

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Проектирование системы электроснабжения минипекарни

Обучающийся

И.З. Ахмадеев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор, П.А. Николаев

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

Консультант

к.ф.н., доцент, О.В. Мурдускина

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

Тольятти 2022

Аннотация

В бакалаврской работе рассматривается электроснабжение мини-пекарни полного цикла. Для обеспечения надежного и безопасного питания электроустановок спроектирована система электроснабжения с учетом специфики производства.

На начальном этапе дана характеристика проектируемого объекта с описанием производимой продукции, режимом работы предприятия, а также приведена классификация объекта по критериям электробезопасности и взрывопожароопасности помещений.

Выполнен расчет электрических нагрузок, в программе DIALux light проведено моделирование систем освещения в каждом отдельном помещении.

Определены типы исполнения внешнего и внутреннего электроснабжения и выбрано основное оборудование и проводники.

Проведен расчет токов коротких замыканий и выполнена проверка выбранного электрооборудования.

Выполнен расчет систем молниезащиты и заземления мини-пекарни.

Выпускная квалификационная работа оформлена на 59 страницах, включает 19 рисунков, 17 таблиц. Графическая часть ВКР выполнена на 6 листах формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is "Power supply of a mini bakery".

The graduation work consists of an explanatory note on 59 pages, includes 19 figures, 17 tables, the list of 22 references including 5 foreign sources, and the graphic part on 6 A1 sheets.

The aim of this work is creation of a safety and reliable system of power supply for a mini bakery.

The object of the graduation project is new projected mini bakery.

The subject of the work is a system of power supply (including power supply and lighting systems).

The graduation work includes a several logically connected parts which are calculating of expected electrical loads, calculation and selection of lighting systems, short circuit currents and selection of modern equipment, calculation of grounding systems efficiency and lighting protection.

The special part of the project gives details about the choice of the main equipment for the technological process of the mini-bakery. These are special baking ovens, equipment for a full cycle of work with dough, etc.

In conclusion we'd like to stress this work is relevant not only for solving the problem of power supply system for a mini bakery, also similar technological and constructive solutions can be used in all mini-bakeries of this type in the Russian Federation.

Содержание

Введение	5
1 Характеристика объекта	7
2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок	12
3 Компенсация реактивной мощности	17
4 Расчет освещения мини-пекарни.....	19
5 Выбор типа внешнего электроснабжения мини-пекарни	27
6 Выбор типа внутреннего электроснабжения мини-пекарни.....	29
7 Выбор оборудования и проводников	33
7.1 Выбор распределительного оборудования	33
7.2 Выбор аппаратов защиты.....	34
7.3 Выбор проводников.....	36
8 Расчет токов коротких замыканий	38
9 Проверка выбранного оборудования и проводников	48
10 Заземление и молниезащита мини-пекарни.....	49
Заключение	56
Список используемых источников.....	58

Введение

«Электроэнергетика – сложный комплекс условий, ведущее место в котором занимают всего несколько стран» [21].

Электрификация России началась в 1920 году с началом выполнения плана ГОЭЛРО (Государственный план электрификации России), а масштабные разработки и внедрение новых технологий начались с 1950-х годов 20-го века.

За более чем 100 лет электрификации нашей страны многое изменилось: на сегодняшний день по объемам производства «электроэнергетика России занимает четвертое место. Она впереди Японии, но уступает КНР, США и Индии» [21].

Сегодняшнюю жизнь трудно представить без электрической энергии – она плотно вошла во все ее сферы. С каждым днем появляется все больше потребителей электроэнергии, таких как крупные промышленные предприятия, социально-культурные объекты, жилые кварталы и тому подобное. Все это отражается на проектировании систем электроснабжения.

Современный ритм жизни диктует на новые правила, все чаще люди предпочитают пообедать в заведениях общепита или заказать еду. Некоторые перекусывают прямо по дороге куда-либо. Такие тенденции ведут к увеличению мест, где можно купить, например, свежую горячую выпечку. Сегодня все чаще на улицах мы видим мини-пекарни, удовлетворяющие вышеупомянутым требованиям.

Несмотря на то, что сейчас в каждом городе действуют пекарни, хлебному производству есть, куда расти. Избалованные потребители предъявляют к хлебобулочным изделиям высокие требования. Современному хлебу мало быть вкусным и свежим, он должен быть еще и полезным. На сегодняшний день производители хлебобулочных изделий подстраиваются под тенденцию потребления и увеличивают производство хлеба, который

позиционируется как полезный для здоровья продукт – в его изготовлении применяют функциональные добавки, злаки и витамины.

В связи с этим растет число открытых мини-пекарен. «В большинстве европейских стран такой формат хлебопечения обеспечивает более 70% населения своей продукцией» [22]. В нашей стране эта доля составляет 10-15%. Основным преимуществом мини-пекарни является то, что вся работа и организация рассчитана на малое количество производимых изделий, но по необычным рецептам – например, диетическая выпечка, выпечка по семейным домашним рецептам, по старинным бабушкиным рецептам и тому подобное.

В работе рассматривается пекарня полного цикла. В этом случае технологический процесс начинается с покупки муки и заканчивается реализацией готовых изделий конечным потребителям.

Целью выпускной квалификационной работы является создание безопасной и надежной системы электроснабжения мини-пекарни.

Для достижения поставленной цели выдвигаются следующие задачи:

- провести первичный анализ объекта;
- выполнить расчет ожидаемых электрических нагрузок;
- произвести светотехнический расчет помещения;
- рассчитать токи коротких замыканий;
- выбрать основное электрооборудование мини-пекарни.

1 Характеристика объекта

Мини-пекарня – это предприятие, изготавливающее хлебобулочные изделия и осуществляющее розничные продажи.

Концепция мини-пекарни – это выпечка свежего хлеба по уникальным рецептурам. Основной упор в производстве выпечки – качество используемых продуктов и сохранении уникальной рецептуры каждого изделия.

Рассматриваемый в работе объект – мини-пекарня полного цикла. В этом случае технологический процесс начинается с покупки муки и заканчивается реализацией готовых изделий конечным потребителем. Мощность рассматриваемой мини-пекарни – до 500 кг хлебобулочных изделий в смену.

Пример ассортимента пекарни:

- фирменный хлеб со злаками и семечками, рассчитанный на потребителей, придерживающихся здорового питания;
- традиционный пшеничный и ржаной хлеб;
- итальянский хлеб чиабатта;
- французские сдобные булочки и круассаны.

Режим работы предприятия:

- две смены продолжительностью 8 ч;
- потери рабочего времени составляют 20 мин, которые затрачиваются на уборку рабочего места и передачу смены;
- начало линии – подготовка сырья;
- завершение линии – укладка упакованной продукции в лотки.

Мини-пекарня запитана от ближайшей трансформаторной подстанции (ТП) кабельной линией в земле. Категория надежности электроснабжения согласно ПУЭ – третья.

Электрощитовая как отдельное помещение отсутствует. В помещении КПП выделено место под панель вводно-распределительного устройства

(ВРУ). От ВРУ питание идет на силовые шкафы и распределительные пункты и далее к конечным потребителям.

Для дальнейшего правильного выбора оборудования и верной степени его защиты, определим категории электробезопасности, взрывопожароопасности помещений.

С точки зрения электробезопасности, мини-пекарня «в отношении опасности поражения людей электрическим током – помещение с особой опасностью, характеризующиеся наличием двух или более из следующих условий, создающих повышенную опасность:

- сырость или токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.);
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к металлоконструкциям зданий, имеющим соединение с землей, технологическим аппаратам, механизмам и т.п., с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям), с другой» [9].

В вышеуказанном списке можно выделить токопроводящую пыль (мука и другие мелкодисперсные продукты) и высокие температуры.

Что касается категории взрывопожарной опасности, согласно СП 12.13130.2009 мини-пекарня относится к группе Б «взрывопожароопасность: Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа» [15].

К основным потребителям электроэнергии мини-пекарни можно отнести оборудование, приведенное в таблице 1.

Для рассматриваемого объекта применен максимальный вариант комплектации, позволяет получить от предприятия наибольший эффект. «Основа такого подхода – автоматизация производственного процесса. В результате уменьшается влияние человеческого фактора и растет производительность» [8].

Таблица 1 – Основные потребители электроэнергии мини-пекарни

Тип и марка оборудования	Назначение
Шкаф холодильный R1520MC	Предназначен для демонстрации, продажи и временного хранения предварительно охлажденных пищевых продуктов и полуфабрикатов.
Мукопросеиватель Danler XL-2000	Используется для просеивания, удаления посторонних механических примесей и насыщения кислородом муки.
Тестомесильная машина BakeBerry PM-200	Используется для создания однородной структуры замешиваемой массы. Это повышает качество готового продукта
Настольные весы CAS PW-3	Предназначены для использования на предприятиях торговли и питания, а также для ручной фасовки продуктов.
Округлитель теста Danler RS-2000	Округлители используются для придания заготовкам округлой формы после выхода из делителя.
Тестоделитель Danler DV-2000	Предназначается для разделки тестовых заготовок. При помощи нескольких вращений платформы машина позволяет получить ровно разделенные тестозаготовки.
Расстоечный шкаф -Предварительная расстойка: Danler LP-154 - Окончательная расстойка: Miratek LVP-64	Предназначается для предварительной расстойки тестовых заготовок разнообразных хлебобулочных изделий. Предназначен для окончательной расстойки тестовых заготовок.
Тестозакаточная машина Danler WML-400	Тестозакаточные машины применяют для механизации процессов формования хлебобулочных изделий.
Хлебопекарная печь Ramalhos Rotoram S-Maxi	Используется для выпечки кондитерских и хлебобулочных изделий, формового, подового пшеничного и ржаного хлеба. Также в шкафу можно жарить, запекать, разогревать блюда из овощей, мяса, рыбы и других продуктов.
Хлеборезательная машина Danler FZ-480	Предназначена для нарезки хлебобулочных изделий на кусочки одинаковой толщины.
Электроводонагреватель ЭВПЗ-15	Предназначен для нагрева воды на предприятиях общественного питания, сельского хозяйства, в промышленности, в быту и т.д.

Приведенное в таблице оборудование для мини-пекарни отвечает всем современным требованиям безопасности. Также, данное оборудование отличается экономичным энергопотреблением, в отличие от многих аналогов, а значит, его применение позволяет повысить общую энергоэффективность объекта.

План мини-пекарни с расставленным технологическим оборудованием приведен на рисунке 1, экспликация помещений дана в таблице 2, а перечень оборудования – в таблице 3.

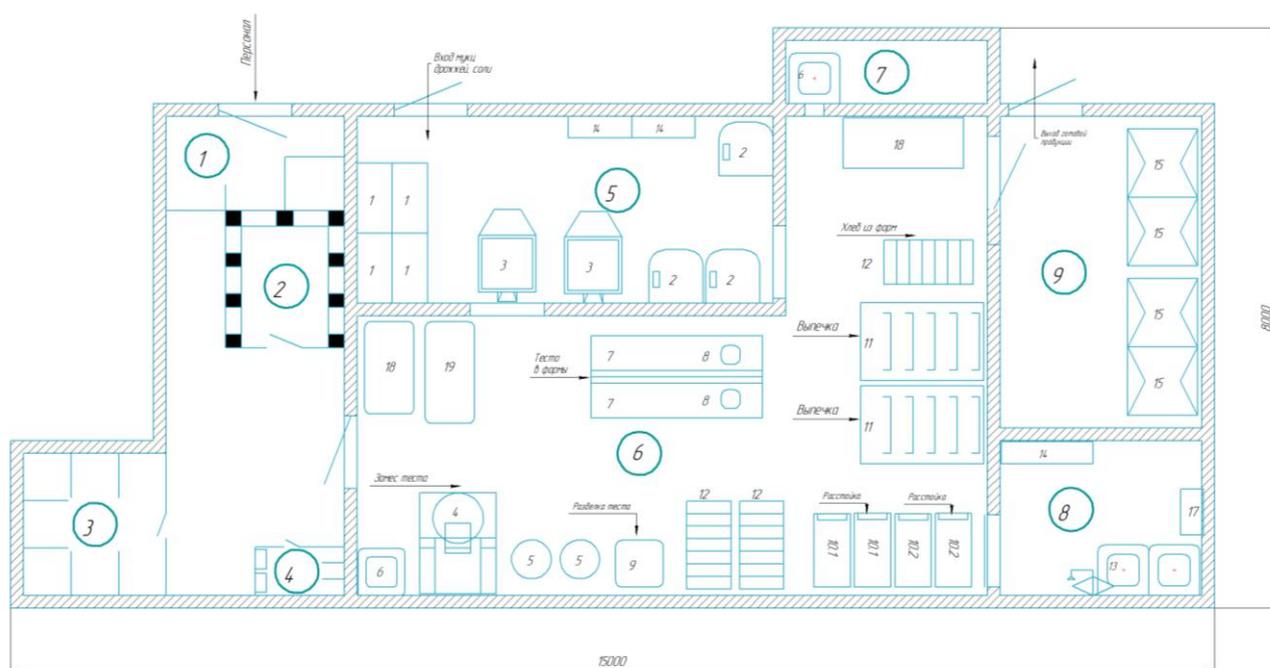


Рисунок 1 – План мини-пекарни

Таблица 2 – Экспликация помещений мини-пекарни

Номер на плане	Наименование
1	2
1	КПП
2	Гардероб
3	Душевая
4	Санузел
5	Приемка сырья

Продолжение таблицы 2

1	2
6	Производственный процесс
7	Мойка оборотной тары

Таблица 3 – Перечень оборудования мини-пекарни

Номер на плане	Наименование
1	Пластиковый паллет
2	Шкаф холодильный R1520MC
3	Мукопросеиватель Danler XL-2000
4	Тестомесильная машина BakeBerry PM-200
5	Округлитель теста Danler RS-2000
6	Ванна моечная
7	Стол технологический
8	Настольные весы CAS PW-3
9	Тестоделитель Danler DV-2000
10.1	Расстоечный шкаф Danler LP-154
10.2	Расстоечный шкаф Miratek LVP-64
11	Хлебопекарная печь Ramalhos Rotoram S-Maxi
12	Тележка стеллажная (7 направлений)
13	Мойка двухсекционная BM-21/330
14	Стеллаж Molinari B010
15	Вагонетка лотковая
16	Электроводонагреватель ЭВПЗ-15
17	Стол технологический
18	Тестоукаточная машина Danler WML-400
19	Хлеборезательная машина Danler FZ-480

При расчете ожидаемых электрических нагрузок необходимо предусмотреть запас мощности на освещение производственных помещений, наружное освещение, общеобменную вентиляцию, бытовую розеточную сеть и тому подобное.

Для корректного выбора электрооборудования, необходимо провести расчет ожидаемых электрических нагрузок.

Вывод: в разделе дана краткая характеристика объекта, способ внешнего электроснабжения, категории электробезопасности и взрывопожароопасности помещений, а также составлен перечень основных потребителей электроэнергии мини-пекарни.

2 Расчет ожидаемых электрических нагрузок

Первым этапом проектирования системы электроснабжения мини-пекарни является расчет ожидаемых электрических нагрузок. Знание электрических нагрузок необходимо для выбора и проверки проводников, распределительных пунктов, аппаратов защиты, обоснования необходимости или необязательности применения устройств компенсации реактивной мощности и тому подобное.

В практике проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий, жилых и общественных зданий применяют различные методы определения электрических нагрузок. В нашем случае можно рассмотреть два из них:

1. Метод коэффициента максимума (упорядоченных диаграмм).
2. Метод коэффициента спроса.

Для определения расчетных нагрузок по отдельным группам электроприемников и узлам с напряжением до 1 кВ в цеховых сетях следует использовать метод упорядоченных диаграмм, а в высших ступенях системы электроснабжения предпочтительней метод коэффициента спроса.

Для определения расчетных нагрузок составим сводную ведомость нагрузок, представленную в таблице 4. Сводная ведомость отражает основные электроприемники, их номинальную мощность и количество. Расчеты, проведенные для заполнения сводной ведомости, позволят определить общую нагрузку на шинах питающей подстанции и шинах вводного распределительного устройства мини-пекарни.

Опишем заполнение сводной ведомости

Колонки №№1–7 заполняются в соответствии с выбранным оборудованием, указанным в таблице 1. Где колонка №4 – групповая активная нагрузка, определяется по формуле 1:

$$P_{н\Sigma} = P_n \cdot n. \quad (1)$$

Колонка № 5 – коэффициент использования – отношение фактически потребляемой мощности к установленной мощности за определенный период времени. Определяется по справочным таблицам.

Колонка № 6 – коэффициент мощности – это отношение активной мощности, потребляемой нагрузкой к ее полной мощности. Определяется по справочным таблицам.

Колонка №7 – коэффициент реактивной мощности.

Колонка №8 – показатель силовой нагрузки, определяется по формуле 2:

$$m = \frac{P_{\text{H}\Sigma\text{нб.}}}{P_{\text{H}\Sigma\text{нм.}}} \quad (2)$$

Колонки №9–11 – среднесменные значения активной, реактивной и полной мощностей, определяются по формулам 3-5 соответственно.

$$P_{\text{СМ}} = K_{\text{И}} \cdot P_{\text{H}\Sigma} \quad (3)$$

$$Q_{\text{СМ}} = P_{\text{СМ}} \cdot \text{tg}\phi \quad (4)$$

$$S_{\text{СМ}} = \sqrt{P_{\text{СМ}}^2 + Q_{\text{СМ}}^2} \quad (5)$$

Колонка №12 – эффективное число электроприемников, определяется по формуле 6:

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot P_{\text{H}\Sigma}}{P_{\text{H нб.}}} \quad (6)$$

Колонки №13–14 коэффициенты максимумов активной и реактивной мощностей, определяются по справочным таблицам в зависимости от значений $K_{\text{И}}$ и $n_{\text{Э}}$.

Колонки №15–17 – расчетные значения активной, реактивной и полной мощностей, определяются по формулам 7-9 соответственно.

$$P_p = P_{CM} \cdot K_M. \quad (7)$$

$$Q_p = Q_{CM} \cdot K_M'. \quad (8)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (9)$$

Колонка №18 – расчетное значение тока на шинах низкого напряжения, определяется по формуле 10.

$$I_M = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,4}. \quad (10)$$

Первично, осветительную нагрузку рассчитаем методом удельной мощности:

$$P_{Oy} = P_{уд} \cdot S = 9 \cdot 70,6 \cdot 10^{-3} = 0,64 \text{ кВт.}$$

Метод базируется на средних значениях мощности, необходимой для создания требуемой освещенности при средних значениях коэффициента использования осветительной установки.

Далее, фактическая мощность осветительных установок будет определена с помощью компьютерного моделирования в среде DIALux.

Вывод: в разделе определены ожидаемые электрические нагрузки мини-пекарни для дальнейшего выбора и проверки электрооборудования объекта.

Таблица 4 – Сводная ведомость нагрузок

Наименование электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка за смену						Нагрузка максимальная			
	P_n , кВт	n	$P_{n\Sigma}$, кВт	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВт	$S_{см}$, кВ·А	$n_{\text{э}}$	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , кВт	S_M , кВ·А	I_M , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Шкаф холодильный R1520MC 1-фазный	0,7 (2,1)	3	6,3	0,75	0,84	0,65	–	4,73	3,05	5,63	–	–	–	–	–	–	–
Мукопросеиватель Danler XL-2000	1,1	2	2,2	0,85	0,74	0,91	–	1,87	1,7	2,53	–	–	–	–	–	–	–
Тестомесильная машина BakeBerry PM-200	8	1	8	0,5	0,8	0,75	–	4	3	5	–	–	–	–	–	–	–
Округлитель теста Danler RS-2000	1,1	2	2,2	0,6	0,7	1,02	–	1,32	1,35	1,89	–	–	–	–	–	–	–
Тестоделитель Danler DV-2000	1,5	1	1,5	0,6	0,8	0,75	–	0,9	0,68	1,13	–	–	–	–	–	–	–
Расстоечный шкаф Danler LP-154 1-фазный	0,37 (1,11)	2	2,2	0,65	0,85	0,62	–	1,43	0,89	1,68	–	–	–	–	–	–	–
Расстоечный шкаф Miratek LVP-64 1-фазный	4 (12)	2	24	0,65	0,85	0,62	–	15,6	9,67	18,35	–	–	–	–	–	–	–
Тестоукаточная машина Danler WML-400 1-фазный	1,3 (3,9)	1	3,9	0,6	0,75	0,88	–	2,34	2,06	3,12	–	–	–	–	–	–	–
Хлебопекарная печь Ramalhos Rotoram S-Maxi	4	2	8	0,65	0,8	0,75	–	5,2	3,9	6,5	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Хлеборезательная машина Danler FZ-480 1-фазный	0,55 (1,65)	1	1,65	0,4	0,8	0,75	–	0,66	0,5	0,83	–	–	–	–	–	–	–
Электроводонагреватель ЭВПЗ-15	15	1	15	0,8	0,8	0,75	–	12	9	15	–	–	–	–	–	–	–
Вентиляция приточная	–	–	4	0,75	0,8	0,75	–	3	2,25	3,75	–	–	–	–	–	–	–
Вентиляция вытяжная	–	–	4	0,75	0,8	0,75	–	3	2,25	3,75	–	–	–	–	–	–	–
Розеточная группа	–	–	10	0,3	0,8	0,75	–	3	2,25	3,75	–	–	–	–	–	–	–
Освещение*	–	–	0,64	0,85	0,97	0,25	–	0,544	0,14	0,56	–	–	–	–	–	–	–
Всего на вводе пекарни	–	18	93,59	0,64	0,81	0,72	>3	59,59	42,67	73,29	13	1,01	1	60,18	42,67	73,78	106,62

* – величина нагрузок для сетей освещения корректируется в следующих разделах и заносится в обновленную ведомость нагрузок.

3 Компенсация реактивной мощности

Для улучшения качества электроэнергии, а также для снижения расхода электроэнергии, на вводных шинах мини-пекарни выполним установку устройств компенсации реактивной мощности.

Необходимость установки таких устройств объясняется тем, что согласно Приказу Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. N 380 «О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии» [10] «Максимальное значение коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети для сетей 0,4 кВ – $\text{tg}\varphi = 0,35$ » [10].

Расчетную реактивную мощность определим по формуле 11.

$$Q_{\text{КРМ}} = \alpha \cdot P_p (\text{tg}\varphi - \text{tg}\varphi_k), \quad (11)$$

где α – коэффициент, учитывающий повышение $\cos\varphi$, $\alpha=0,9$;

P_p – расчетная мощность из таблицы 2;

$\text{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности до компенсации из таблицы 2;

$\text{tg}\varphi_k$ – требуемый коэффициент реактивной мощности после компенсации.

Таким образом

$$Q_{\text{КРМ}} = 0,95 \cdot 60,18(0,72 - 0,35) = 21,15 \text{ квар.}$$

К установке примем конденсаторную установку УКРМ 0,4 на 25 квар с пошаговым (ступенчатым) регулированием реактивной мощности.

Определим фактические значения для коэффициентов активной и реактивной мощностей.

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - \frac{Q_{УКРМ}}{\alpha \cdot P_p} = 0,72 - \frac{25}{0,95 \cdot 60,18} = 0,28.$$

$$\cos\varphi_{\phi} = \cos(\arctg(0,28)) = 0,96.$$

Внесем изменения в «Сводную ведомость нагрузок» и отобразим их в таблице 5.

Таблица 5 – Сводная ведомость нагрузок с учетом компенсации реактивной мощности

Наименование Электроприемни- ков	Нагрузка установленная							Нагрузка за смену						Нагрузка максимальная			
	P_n , кВт	n	$P_{n\Sigma}$, кВт	K_u	cos	tgφ	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВт	$S_{см}$, кВ·А	$n_э$	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , кВт	S_M , кВ·А	I_M , А
Всего на вводе пекарни	–	18	93,5 9	0,64	0,96	0,28	>3	59,59	16,7	61,88	13	1,01	1	60,18	16,7	62,45	90,24

Вывод: в разделе проведен расчет компенсации реактивной мощности и ее влияние на общие показатели объекта. Выбраны устройства компенсации реактивной мощности и определены фактические значения коэффициентов активной и реактивной мощностей после компенсации.

4 Расчет освещения мини-пекарни

Для выбора числа и типа светильников воспользуемся средой для моделирования DIALux и модулем DIALux Light. По ВНТП 02-92 «Нормы технологического проектирования предприятий хлебопекарной промышленности» [1] определим требуемые значения освещенности для каждого вида помещений мини-пекарни. Результат сведем в таблицу 6.

Таблица 6 – Экспликация помещений мини-пекарни

Помещение	Площадь	Норма освещенности
КПП	2,64	100
Гардероб	1,54	75
Душевая	3,06	50
Санузел	0,66	50
Приемка сырья	12,48	150
Производственный процесс-А	6,25	150
Производственный процесс-Б	27,48	200
Мойка оборотной тары	2,00	150
Мойка внутрицеховой тары	4,75	150
Остывание, хранение, отгрузка	9,75	100
Σ	70,61	–

Для КПП, гардероба, душевой, санузла, мойки оборотной и внутрицеховой тары применяются «светодиодные энергосберегающие пылевлагозащищенные светильники Navigator 71 920 NBL-P-18-4K-WH-LED v2 со степенью защиты IP65» [7].

Кривая силы света светильника Navigator 71 920 NBL-P-18-4K-WH-LED v2 показана на рисунке 2.

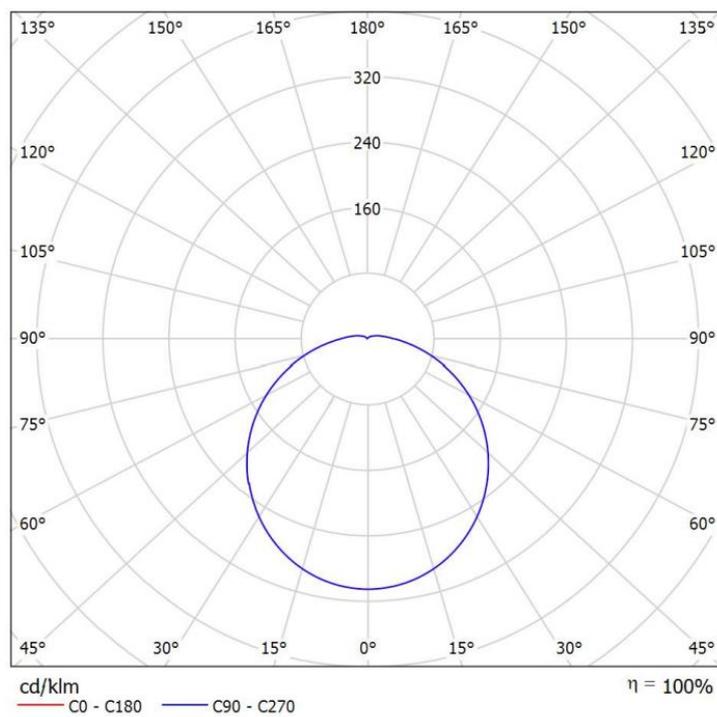


Рисунок 2 – Кривая силы света светильника Navigator 71 920 NBL-P-18-4K-WH-LED v2

Для остальных помещений применяются «светодиодные пылевлагозащищенные светильники Navigator 14 654 DSP-02-18-4K-IP65-LED со степенью защиты IP65» [11]. Одно из основных преимуществ данных светильников – «разработаны по технологии LCT, которая повышает эффективность и срок службы светодиодов, а также позволяет минимизировать падение светового потока в течение срока службы» [11].

Кривая силы света светильника Navigator 14 654 DSP-02-18-4K-IP65-LED показана на рисунке 3.

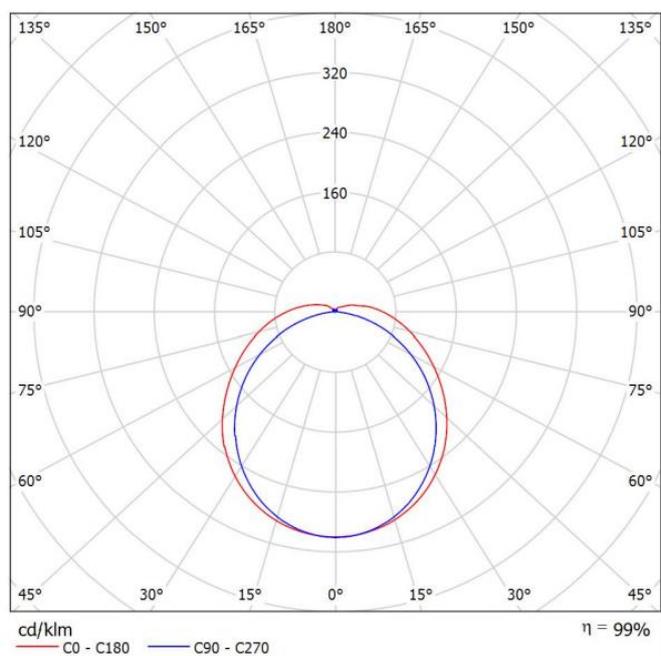


Рисунок 3 – Кривая силы света светильника Navigator 14 654 DSP-02-18-4К-IP65-LED

Диаграммы освещенности каждого из помещений приведем на рисунках 4–12.

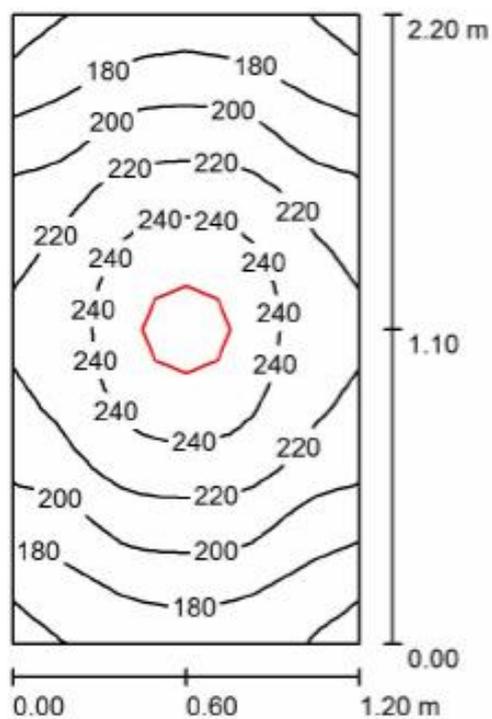


Рисунок 4 – Диаграмма освещенности КПП

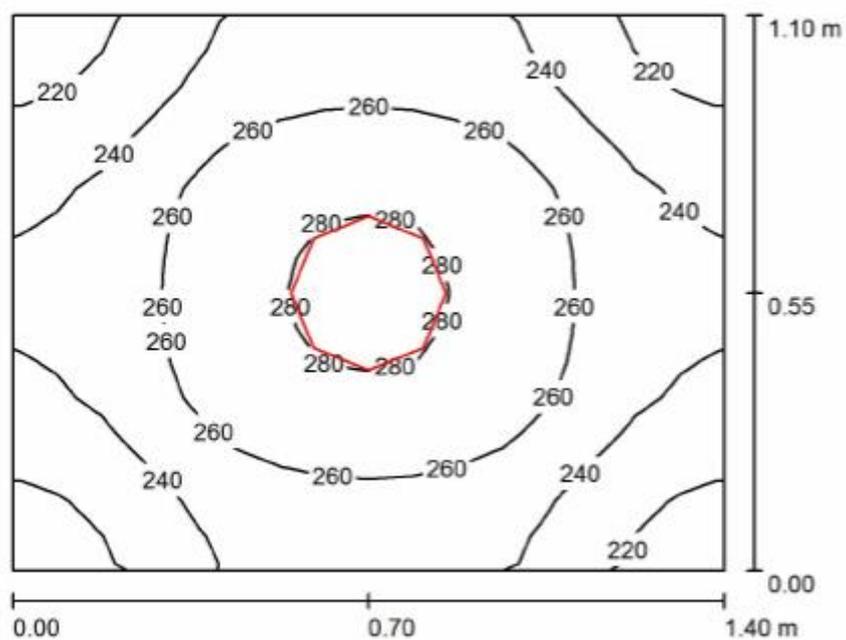


Рисунок 5 – Диаграмма освещенности гардероба

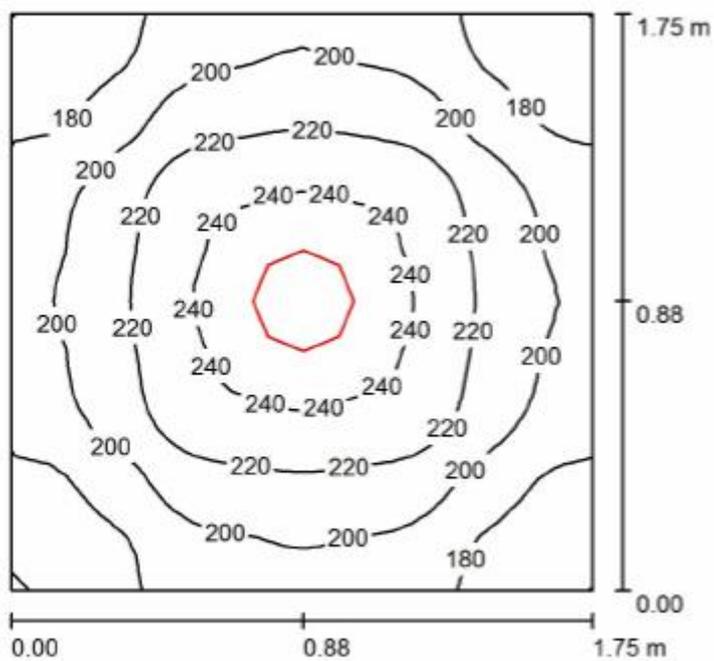


Рисунок 6 – Диаграмма освещенности душевых

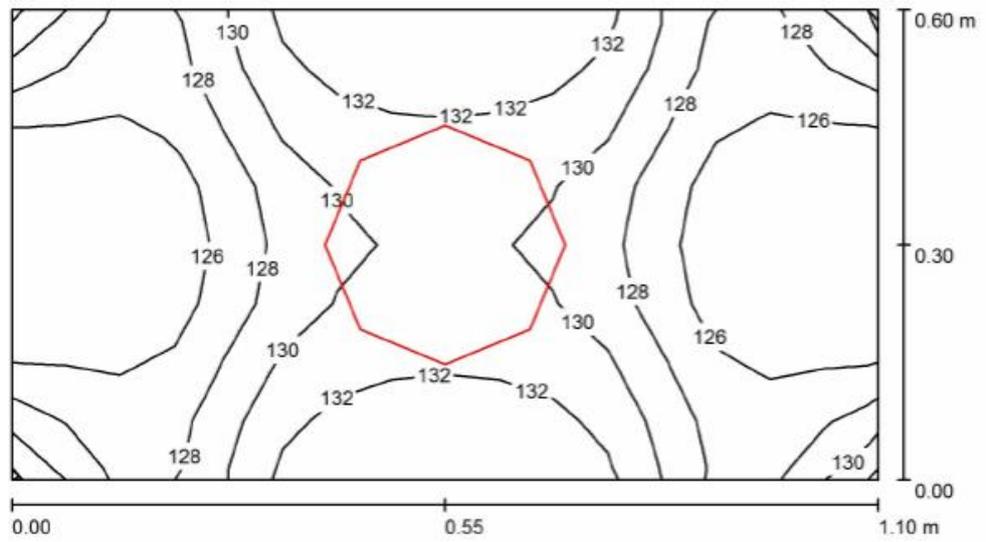


Рисунок 7 – Диаграмма освещенности санузла

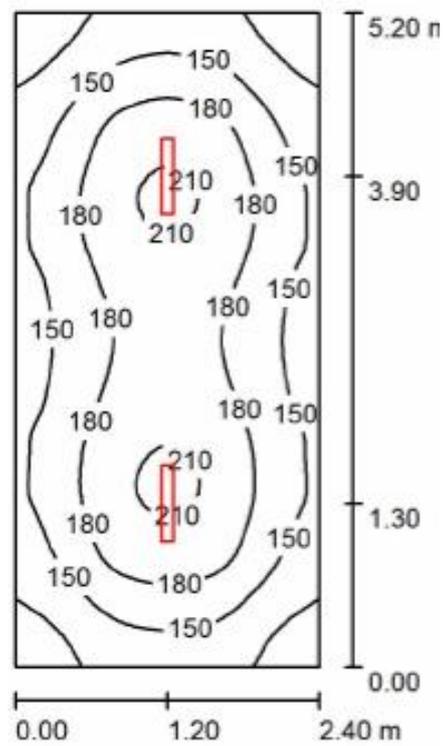


Рисунок 8 – Диаграмма освещенности помещения приемки сырья

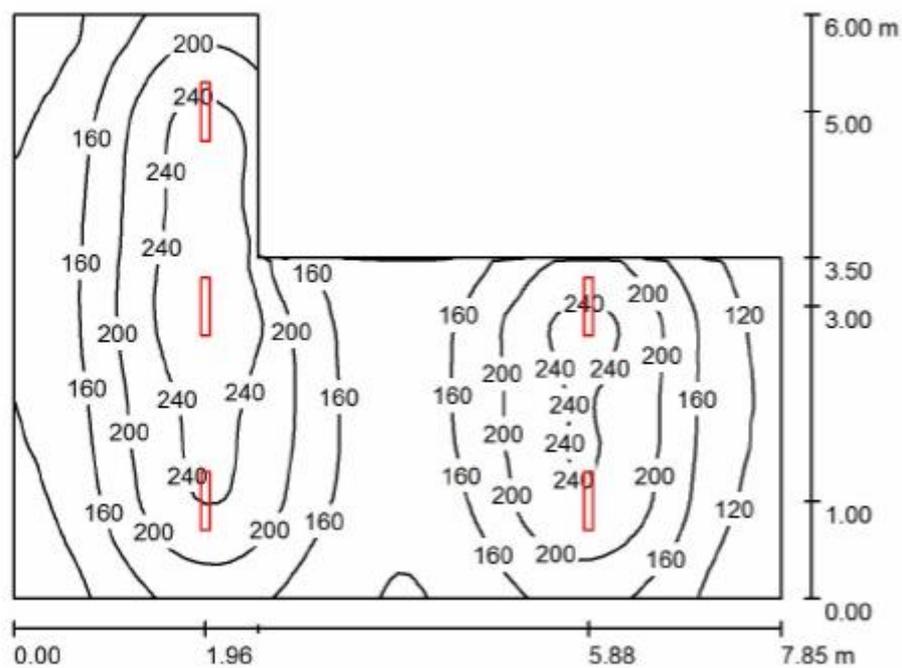


Рисунок 9 – Диаграмма освещенности помещения производственного процесса

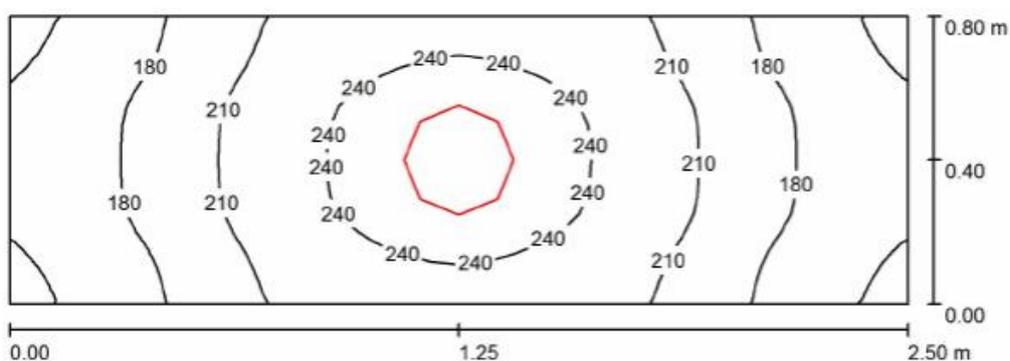


Рисунок 10 – Диаграмма освещенности помещения мойки обратной тары

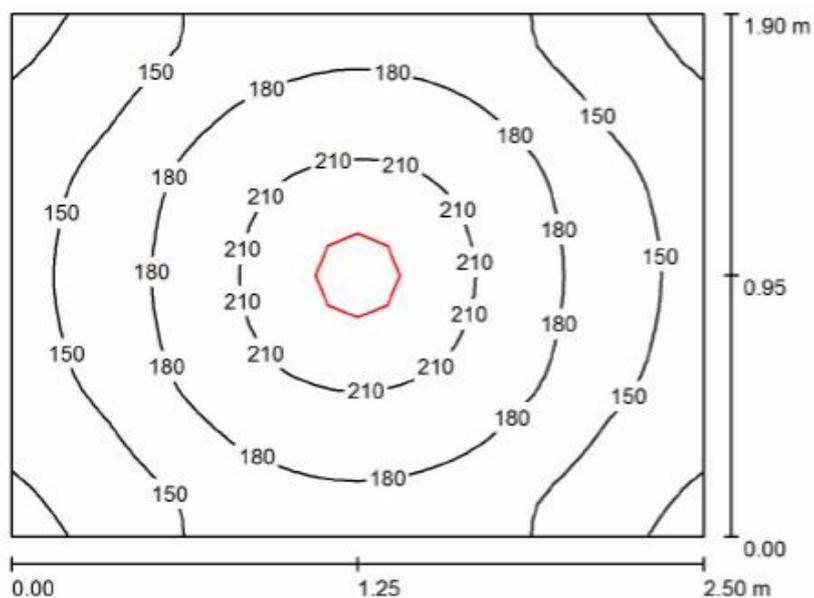


Рисунок 11 – Диаграмма освещенности помещения мойки
внутрицеховой тары

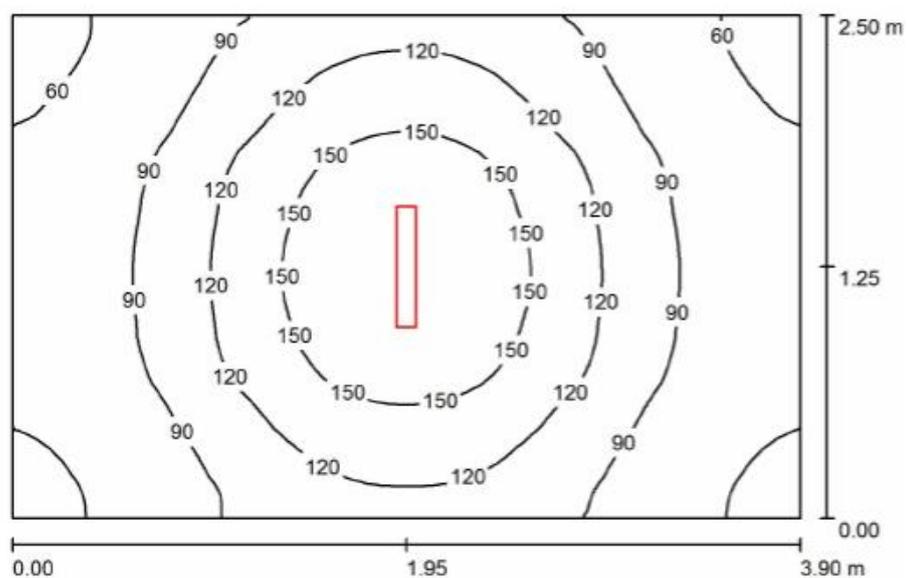


Рисунок 12 – Диаграмма освещенности помещения остывания,
хранения, отгрузки готовых изделий

Управление освещением мини-пекарни осуществляется с помощью щита осветительного (ЩО).

Расчет ожидаемых нагрузок для ЩО покажем в таблице 7.

Таблица 7 – Расчет ожидаемых нагрузок для ЩО

Наименование электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка за смену		
	P_n , кВт	n	$P_{n\Sigma}$, кВт	K_u	cos φ	tgφ	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВт	$S_{см}$, кВ·А
Navigator 71 920 NBL-P-18-4K-WH-LED v2	0,018	6	0,108	0,85	0,97	0,25		0,0918	0,02	0,09
Navigator 14 654 DSP-02-18-4K-IP65-LED	0,018	8	0,144	0,85	0,97	0,25		0,544	0,14	0,56
Всего на ЩО	0,036	14	0,252	0,85	0,97	0,25	>3	0,21	0,05	0,22

Вывод: в разделе определено число и тип применяемых светильников. Смоделированы помещения мини-пекарни и построены диаграммы освещенности для каждого помещения.

5 Выбор типа внешнего электроснабжения мини-пекарни

Внешнее электроснабжение мини-пекарни осуществляется от существующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ. Подключение происходит от шин РУ-0,4 кВ кабельной линией, проложенной в земле. Согласно ПУЭ, «кабели прокладываются на глубине не менее 0,7 м от планировочной отметки земли» [9] в траншее на песчаную подушку. Сверху кабель должен иметь засыпку слоем мелкопросеянной земли или песка и защищен от механических повреждений красным кирпичом по всей длине.

Кроме того, «кабели необходимо укладывать с запасом по длине, достаточным для компенсации температурных деформаций кабеля и конструкций» [9], а также возможных смещений слоев грунта.

Для подключения мини-пекарни принимается кабель марки АВБбШв – силовой бронированный лентами кабель, с алюминиевой жилой, изоляцией и защитным шлангом из ПВХ. Определим его сечение по величине рабочего тока из предыдущих расчетов, $I_p=106,62$ А. Ближайший подходящий по сечению кабель – это АВБбШв 4×50. «Длительно-допустимые токовые нагрузки в нормальном режиме работы при 100% коэффициенте нагрузки в воздухе – 117 А, на земле – 132 А» [5].

Количество кабелей – 1, обусловлено категорией электроснабжения потребителей.

При ориентировочном расстоянии до ТП-6/0,4 кВ в 200 м, расход силового кабеля АВБбШв 4×50 с 10% запасом на свободное пролегание и просадку грунта, а так же с учетом заводки в ТП и ВРУ мини-пекарни составляет:

$$L = 200 \cdot 1,1 + 10 \text{ (в ТП)} + 10 \text{ (в ВРУ)} = 240 \text{ м.}$$

Определим потери напряжения в кабельной линии по формуле 12. Согласно РД 34.20.185-94 «Инструкция по проектированию городских

электрических сетей – значения предельных потерь напряжения в нормальном режиме в сетях 0,38 кВ (от ТП до вводов в здания) не более 4-6%» [12].

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot L}{k \cdot S}, \quad (12)$$

где P – мощность присоединения, кВт;

L – длина КЛ, м;

k – коэффициент, зависящий от материала жилы, для алюминия принимается $k=44$;

S – сечение жилы, мм².

Таким образом, потери напряжения в кабельной линии:

$$\Delta U\% = \frac{73,78 \cdot 240}{44 \cdot 50} = 8,08\%.$$

Что превышает допустимое значение. Необходимо увеличить сечение кабеля, следующий по ряду сечений кабель АВБбШв 4×70, для которого потери напряжения составят 5,75%. Для улучшения качества передаваемой потребителям электроэнергии примем кабель АВБбШв 4×95, для которого потери напряжения составят 4,24%.

Вывод: в разделе определен тип внешнего электроснабжения мини-пекарни, количество и марка кабельной линии. Также рассчитан процент потерь напряжения в питающей мини-пекарню кабельной линии.

6 Выбор типа внутреннего электроснабжения мини-пекарни

В здании мини-пекарни устанавливается панель вводного распределительного устройства (ВРУ), от шин которого отходят линии до групп потребителей. Силовая часть внутреннего электроснабжения пекарни – скрытая, прокладывается по перекрытиям потолка или в штробах в стенах.

Сети группируются в зависимости от помещения и тех процессов, оборудование для которых они питают. Распределение сетей по группам для дальнейшего выбора электрооборудования покажем в таблице 8. Она заполняется аналогично «сводной ведомости нагрузок» и отличается тем, что итоговые данные приводятся для каждой группы. Далее, на основании данных, полученных при расчете, для каждой группы будет выбрано групповое распределительное оборудование – силовые шкафы, щиты управления и тому подобное.

Отличительной особенностью схемы внутреннего электроснабжения является то, что силовая и осветительная сеть питаются по разным группам, что позволяет, например, проводить обслуживание силовой части без отключения общего освещения.

Кроме того, на основании данных таблицы 8 будет выбрана панель ВРУ для мини-пекарни.

Для выбора кабелей и защитных аппаратов распределительного оборудования сведем полученные данные в таблицу 9 в формате «группа – параметры».

Таблица 8 – Распределение сетей

Наименование электроприемников	Нагрузка установленная							Нагрузка за смену						Нагрузка максимальная			
	P_n , кВт	n	$P_{n\Sigma}$, кВт	K_u	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	m	$P_{см}$, кВт	$Q_{см}$, кВт	$S_{см}$, кВ·А	n_3	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , кВт	S_M , кВ·А	I_M , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Группа 1																	
Мукопросеиватель Danler XL-2000	1,1	2	2,2	0,85	0,74	0,91	–	1,87	1,7	2,53	–	–	–	–	–	–	–
Тестомесильная машина BakeBerry PM-200	8	1	8	0,5	0,8	0,75	–	4	3	5	–	–	–	–	–	–	–
Округлитель теста Danler RS-2000	1,1	2	2,2	0,6	0,7	1,02	–	1,32	1,35	1,89	–	–	–	–	–	–	–
Тестоделитель Danler DV-2000	1,5	1	1,5	0,6	0,8	0,75	–	0,9	0,68	1,13	–	–	–	–	–	–	–
Итого по группе 1	11,7	6	13,9	0,58	0,77	0,83	>3	8,09	6,72	10,52	4	1,46	1,1	11,81	7,39	13,93	20,14
Группа 2																	
Шкаф холодильный R1520MC (1-фазный)	0,7 (2,1)	3	6,3	0,75	0,84	0,65	–	4,73	3,05	5,63	–	–	–	–	–	–	–
Расстоечный шкаф Danler LP-154 (1-фазный)	0,37 (1,11)	2	2,2	0,65	0,85	0,62	–	1,43	0,89	1,68	–	–	–	–	–	–	–
Расстоечный шкаф Miratek LVP-64 (1-фазный)	4 (12)	2	24	0,65	0,85	0,62	–	15,6	9,67	18,35	–	–	–	–	–	–	–
Тестоукаточная машина Danler WML-400 (1-фазный)	1,3 (3,9)	1	3,9	0,6	0,75	0,88	–	2,34	2,06	3,12	–	–	–	–	–	–	–
Хлеборезательная машина Danler FZ-480 1-фазный	0,55 (1,65)	1	1,65	0,4	0,8	0,75	–	0,66	0,5	0,83	–	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Итого по группе 2	20,76	9	38,05	0,65	0,84	0,65	>3	24,76	16,2	29,57	7	1,25	1,1	30,94	17,78	35,69	51,57
Группа 3																	
Хлебопекарная печь Ramalhos Rotoram S-Maxi	4	2	8	0,65	0,8	0,75	–	5,2	3,9	6,5	–	–	–	–	–	–	–
Итого по группе 3	4	2	8	0,65	0,8	0,75	>3	5,2	3,90	6,50	2	1,65	1,1	8,58	4,29	9,59	13,86
Группа 4																	
Электроводонагреватель ЭВПЗ-15	15	1	15	0,8	0,8	0,75	–	12	9	15	–	–	–	–	–	–	–
Итого по группе 4	15	1	15	0,8	0,8	0,75	–	12	9,00	15,00	1	1,1	1,1	13,20	9,9	16,5	23,84
Группа 5																	
Вентиляция приточная	–	–	4	0,75	0,8	0,75	–	3	2,25	3,75	–	–	–	–	–	–	–
Вентиляция вытяжная	–	–	4	0,75	0,8	0,75	–	3	2,25	3,75	–	–	–	–	–	–	–
Розеточная группа	–	–	10	0,3	0,8	0,75	–	3	2,25	3,75	–	–	–	–	–	–	–
Итого по группе 5	–	–	18	0,50	0,80	0,75	–	9	6,75	11,25	–	–	–	9	6,75	11,25	16,26
Группа 6																	
Освещение	–	–	0,25	0,85	0,97	0,25	–	0,21	0,05	0,22	–	–	–	–	–	–	–
Итого по группе 6	–	–	10,25	0,31	0,81	0,72	–	3,21	2,30	3,95	–	–	–	3,21	2,3	3,95	5,71
Итого на шинах ВРУ	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	76,75	48,41	90,74	131,13

Таблица 9 – Данные для выбора оборудования и проводников

Группа	Количество отходящих присоединений	Значение тока, А
ВРУ	6	131,13
Гр.1	6	20,14
Гр.2	9	51,57
Гр.3	2	13,86
Гр.4	1	23,84
Гр.5	3	16,26
Гр.6 (ЩО)	9	5,71

Для выбора проводников и защитных аппаратов, необходимо знать значение тока каждого из потребителей. Эти данные сведем в таблицу 10.

Таблица 10 – Данные для выбора оборудования и проводников отходящих присоединений от групповых щитов

Группа	Оборудование	Мощность, кВт	Значение тока, А
Гр.1	Мукопросеиватель Danler XL-2000	1,1	2,15
	Тестомесильная машина BakeBerry PM-200	8	14,45
	Округлитель теста Danler RS-2000	1,1	2,27
	Тестоделитель Danler DV-2000	1,5	2,71
Гр.2	Шкаф холодильный R1520MC (1-фазный)	2,1	3,61
	Расстоечный шкаф Danler LP-154 (1-фазный)	1,11	1,87
	Расстоечный шкаф Miratek LVP-64 (1-фазный)	12	20,4
	Тестомясочная машина Danler WML-400 (1-фазный)	3,9	7,51
	Хлеборезательная машина Danler FZ-480 1-фазный	1,65	2,98
Гр.3	Хлебопекарная печь Ramalhos Rotoram S-Maxi	4	7,23
Гр.4	Электроводонагреватель ЭВПЗ-15	15	23,84
Гр.5	Вентиляция приточная	4	3,79
	Вентиляция вытяжная	4	3,79
	Розеточная группа	10	5,42

Вывод: определены параметры сети для дальнейшего выбора распределительного оборудования (панелей, щитов, шкафов и других), защитных аппаратов групповых и индивидуальных линий.

7 Выбор оборудования и проводников

7.1 Выбор распределительного оборудования

Питающие кабели приходят на панель вводного распределительного устройства (ВРУ). К установке принимается вводно-распределительное устройство ВРУ 8504. Панель «применяется в оснащении зданий жилого и промышленного назначения, обеспечивая безопасное распределение трехфазного электрического тока с частотой 50 Гц и напряжением до 380В, а также учет и защиту оборудования при перепадах напряжения и коротком замыкании» [2].

В обозначении цифра 8 – устройство ввода и распределения электроэнергии, 5 – распределение электроэнергии при использовании автоматических выключателей, 04 – четвертый выпуск разработки.

ВРУ-8504 изготавливается методом горячей штамповки из листовой стали, имеет вид шкафа, в котором устанавливаются все необходимые приборы (для обеспечения приема, распределения электрической энергии, защиты и учета).

Питающий кабель, а также отводящие провода могут быть направлены через верх (крышка имеет съемную конструкцию) или через отверстия внизу. Окошки в двери шкафа позволяют снимать показания с приборов учета без ее открывания, а для ремонтных работ и профилактики внутри конструкции имеется освещение. Нижняя часть конструкции оснащается изолированной шиной N, которая применяется для подсоединения нейтральных рабочих проводников, и шиной PE (электрически соединенной с корпусом), предназначенной для подключения проводников защиты.

Для организации групп, указанных в разделе 5 применим распределительные щиты, собранные на базе корпусов ТИТАН 3 ЩРВ производства ИЕК [17]. «Корпуса встраиваемых щитов распределения предназначены для сборки распределительных электрощитов с

использованием модульной аппаратуры, для ввода и распределения электроэнергии, а также для защиты сетей напряжением 230/400 В от токов перегрузки и короткого замыкания» [17].

Данные корпуса комплектуются аппаратами защиты отходящих присоединений, которые выбираются в следующих разделах.

В качестве щита освещения в проектируемой мини-пекарне применяется серия ОЩВ – «навесной осветительный щиток с выключателем. Предназначен для распределения электрической энергии, нечастых оперативных включений и отключений электрических цепей, и защиты от перегрузок и токов короткого замыкания осветительных сетей трехфазного переменного тока напряжением 380/220 В частотой 50 Гц» [16].

Далее выберем аппараты защиты, которыми комплектуются выбранные щиты и панели.

7.2 Выбор аппаратов защиты

Все отходящие присоединения защищаются автоматическими выключателями различных номиналов. Произведем их выбор по данным таблиц 6 (для щитков) и 7 (для отходящих присоединений). Первичный выбор проводится по номинальному току, далее, после расчетов токов коротких замыканий, будет выполнена проверка и, в случае необходимости, замена неудовлетворяющих аппаратов. Данные сведем в таблицы 11 и 12. Для обеспечения селективности, каждый выключатель предусматривает регулирование уставок срабатывания расцепителей.

Таблица 11 – Выбор автоматических выключателей групповых присоединений

Группа	Значение тока, А	Аппарат защиты	Номинальный ток
1	2	3	4
ВРУ	131,13	ВА88-35 ЗР	160 А
Гр.1	20,14	ВА88-32 ЗР	25 А

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4
Гр.2	51,57	ВА88-35 3Р	63 А
Гр.3	13,86	ВА88-32 3Р	16 А
Гр.4	23,84	ВА88-32 3Р	25 А
Гр.5	16,26	ВА88-32 3Р	25 А
Гр.6 (ЩО)	5,71	ВА88-32 3Р	12,5 А

Таблица 12 – Выбор автоматических выключателей отходящих присоединений

Группа	Оборудование	Значение тока, А	Аппарат защиты	Номинальный ток, А
Гр.1	Мукопросеиватель Danler XL-2000	2,15	ВА47-100 3Р	6
	Тестомесильная машина BakeBerry PM-200	14,45	ВА47-100 3Р	16
	Округлитель теста Danler RS-2000	2,27	ВА47-100 3Р	6
	Тестоделитель Danler DV-2000	2,71	ВА47-100 3Р	6
Гр.2	Шкаф холодильный R1520MC (1-фазный)	3,61	ВА47-100 1Р	6
	Расстоечный шкаф Danler LP-154 (1-фазный)	1,87	ВА47-100 1Р	6
	Расстоечный шкаф Miratek LVP-64 (1-фазный)	20,4	ВА47-100 1Р	25
	Тестомясочная машина Danler WML-400 (1-фазный)	7,51	ВА47-100 1Р	10
	Хлеборезательная машина Danler FZ-480 1-фазный	2,98	ВА47-100 1Р	6
Гр.3	Хлебопекарная печь Ramalhos Rotoram S-Maxi	7,23	ВА66-31 3Р	16
Гр.4	Электроводонагреватель ЭВПЗ-15	23,84	ВА47-100 3Р	25
Гр.5	Вентиляция приточная	3,79	ВА66-31 3Р	16
	Вентиляция вытяжная	3,79	ВА66-31 3Р	16
	Розеточная группа	5,42	ВА66-31 3Р	12,5
Гр.6	ЩО	На каждом отходящем присоединении устанавливается ВА47-100 1Р на 6 А		

Далее произведем выбор питающих кабелей.

7.3 Выбор проводников

В разделе 4 определен питающий кабель, приходящий на контакты вводного выключателя в ВРУ мини-пекарни. Это АВБбШв 4×95, общей длиной 240 м (с учетом заводки в ТП-10/0,4 кВ и ВРУ мини-пекарни, а также с 10% запасом на свободное пролегание и просадку грунта). Потери напряжения в кабеле составляют 4,24%.

Внутренние сети выполняются кабелями марки ВВГнг-LS – это «силовой кабель, с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ пониженной пожарной опасности» [6]. Определим сечения кабелей. Выбор будем проводить по величине длительно-допустимого тока. Данные по выбору сечений кабельных линий сведем в таблицы 13 и 14, аналогично выбору автоматических выключателей.

Таблица 13 – Выбор автоматических выключателей групповых присоединений

Группа	Значение тока, А	Марка и сечение	Длительно-допустимый ток
ВРУ	131,13	АВБбШв 4×95	183 А
Гр.1	20,14	ВВГнг(А)-LS 5×4	33 А
Гр.2	51,57	ВВГнг(А)-LS 5×10	58 А
Гр.3	13,86	ВВГнг(А)-LS 5×4	33 А
Гр.4	23,84	ВВГнг(А)-LS 5×6	33 А
Гр.5	16,26	ВВГнг(А)-LS 5×4	33 А
Гр.6 (ЩО)	5,71	ВВГнг(А)-LS 5×4	33 А

Таблица 14 – Выбор автоматических выключателей отходящих присоединений

Группа	Оборудование	Значение тока, А	Марка и сечение	Длительно-допустимый ток
1	2	3	4	5
Гр.1	Мукопросеиватель Danler XL-2000	2,15	ВВГнг(А)-LS 5×2,5	25 А
	Тестомесильная машина BakeBerry PM-200	14,45	ВВГнг(А)-LS 5×2,5	25 А
	Округлитель теста Danler RS-2000	2,27	ВВГнг(А)-LS 5×2,5	25 А

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
	Тестоделитель Danler DV-2000	2,71	ВВГнг(А)-LS 5×2,5	25 А
Гр.2	Шкаф холодильный R1520МС (1-фазный)	3,61	ВВГнг(А)-LS 3×4	36 А
	Расстоечный шкаф Danler LP-154 (1-фазный)	1,87	ВВГнг(А)-LS 3×4	36 А
	Расстоечный шкаф Miratek LVP-64 (1-фазный)	20,4	ВВГнг(А)-LS 3×6	46 А
Гр.2	Тестокаточная машина Danler WML-400 (1-фазный)	7,51	ВВГнг(А)-LS 3×4	36 А
	Хлеборезательная машина Danler FZ-480 1-фазный	2,98	ВВГнг(А)-LS 3×4	36 А
Гр.3	Хлебопекарная печь Ramalhos Rotoram S-Maxi	7,23	ВВГнг(А)-LS 5×4	33 А
Гр.4	Электроводонагреватель ЭВПЗ-15	23,84	ВВГнг(А)-LS 5×6	46 А
Гр.5	Вентиляция приточная	3,79	ВВГнг(А)-LS 5×2,5	25 А
	Вентиляция вытяжная	3,79	ВВГнг(А)-LS 5×2,5	25 А
	Розеточная группа	5,42	ВВГнг(А)-LS 5×2,5	25 А
Гр.6	ЩО	Каждое отходящее присоединение ВВГнг(А)-LS 4×2,5		

Розеточная сеть как и сеть освещения, выполняется кабелями ВВГнг(А)-LS 4×2,5, так как не предусматривает подключения высокомоощного оборудования. Все технологическое оборудование подключается к групповым распределительным щитам, розеточная сеть служит для подключения маломощного оборудования, например, цифровых весов. Разводка розеточной сети и сети освещения осуществляется с помощью распределительных коробок.

Все кабельные линии прокладываются в перекрытиях потолка, либо в штробах в стенах, таким образом, вся проводка мини-пекарни – скрытая.

Вывод: в разделе произведен выбор панели ВРУ, распределительных щитов, проводников, защитных аппаратов на каждой ступени распределения электроэнергии проектируемой мини-пекарни.

8 Расчет токов коротких замыканий

Согласно [3] «Короткое замыкание – всякое случайное или преднамеренное, не предусмотренное нормальным режимом работы, электрическое соединение различных точек (фаз) электроустановки между собой или с землей, при котором токи в ветвях электроустановки, примыкающих к месту его возникновения, резко возрастают, превышая наибольший допустимый ток продолжительного режима» [3]. Для мини-пекарни рассматриваются КЗ на стороне до 1000 В, поэтому расчеты будем вести в именованных единицах (МОм).

Выполним расчет точек до вводных автоматов групповых щитов, включая щит осветительный.

Составим расчетную схему, в которой отразим все элементы цепи и отметим точки КЗ. Покажем ее на рисунке 13.

Точки КЗ расположены на вводах в групповые щиты. Для обеспечения селективности, то есть правильного срабатывания защитных аппаратов, отрегулированы уставки расцепителей автоматических выключателей.

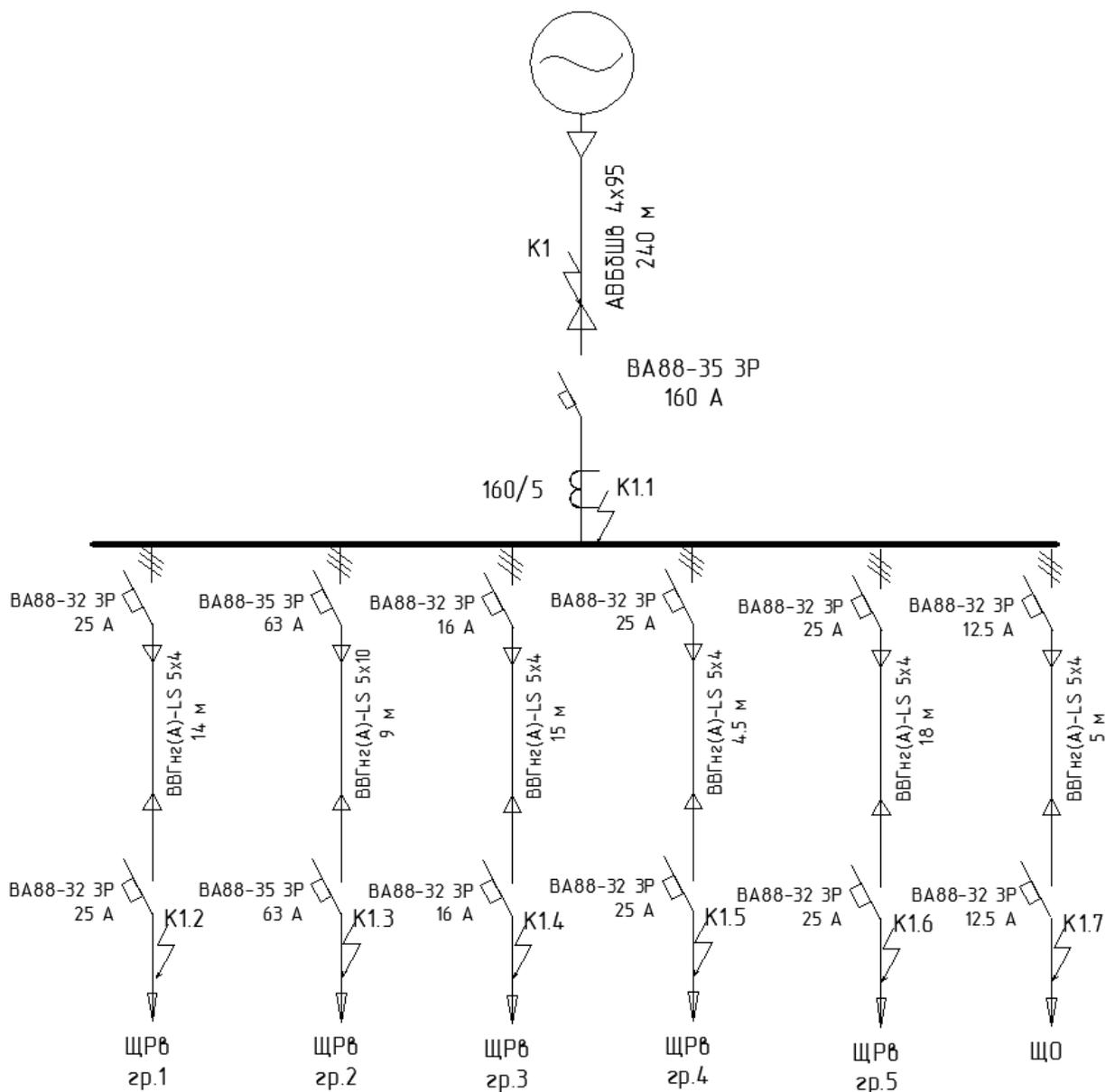


Рисунок 13 – Расчетная схема №1

Составим схему замещения и покажем ее на рисунке 14. «Схема замещения представляет собой вариант расчетной схемы, в которой все элементы заменены сопротивлениями, а магнитные связи – электрическими» [4].

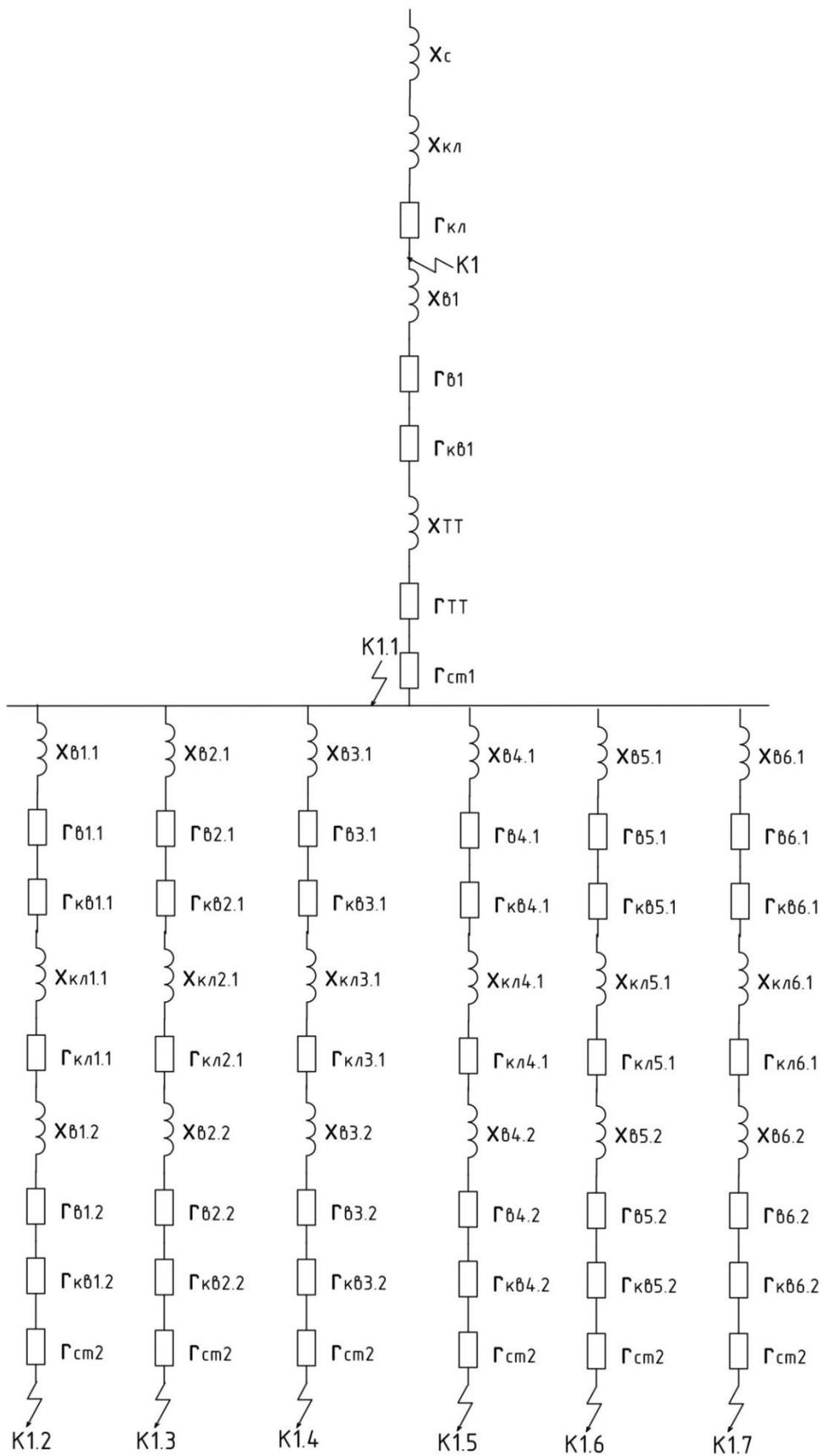


Рисунок 14 – Схема замещения №1

Согласно ГОСТ 28249-93 «При расчетах токов КЗ в электроустановках до 1 кВ необходимо учитывать:

- «1) индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи, включая силовые трансформаторы, проводники, трансформаторы тока, реакторы, токовые катушки автоматических выключателей;
- 2) активные сопротивления элементов короткозамкнутой цепи;
- 3) активные сопротивления различных контактов и контактных соединений» [4].

Определим параметры элементов, входящих в схему замещения.

Эквивалентное индуктивное сопротивление системы x_C определим по формуле 13:

$$x_C = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_{\text{откл.ном}} U_{\text{ср.ВН}}}, \quad (13)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ – средненоминальное напряжение на стороне НН трансформатора;

$U_{\text{ср.ВН}}$ – средненоминальное напряжение на стороне ВН трансформатора

$I_{\text{откл.ном}}$ – номинальный ток защитного аппарата.

$$x_C = \frac{0,4^2}{\sqrt{3} \cdot 250 \cdot 10,5} = 35 \text{ мОм.}$$

Сопротивления кабельных линий определим по формулам 14 и 15:

$$r_{\text{кл1}} = l_{\text{кл1}} \cdot r_{\text{окл1}}, \quad (14)$$

$$x_{\text{кл1}} = l_{\text{кл1}} \cdot x_{\text{окл1}}, \quad (15)$$

где $l_{\text{кл}}$ – длина кабельной линии, м;

$r_{\text{окл}}, x_{\text{окл}}$ – погонное сопротивление, Ом/м.

Данные для сопротивлений трансформаторов тока ($r_{ТТ}$, $x_{ТТ}$), ступеней распределения ($r_{см1}$, $r_{см2}$), автоматических выключателей ($r_{кв}$, $x_{в}$, $r_{в}$) определяются по паспортным и справочным данным оборудования. Сведем эти данные в таблицу 15.

Таблица 15 – Данные сопротивлений оборудования

Элемент	Марка	Обозначение	Сопротивление, МОм
1	2	3	4
Система	–	x_c	35
Питающая КЛ	АВБШв 4×95	$r_{КЛ1}$	816
		$x_{КЛ1}$	144,48
Вводной автоматический выключатель	ВА88-35, 160 А	$r_{кв1}$	8,7
		$x_{в1}$	0,5
		$r_{в1}$	1,2
Трансформатор тока	ТТИ-А 160/5	$r_{ТТ}$	1,7
		$x_{ТТ}$	2,7
Ступень распределения	–	$r_{см1}$	10
		$r_{см2}$	15
Автоматический выключатель отходящего присоединения	ВА88-32, 25 А	$r_{кв1.1}, r_{кв4.1}, r_{кв5.1}$	6,69
		$x_{в1.1}, x_{в4.1}, x_{в5.1}$	6,75
		$r_{в1.1}, r_{в4.1}, r_{в5.1}$	10,5
	ВА88-35, 63 А	$r_{кв2.1}$	8,7
		$x_{в2.1}$	2
		$r_{в2.1}$	3,5
	ВА88-32, 16 А	$r_{кв3.1}$	6,69
		$x_{в3.1}$	6,75
		$r_{в3.1}$	10,5
	ВА88-32, 12,5 А	$r_{кв6.1}$	6,69
		$x_{в6.1}$	6,75
		$r_{в6.1}$	10,5
КЛ отходящего присоединения	ВВГнг(А)-LS 5×4	$r_{КЛ1.1},$	648,2
		$r_{КЛ3.1}$	165,6
		$r_{КЛ4.1},$	694,5
		$r_{КЛ5.1}$	208,35
		$r_{КЛ6.1}$	833,4
		$x_{КЛ1.1},$	13,3
		$x_{КЛ3.1}$	14,25
		$x_{КЛ4.1},$	4,28
		$x_{КЛ5.1}$	17,1
		$x_{КЛ6.1}$	4,75
ВВГнг(А)-LS 5×10	$r_{КЛ2.1}$	165,6	
	$x_{КЛ2.1}$	6,57	

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4
Автоматический выключатель на вводе групповых щитов	ВА88-32, 25 А	$r_{кв1.2}, r_{кв4.2}, r_{кв5.2}$ $x_{в1.2}, x_{в4.2}, x_{в5.2}$ $r_{в1.2}, r_{в4.2}, r_{в5.2}$	6,69 6,75 10,5
	ВА88-35, 63 А	$r_{кв2.2}$ $x_{в2.2}$ $r_{в2.2}$	8,7 2 3,5
	ВА88-32, 16 А	$r_{кв3.2}$ $x_{в3.2}$ $r_{в3.2}$	6,69 6,75 10,5
	ВА88-32, 12,5 А	$r_{кв6.2}$ $x_{в6.2}$ $r_{в6.2}$	6,69 6,75 10,5

Далее, необходимо преобразовать схему замещения к простейшему виду, то есть к схеме, состоящей из одного активного и одного реактивного сопротивления. Для этого найдем суммарные сопротивления схемы до каждой из точек КЗ. Промежуточная схема замещения показана на рисунке 15.

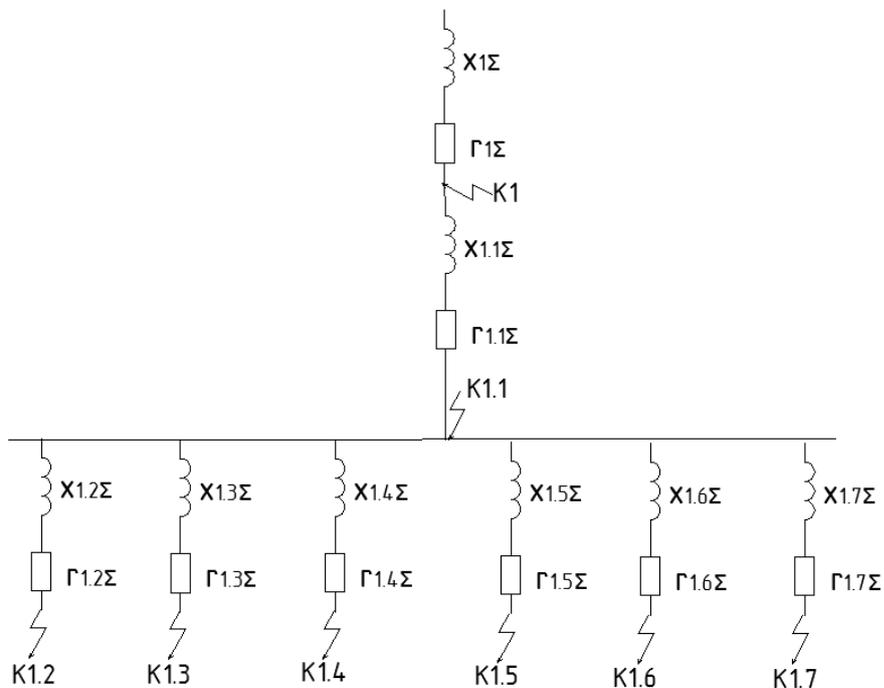


Рисунок 15 – Промежуточная схема замещения №1

Суммарные сопротивления до точек КЗ:

До точки К1

$$r_{K1\Sigma} = r_{KL1} = 816 \text{ мОм.}$$

$$x_{K1\Sigma} = x_c + x_{KL1} = 35 + 144,48 = 179,48 \text{ мОм.}$$

До точки К1.1

$$\begin{aligned} r_{K1.1\Sigma} &= r_{K1\Sigma} + r_{KB1} + r_{B1} + r_{TT1} + r_{CT1} = 816 + 8,7 + 1,2 + 1,7 + 10 = \\ &= 837,6 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

$$x_{K1.1\Sigma} = x_{K1\Sigma} + x_{B1} + x_{TT1} = 179,48 + 0,5 + 2,7 = 182,68 \text{ мОм.}$$

До точки К1.2

$$\begin{aligned} r_{K1.2\Sigma} &= r_{KB1.1} + r_{B1.1} + r_{KL1.1} + r_{KB1.2} + r_{B1.2} + r_{CT2} = \\ &= 6,69 + 10,5 + 648,2 + 6,69 + 10,5 + 15 = 697,58 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

$$x_{K1.2\Sigma} = x_{B1.1} + x_{KL1.1} + r_{B2.1} = 6,75 + 13,3 + 6,75 = 26,8 \text{ мОм.}$$

До точки К1.3

$$\begin{aligned} r_{K1.3\Sigma} &= r_{KB2.1} + r_{B2.1} + r_{KL2.1} + r_{KB2.2} + r_{B2.2} + r_{CT2} = \\ &= 8,7 + 3,5 + 165,6 + 8,7 + 3,5 + 15 = 205 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

$$x_{K1.3\Sigma} = x_{B2.1} + x_{KL2.1} + x_{B2.2} = 2 + 6,57 + 2 = 10,57 \text{ мОм.}$$

До точки К1.4

$$\begin{aligned} r_{K1.4\Sigma} &= r_{KB3.1} + r_{B3.1} + r_{KL3.1} + r_{KB3.2} + r_{B3.2} + r_{CT2} = \\ &= 6,69 + 10,5 + 165,6 + 6,69 + 10,5 + 15 = 214,98 \text{ мОм.} \end{aligned}$$

$$x_{K1.4\Sigma} = x_{B3.1} + x_{KL3.1} + x_{B3.2} = 6,75 + 14,25 + 6,75 = 27,75 \text{ мОм.}$$

До точки К1.5

$$\begin{aligned}r_{K1.5\Sigma} &= r_{KB4.1} + r_{B4.1} + r_{KL4.1} + r_{KB4.2} + r_{B4.2} + r_{CT2} = \\&= 6,69 + 10,5 + 694,5 + 6,69 + 10,5 + 15 = 743,88 \text{ мОм.} \\x_{K1.5\Sigma} &= x_{B4.1} + x_{KL4.1} + x_{B4.2} = 6,75 + 4,28 + 6,75 = 17,78 \text{ мОм.}\end{aligned}$$

До точки К1.6

$$\begin{aligned}r_{K1.6\Sigma} &= r_{KB5.1} + r_{B5.1} + r_{KL5.1} + r_{KB5.2} + r_{B5.2} + r_{CT2} = \\&= 6,69 + 10,5 + 208,35 + 6,69 + 10,5 + 15 = 257,73 \text{ мОм.} \\x_{K1.6\Sigma} &= x_{B5.1} + x_{KL5.1} + x_{B5.2} = 6,75 + 17,1 + 6,75 = 30,6 \text{ мОм.}\end{aligned}$$

До точки К1.7

$$\begin{aligned}r_{K1.7\Sigma} &= r_{KB6.1} + r_{B6.1} + r_{KL6.1} + r_{KB6.2} + r_{B6.2} + r_{CT2} = \\&= 6,69 + 10,5 + 833,4 + 6,69 + 10,5 + 15 = 876,78 \text{ мОм.} \\x_{K1.7\Sigma} &= x_{B6.1} + x_{KL6.1} + x_{B6.2} = 6,75 + 4,75 + 6,75 = 18,25 \text{ мОм.}\end{aligned}$$

Далее получим полное сопротивление для каждого участка согласно формуле 16:

$$Z_{K\Sigma} = \sqrt{r_{K\Sigma}^2 + x_{K\Sigma}^2}. \quad (16)$$

Полные сопротивления участков цепи сведем в таблицу 16.

Таблица 16 – Значение сопротивлений для участков цепи

Точка КЗ	$r_{K\Sigma}$, мОм	$x_{K\Sigma}$, мОм	$Z_{K1.i\Sigma}$, мОм	$Z_{K\Sigma}$, мОм
1	2	3	4	5
1	816	179,48	835,51	835,51
1.1	837,6	182,68	857,29	857,29

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5
1.2	697,58	26,8	698,09	1555,38
1.3	205	10,57	205,27	1062,56
1.4	214,98	27,75	216,76	1074,05
1.5	743,88	17,78	744,09	1601,38
1.6	257,73	30,6	259,54	1116,83
1.7	876,78	18,25	876,97	1734,26

Конечная схема замещения показана на рисунке 16.

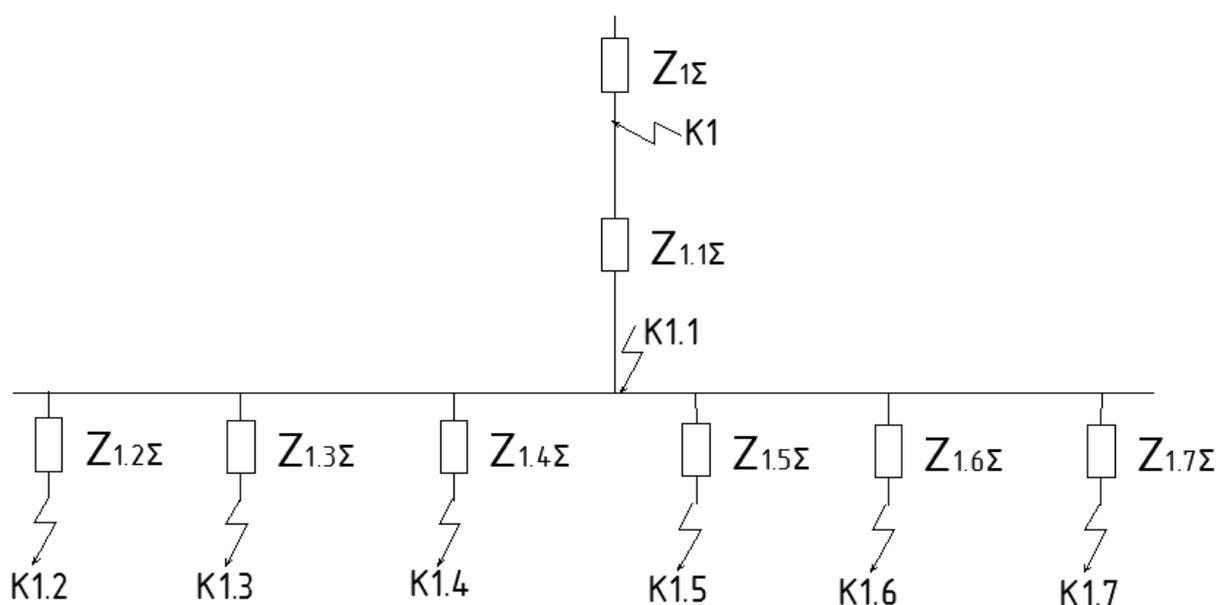


Рисунок 16 – Конечная схема замещения №1

Ток трехфазного металлического КЗ в рассматриваемых точках определим по формуле 17:

$$I_{KM_i} = \frac{U_{H_{HH}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K\Sigma}}. \quad (17)$$

Ток трехфазного дугового короткого замыкания в рассматриваемых точках при коэффициентах снижения $K_{C1}=0,88$ и $K_{C2}=0,79$ определим по формулам 18-19:

$$I_{КД1} = K_{C1} \cdot I_{КМi}, \quad t_{КЗ} < 0,05с. \quad (18)$$

$$I_{КД2} = K_{C2} \cdot I_{КМi}, \quad t_{КЗ} > 0,05с. \quad (19)$$

Ударный ток в рассматриваемых точках определим по формуле 20:

$$i_{удi} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{КМi}, \quad (20)$$

где $k_{уд}$ – ударный коэффициент, $k_{уд} = F(x_{К\Sigma}/r_{К\Sigma})$, принимается по справочным таблицам.

Значения токов КЗ в рассматриваемых точках сведем в таблицу 17.

Таблица 17 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$r_{К\Sigma}$, мОм	$x_{К\Sigma}$, мОм	$\frac{x_{К\Sigma}}{r_{К\Sigma}}$	$k_{уд}$	$Z_{К\Sigma}$, мОм	$I_{КМi}$, кА	$I_{КД1}$, кА	$I_{КД2}$, кА	$i_{удi}$, кА
1	816	179,48	0,22	1	835,51	2,77	2,44	2,19	3,90
1.1	837,6	182,68	0,22	1	857,29	2,70	2,37	2,13	3,80
1.2	697,58	26,8	0,04	1	1555,38	1,49	1,31	1,17	2,10
1.3	205	10,57	0,05	1	1062,56	2,18	1,91	1,72	3,07
1.4	214,98	27,75	0,13	1	1074,05	2,15	1,89	1,70	3,04
1.5	743,88	17,78	0,02	1	1601,38	1,44	1,27	1,14	2,04
1.6	257,73	30,6	0,12	1	1116,83	2,07	1,82	1,64	2,92
1.7	876,78	18,25	0,02	1	1734,26	1,33	1,17	1,05	1,88

Вывод: в разделе получены значения токов трехфазного металлического, трехфазного дугового КЗ, а также ударного тока КЗ для различных точек схемы. Полученные данные применим далее для проверки выбранного оборудования.

9 Проверка выбранного оборудования и проводников

Учитывая полученные в предыдущем пункте данные по величине токов КЗ, выполним проверку выбранного ранее оборудования.

Для питающего кабеля АВББШв 4×95 допустимый ток односекундного короткого замыкания 6,86 кА, что больше, чем значение ударного тока КЗ, значит, выбранный кабель допустим при эксплуатации проектируемой сети.

Для кабелей отходящих линий: допустимый ток односекундного короткого замыкания кабеля ВВГнг-LS 5×4: 0,43 кА, а для кабеля ВВГнг-LS 5×10: 1,09 кА, это означает, что необходима замена кабелей на большие сечения. Для групп, где ранее применялись кабели ВВГнг-LS 5×4 выполняется переход на кабели ВВГнг-LS 5×16, а для групп, где ранее применялись кабели ВВГнг-LS 5×10 выполняется переход на кабели ВВГнг-LS 5×25. Вследствие замены кабелей увеличатся сопротивления до рассматриваемых ранее точек КЗ, а значит и снизятся токи КЗ. Для вновь выбранных кабелей допустимый ток односекундного короткого замыкания ВВГнг-LS 5×16 1,74 кА, а для ВВГнг-LS 5×25 2,78 кА.

Для выбранных автоматических выключателей ВА 88-32 и ВА 88-35 номинальная отключающая способность составляет 25 кА и 30 кА соответственно, а значит они не нуждаются в замене.

Вывод: в ходе проверки выявлено, что ранее выбранные кабели не удовлетворяют требованиям безопасной эксплуатации и заменяются на кабели большего сечения. Выбранные автоматические выключатели прошли проверку и в замене не нуждаются.

10 Заземление и молниезащита мини-пекарни

Согласно ПУЭ, «питание электроприемников должно выполняться от сети 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S» [9]. Выбор системы заземления TN-C-S объясняется тем, что разделение PEN проводника обеспечивает большую безопасность, так как при использовании системы TN-C корпус фактически не заземляется, а зануляется. Поэтому «обрыв провода PEN приводит к тому, что на нейтральном контакте розетки, заземляющем выводе и корпусе электрооборудования появляется напряжение сети» [19].

Правила, по которым производится разделение, описаны в ПУЭ п.п.1.7 и 7.1:

- «← схема должна быть смонтирована так, чтобы исключить отключение, в том числе аварийное, цепей PEN и PE;
- автоматические выключатели и рубильники, допускается устанавливать только в цепи нейтрали N;
- проводник PEN подключается к шине PE, или главной заземляющей шине ГЗШ, которая должна соединяться с нейтральной планкой;
- проводники PE и N после разделения не соединяются;
- нельзя использовать общую шину для нейтрали и заземления» [8].

Система заземления TN-C-S имеет преимущество перед другими типами защитных заземлений. Она имеет простую конструкцию, которую легко смонтировать в любом здании. Эта работа имеет намного меньшую стоимость, чем монтаж схемы TN-S.

Недостатком этой системы является попадание высокого напряжения на корпус оборудования при повреждении провода PEN на участке между зданием и трансформатором. Для предотвращения таких ситуаций в соответствии с требованиями ПУЭ в качестве питающего кабеля применяется бронированный кабель марки АВБбШв.

Выполним расчет заземляющего устройства мини-пекарни.

«Заземляющее устройство представляет собой единую систему горизонтальных и вертикальных заземлителей, соединенных между собой» [18]. Сопротивление заземляющего устройства согласно справочным таблицам Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей (ПТЭЭП) не должно превышать 10 Ом при удельном сопротивлении грунта не более 100 Ом·м.

Заземляющее устройство состоит из горизонтальных заземлителей, выполненных из полосовой стали, сечением 5×40 и вертикальных заземлителей, выполненных из стальных прутков круглого сечения диаметром 18 мм и длиной 3 м.

Сопротивление вертикального заземлителя определяется по формуле 21:

$$R_B = \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h' + l}{4h' - l} \right), \quad (21)$$

где $\rho_{\text{ЭКВ}}$ – эквивалентное удельное сопротивление грунта, определяется по формуле 22:

$$\rho_{\text{ЭКВ}} = \rho \cdot \Psi, \quad (22)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта Ом·м;

Ψ – повышающий коэффициент климатической зоны

l – длина стержня, м;

d – диаметр стержня, м;

h' – расстояние от поверхности земли до середины стержня, м.

Для рассматриваемого участка удельное сопротивление грунта $\rho = 80$ Ом·м, повышающий коэффициент $\Psi = 1,8$. Таким образом, $\rho_{\text{ЭКВ}} = 108$ Ом·м.

Сопротивление одного вертикального заземлителя равно:

$$R_B = \frac{144}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0,018} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 47,12 \text{ Ом.}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя определим по формуле 23:

$$R_\Gamma = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bh}, \quad (23)$$

где b – ширина горизонтального заземлителя, м.

$$R_\Gamma = \frac{144}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \ln \frac{2 \cdot 9^2}{0,04 \cdot 0,5} = 22,07 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземляющего устройства, представляющего собой расположенные по вершинам равностороннего треугольника вертикальные заземлители, соединенные горизонтальными заземлителями определим по формуле 24:

$$R_{\text{об}} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B \cdot \eta_B \cdot n + R_\Gamma \cdot \eta_\Gamma}, \quad (24)$$

где η_B – коэффициент спроса вертикального заземлителя; $\eta_B = 0,85$

η_Γ – коэффициент спроса вертикального заземлителя; $\eta_\Gamma = 0,8$

$$R_{\text{об}} = \frac{47,12 \cdot 22,07}{47,12 \cdot 0,85 \cdot 3 + 22,07 \cdot 0,8} = 7,55 \text{ Ом} < 30 \text{ Ом.}$$

Общий вид заземляющего устройства приведен на рисунке 17.

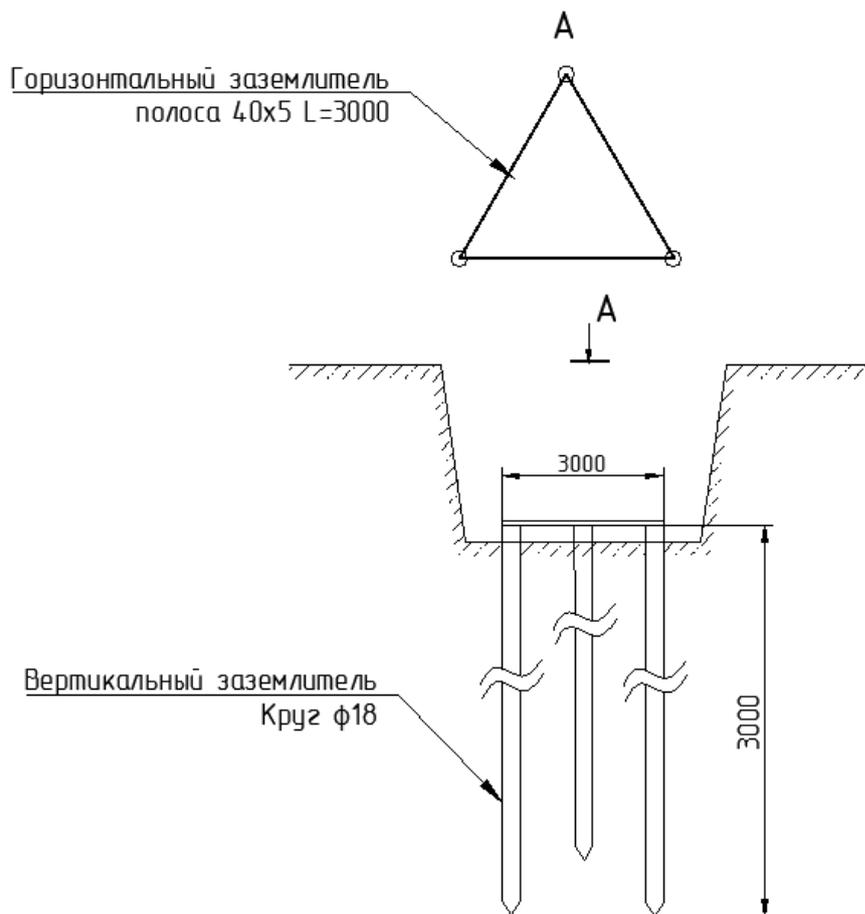


Рисунок 17 – Конфигурация заземляющего устройства мини-пекарни

«Молниезащита зданий представляет собой комплекс технических средств и мероприятий, направленных на защиту от возгорания и других опасностей, связанных с прямым попаданием молнии в здание и ее вторичным воздействием» [20].

Согласно РД 34.21.122-87 «Здания и сооружения или их части, помещения которых согласно ПУЭ относятся к зонам в год и более классов П-I, П-II, П-III» [13] относятся к III категории молниезащиты. «Здания и сооружения, отнесенные по устройству молниезащиты к III категории, должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высокого потенциала через наземные (надземные) металлические коммуникации» [13].

Расчет ведется в соответствии СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» [14].

Принятая надежность защиты $P_z=0,9$. К установке планируется 2 одиночных стержневых молниеотвода высотой 8 м. Система молниезащиты подключается к внешнему контуру заземления стальным тросом диаметром 8 мм.

Общий вид зоны действия стержневого молниеотвода показан на рисунке 18.

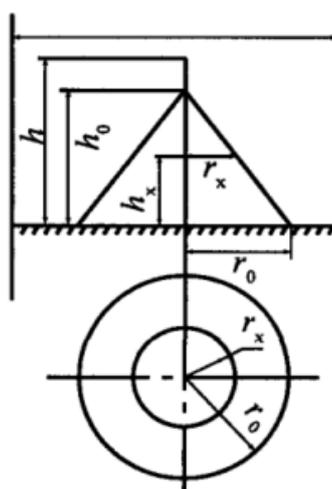


Рисунок 18 – Общий вид зоны действия стержневого молниеотвода

Высота конуса зоны действия стержневого молниеотвода:

$$h_0 = 0,85h = 6,8 \text{ м.}$$

Внешний радиус конуса зоны действия стержневого молниеотвода:

$$r_0 = 1,2h = 9,6 \text{ м.}$$

Для зоны защиты требуемой надежности, радиус горизонтального сечения r_x на высоте h_x

$$r_x = \frac{r_0(h_0 - h_x)}{h_0} = \frac{9,6(6,8 - 3,2)}{6,8} = 5,1 \text{ м.}$$

Зона действия молниезащитного устройства мини-пекарни показана на рисунке 19.

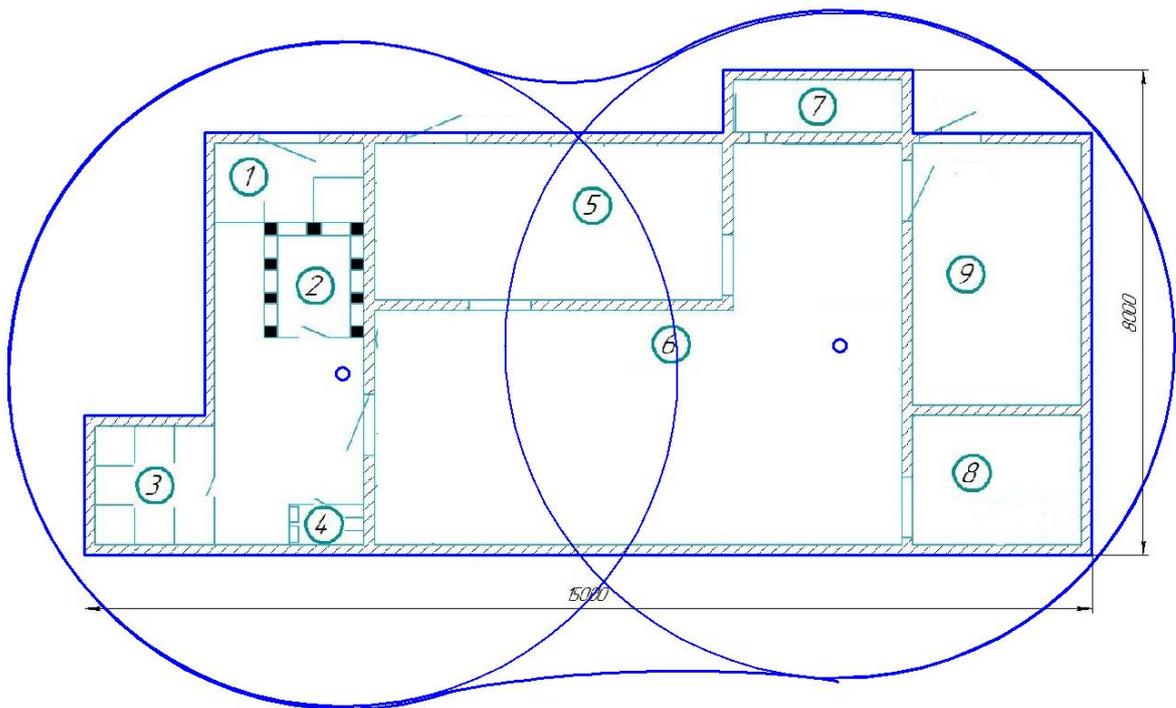


Рисунок 19 – Зона действия молниезащитного устройства мини-пекарни

Вывод: в разделе рассмотрена реализация систем молниезащиты и заземления мини-пекарни. Определена конфигурация заземляющего устройства и зона действия молниезащиты здания.

Заключение

При выполнении выпускной квалификационной работы получен один из вариантов электроснабжения мини-пекарни.

На начальном этапе дана характеристика объекта, определены категории электробезопасности и взрывопожароопасности помещений и определен перечень основных потребителей электроэнергии мини-пекарни, для которых далее выполнен расчет электрических нагрузок с помощью метода коэффициентов максимумов.

Далее выполнен расчет осветительных нагрузок с помощью программы DIALux. Выбрано число и мощность светильников и скорректирована общая мощность системы освещения.

Следующим этапом определены типы внешнего и внутреннего электроснабжения мини-пекарни.

Внешнее электроснабжение мини-пекарни осуществляется от существующей трансформаторной подстанции ТП-10/0,4 кВ. Подключение происходит от шин РУ-0,4 кВ кабельной линией, проложенной в земле. Потери напряжения в линии составляют 4,24%. Питающие кабели приходят на панель вводного распределительного устройства (ВРУ), от шин которого отходят линии до групп потребителей. Силовая часть внутреннего электроснабжения пекарни – скрытая, прокладывается по перекрытиям потолка или в штробах в стенах.

Кроме того, окончательно скорректирована сводная ведомость нагрузок с учетом распределения потребителей по группам.

Далее выбрано основное оборудование: вводно-распределительное устройство ВРУ 8504, распределительные щиты, собранные на базе корпусов ТИТАН 3 ЩРв производства ИЕК, автоматические выключатели ВА 88-32 и ВА 88-35 различных номиналов и кабели марки ВВГнг(А)-LS.

Для проверки выбранного оборудования проведен расчет токов коротких замыканий в характерных точках – в конце питающих кабелей, на

шинах ВРУ, на вводах распределительных щитов. Для обеспечения селективности, то есть правильного срабатывания защитных аппаратов, отрегулированы уставки расцепителей автоматических выключателей.

В ходе проверки электрооборудования по полученным в предыдущем пункте данным выяснено, что ранее выбранные кабели не удовлетворяют условиям по допустимому току односекундного короткого замыкания из-за чего были пересмотрены и увеличены сечения кабельных линий.

На заключительном этапе проведен расчет заземляющего устройства и системы молниезащиты мини-пекарни.

В результате, получен один из вариантов схемы электроснабжения мини-пекарни полного цикла, которая отвечает всем современным требованиям безопасности и надежности.

Список используемых источников

1. ВНТП 02-92 «Нормы технологического проектирования предприятий хлебопекарной промышленности» [Электронный ресурс] : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200029035> (дата обращения 16.12.2021).
2. ВРУ 8504 [Электронный ресурс] : АВВ-Электроцит URL: <https://abb-electro.ru/elektroshchitovoe-oborudovanie/vvodno-raspredelitelnye-ustroystva/vru-8504/> (дата обращения 14.12.2021).
3. ГОСТ 26522-85 Короткие замыкания в электроустановках. Термины и определения. Введ. 1986-07-01. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.
4. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. Введ. 1995-01-01 М.: Стандартинформ, 2019. 66 с.
5. Кабель АВББШв 4×50 [Электронный ресурс] : Кабельная поисковая система URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/avbbshv](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/avbbshv) (дата обращения 15.01.2022).
6. Кабель ВВГнг-LS [Электронный ресурс] : Кабельная поисковая система URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyie/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgng-ls/) (дата обращения 15.01.2022).
7. Накладные светильники NBL-P [Электронный ресурс] : Navigator URL: <http://www.navigator-light.ru/svetilniki/osveshhenie-zhkk/nakladnyie-tipa-dbp/nbl-p/71920v2.html> (дата обращения 16.12.2021).
8. Оборудование для пекарен и производства хлебобулочных изделий [Электронный ресурс] : Справочник металлиста URL: <https://ssk2121.com/oborudovanie-dlya-pekaren-i-proizvodstva-hlebobulochnyh-izdeliy/> (дата обращения 16.12.2021).
9. Правила устройства электроустановок. М: Энергоатомиздат, 2015. 330 с.

10. О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии [Электронный ресурс] : Приказ Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. N 380 URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201507270034> (дата обращения 20.12.2021).

11. Пылевлагозащищенные светильники серии DSP-02 [Электронный ресурс] : Navigator URL: <http://www.navigator-light.ru/svetilniki/promyishlennoe-osveshhenie/pyilevlagozashhishhennyie-tipa-dsp/dsp-02/14654.html> (дата обращения 16.12.2021).

12. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Электронный ресурс] : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200004921> (дата обращения 14.12.2021).

13. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений [Электронный ресурс] : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003090> (дата обращения 15.01.2022).

14. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций [Электронный ресурс] : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200034368> (дата обращения 15.01.2022).

15. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс] : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения 16.12.2021).

16. Щиток осветительный ОЩВ навесной [Электронный ресурс] : ИЕК URL:

https://www.iek.ru/products/catalog/tipovye_resheniya_nku/shchitki_osvetitelnye/nku_shchitki_osvetitelnye_oshchv/shchitok_osvetitelnyy_oshchv_avesnoy_s_avt_omatcheskimi_vyklyuchatelyami_3p_1kh100a_1p_18kh25a_iek (дата обращения 16.12.2021).

17. ТИТАН 3 Корпус металлический ЩРВ [Электронный ресурс] : ИЕК
URL:

https://www.iek.ru/products/catalog/shkafy_boksy_i_prinadlezhnosti_k_nim/korpusa_metallicheskie_modulnye/korpusa_metallicheskie_raspredelitelnye/shchity_raspredelitelnye_serii_trend/korpus_metallicheskiy_shchrv_54z_3_36_ukhl3_ip31_trend?page=detail&article=МКМ14-V-54-30-Т (дата обращения 16.12.2021).

18. Daza S.A. Electric Power System Fundamentals. London: Artech House, 2016. 388 p.

19. Electricity Handbook. Electrical Engineering Portal Protection [Electronic resource] / URL: <http://elektricity/8599-solar-electricity-handbook> (date of the application 15.03.2022)

20. Gers J. M. Protection of Electricity Distribution Networks, 3rd Edition (Energy Engineering). The Institution of Engineering and Technology, 2015. 368 p.

21. Science: Electrical engineering [Electronic resource] / URL: <https://www.khanacademy.org/science/electrical-engineering> (date of the application 15.03.2022)

22. Stephan Maier. Smart energy systems for smart city districts: case study Reininghaus District, 2016. 84 p.