на поверхность потолка, стен или на подвесах с помощью монтажных скоб (поставляются в комплекте со светильником)

Из-за отсутствия свойств симметрии для этому светильнику невозможно представление таблицы UGR.

## Продолжение Приложения А

Гипермаркет



**DIALux**

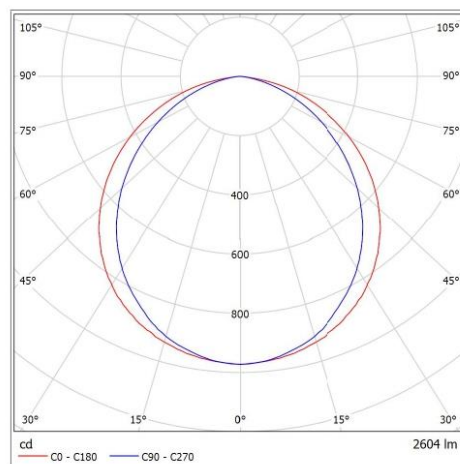
21.05.2021

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

### LIGHTINGTECHNOLOGIES 1079000190 INOX LED 30 Ex 5000K / Паспорт светильника



Место выхода света 1:



Классификация светильников по CIE: 100  
CIE Flux Code: 49 81 97 100 100

Светильник промышленного освещения с высокой степенью IP, высокой светоотдачей и CRI. Предназначен для тяжелых условий эксплуатации, в том числе для применения в помещениях с пониженной окружающей температурой (до -30°C). В роли источника света применяются LED-кластеры с длительным сроком службы.

Из-за отсутствия свойств симметрии для этого светильника невозможно представление таблицы UGR.

## Продолжение Приложения А

Гипермаркет

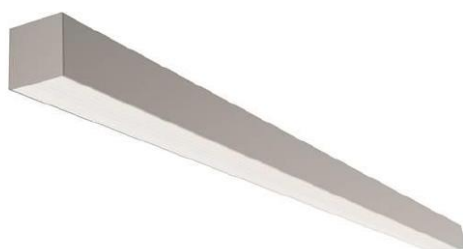


**DIALux**

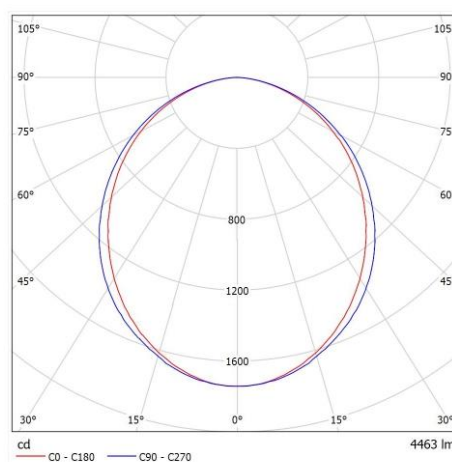
21.05.2021

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

### LIGHTINGTECHNOLOGIES 1398000120 PROFILE 60L 1250 2.5x17.0W 3000K / Паспорт светильника



Место выхода света 1:



Классификация светильников по CIE: 100  
CIE Flux Code: 49 80 96 100 100

Подвесная профильная система для создания, как декоративных световых эффектов, так и для основного освещения. Корпус изготовлен из экструдированного анодированного алюминиевого профиля, рассеиватель из экструдированного поликарбонатного профиля. Торцевые крышки, соединительные элементы и другие аксессуары поставляются отдельно. Конструкция PROFILE H предполагает установку питающего драйвера внутри профиля. Внутри корпуса устанавливается самоклеющаяся светодиодная лента

Из-за отсутствия свойств симметрии для этому светильнику невозможно представление таблицы UGR.

# Продолжение Приложения А

## 2. Резюме помещений

Гипермаркет

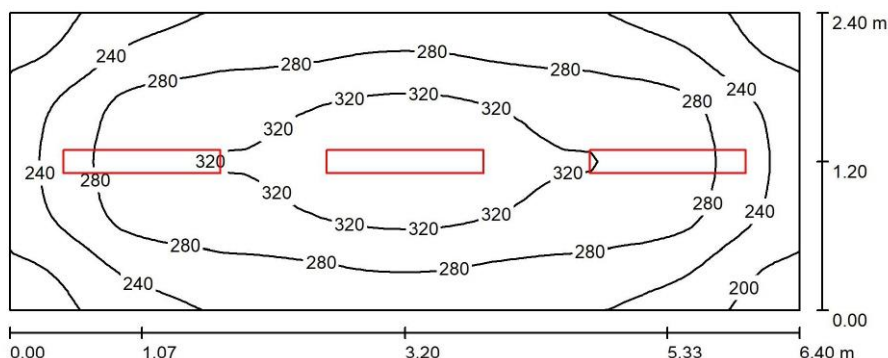


**DIALux**

27.04.2021

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

### Кабинет ГИ / Резюме



Высота помещения: 2.800 m, Монтажная высота: 2.800 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:46

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	275	178	342	0.645
Полы	20	205	146	242	0.712
Потолок	70	156	68	684	0.436
Стенки (4)	50	179	93	316	/

#### Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m  
Растр: 64 x 32 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

#### Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	3	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1066000040 AOT.OPL UNI LED 1200x200 EM 4000K (1.000)	3202	3202	31.0
Всего:			9606	9606	93.0

Удельная подсоединенная мощность:  $6.05 \text{ W/m}^2 = 2.20 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $15.36 \text{ m}^2$ )

Рисунок А.6 – Кабинет Главного инженера

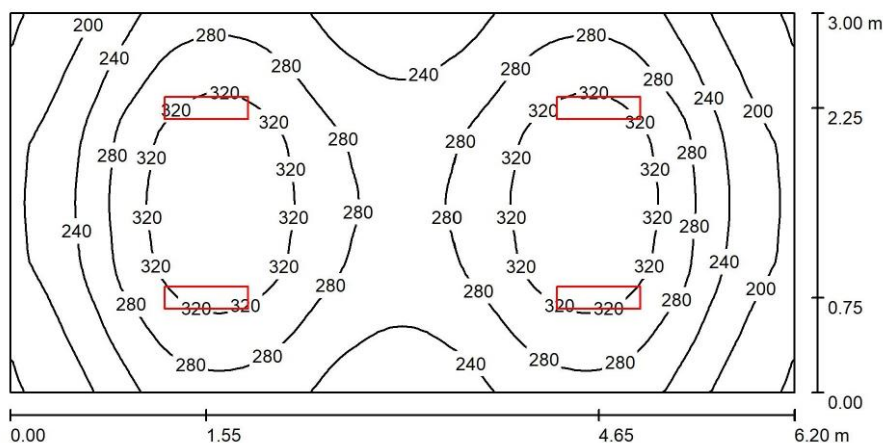
# Продолжение Приложения А

Гипермаркет

**DIALux**  
27.04.2021

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

## Кабинет НОКР и аналитика / Резюме



Высота помещения: 2.800 m, Монтажная высота: 2.800 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:45

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	269	156	355	0.580
Полы	20	208	142	247	0.680
Потолок	70	99	55	277	0.555
Стенки (4)	50	168	84	454	/

### Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m  
Растр: 64 x 32 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

### Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	4	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1074000500 LZ.OPL ECO LED 600 5000K (1.000)	2508	2508	26.0
			Всего: 10032	Всего: 10032	104.0

Удельная подсоединенная мощность:  $5.59 \text{ W/m}^2 = 2.08 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $18.60 \text{ m}^2$ )

Рисунок А.7 – Кабинет Аналитика

# Продолжение Приложения А

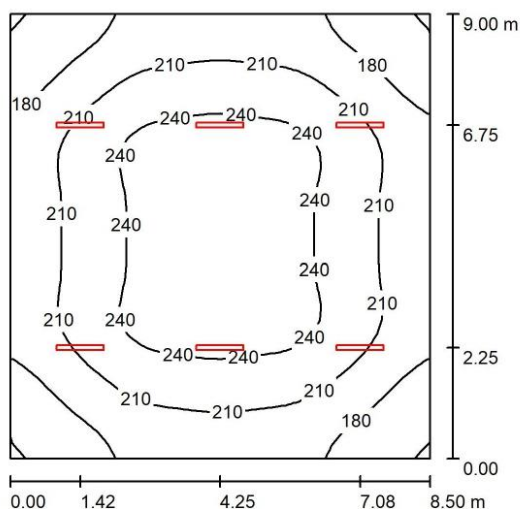
Гипермаркет



21.05.2021

Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

## Склад сухой продукции / Резюме



Высота помещения: 6.000 m, Монтажная высота: 6.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:116

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	213	149	256	0.699
Полы	20	190	140	224	0.736
Потолок	70	79	60	276	0.761
Стенки (4)	50	155	87	300	/

### Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m  
Растр: 32 x 32 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

### Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	6	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1631000200 SLICK.PRS ECO LED 60 5000K (1.000)	6218	6218	57.0
			Всего: 37308	Всего: 37308	342.0

Удельная подсоединенная мощность: 4.47 W/m<sup>2</sup> = 2.10 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Поверхность основания: 76.50 m<sup>2</sup>)

Рисунок А.8 – Склад сухой продукции



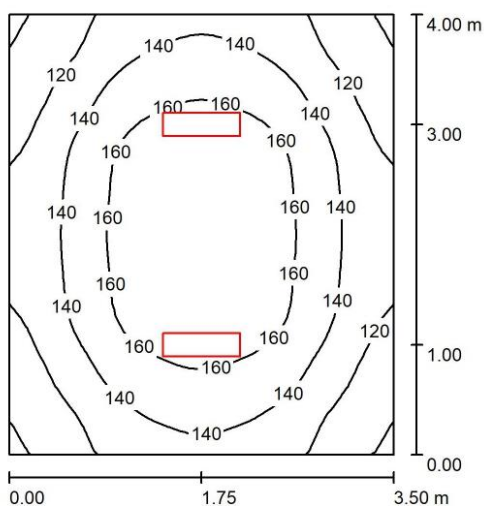
# Продолжение Приложения А

Гипермаркет



Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

## Электрощитовая / Резюме



Высота помещения: 4.000 m, Монтажная высота: 4.000 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:52

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	143	97	178	0.680
Полы	20	111	85	130	0.769
Потолок	70	42	30	50	0.709
Стенки (4)	50	91	31	267	/

### Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m  
Растр: 32 x 32 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 100.00%.

### Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	2	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1079000190 INOX LED 30 Ex 5000K (1.000)	2604	2604	26.0
			Всего: 5208	Всего: 5208	52.0

Удельная подсоединенная мощность: 3.71 W/m<sup>2</sup> = 2.61 W/m<sup>2</sup>/100 lx (Поверхность основания: 14.00 m<sup>2</sup>)

Рисунок А.9 – Электрощитовая

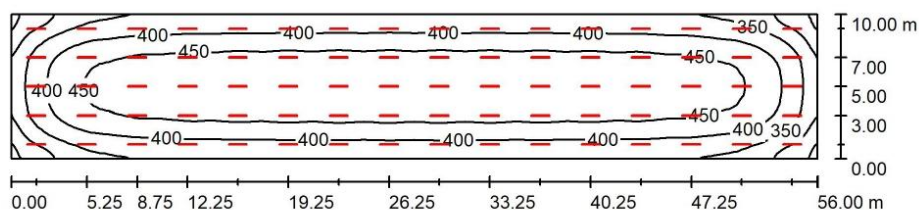
# Продолжение Приложения А

Гипермаркет



Оператор  
Телефон  
Факс  
Электронная почта

## Предкассовая зона / Резюме



Высота помещения: 6.000 m, Монтажная высота: 5.500 m,  
Коэффициент эксплуатации: 0.80

Значения в Lux, Масштаб 1:401

Поверхность	$\rho$ [%]	$E_{cp}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_{cp}$
Рабочая плоскость	/	418	238	484	0.570
Полы	20	395	227	458	0.575
Потолок	70	94	77	103	0.816
Стенки (4)	50	229	78	411	/

### Рабочая плоскость:

Высота: 0.850 m  
Растр: 128 x 32 Точки  
Краевая зона: 0.000 m

Число точек, имеющих менее 400 люкс (для IEQ-7): 35.74%.

### Ведомость светильников

№	Шт.	Обозначение (Поправочный коэффициент)	$\Phi$ (Светильник) [lm]	$\Phi$ (Лампы) [lm]	P [W]
1	80	LIGHTINGTECHNOLOGIES 1398000120 PROFILE 60L 1250 2.5x17.0W 3000K (Тип 1)* (1.000)	4463	4463	43.0

\*Измененные технические данные

Всего: 357040 Всего: 357040 3440.0

Удельная подсоединенная мощность:  $6.14 \text{ W/m}^2 = 1.47 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$  (Поверхность основания:  $560.00 \text{ m}^2$ )