

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 цеха концентрации, отжима и сушки
каучука

Обучающийся

А.Б. Кузнецов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Терентьев

(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

Тема выпускной квалификационной работы «Проектирование системы электроснабжения цеха концентрации, отжима и сушки каучука», в рамках которой рассмотрены вопросы проектирования систем электроснабжения химических промышленных предприятий.

Для достижения цели данной работы были поставлены и решены ряд вопросов:

- расчет электрических нагрузок цеха;
- расчет и выбор трансформаторов;
- расчет и выбор осветительных установок;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор аппаратов защиты и проводников;
- расчет контура заземления.

Решение этих задач позволило разработать надежную, рациональную и безопасную схему электроснабжения цеха концентрации, отжима и сушки каучука.

Пояснительная записка представлена на 57 страницах, содержит 7 рисунков и включает в себя 19 таблиц. Графическая часть представлена на 6 листах формата А1.

Abstract

The title of the final qualifying work: «Design of the power supply system of the rubber concentration, extraction and drying workshop».

The final qualifying work consists of an introduction, eight sections, a conclusion, 19 tables, a list of references, including foreign sources, and a graphic part on 6 sheets of A1 format.

The key issue of the work is the design of power supply systems for chemical industrial enterprises.

The purpose of the work is to design the power supply system of the rubber concentration, pressing and drying shop on the territory of the LLC «Tolyattikauchuk» enterprise in connection with the expansion of production.

The final qualification work can be divided into several parts, which include the calculation of electrical loads of the workshop; calculation and selection of transformers; calculation and selection of lighting installations; calculation of short-circuit currents; selection of protection devices and conductors; calculation of the grounding circuit.

Finally, we present the work on the development of a reliable, rational and safe power supply scheme for the rubber concentration, extraction and drying shop.

In conclusion, I would like to emphasize that the technological solutions used in the work are relevant not only for the LLC «Tolyattikauchuk» enterprise, but also relevant for other chemical enterprises.

Содержание

Введение	5
1 Характеристика объекта проектирования.....	6
2 Выбор схемы электроснабжения цеха концентрации, отжима и сушки каучука.....	12
2.1 Расчет нагрузок	13
2.2 Расчет электрического освещения цеха	16
2.3 Расчет и выбор компенсирующего устройства	22
3 Выбор питающих кабелей электроприемников.....	30
4 Выбор аппаратов защиты.....	33
5 Расчет и выбор трансформаторов с компенсирующими устройствами.....	35
6 Выбор электрооборудования 6 и 0,4 кВ.....	37
6.1 Выбор высоковольтных выключателей	37
6.2 Выбор трансформаторов тока.....	40
6.3 Выбор разъединителей.....	42
7 Расчет токов КЗ	45
8 Расчет контура заземления	51
Заключение	54
Список используемой литературы	56

Введение

Нефтехимический комплекс России играет важную роль в экономике страны. Химическая отрасль является самой энергозатратной, поскольку для ее реализации технологического процесса требуется большое количество электроэнергии. Электроэнергия требуется не только для проведение химических реакций, но и на реализацию второстепенных операций, на работу оборудования, на реализацию комфортных условий труда для сотрудников предприятий.

Кроме других предприятия химической направленности таких как: Куйбышевазот, ТоАЗ. В развитии нашего города немаловажную роль играет Тольяттикаучук который является флагманом химической промышленности Самарской области и Российской Федерации. Основой работы главного химического предприятия Тольятти выступает производство синтетических каучуков различных марок являющийся сырьем для различных резинотехнических изделий. На данный момент Тольяттикаучук занимает одно из лидирующих позиций в экспорте Самарской области [6].

На предприятие осуществляется сложный технологический процесс, немаловажную роль в котором играет узел концентрации, отжима и сушки. И поскольку с каждым годом предприятие пытается оптимизировать технологический процесс для повышения количества и качества производимой продукции, наращивает производственные площади, что в свою очередь включает и разработку систем электроснабжения, соответствующие всем современным требованиям по обеспечению надлежащего уровня качества и надежности.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения цеха концентрации, отжима и сушки каучука на территории предприятия ООО «Тольяттикаучук» в связи с расширением производства.

1 Характеристика объекта проектирования

Цех концентрации, отжима и сушки каучука будет построен на территории ООО «Тольяттикаучук» — одного из крупнейших предприятий нефтехимического комплекса России, расположенного в г. Тольятти Самарской области в период с 2022 по 2024 г. В рамках программы «Расширения производства Тольяттикаучук».

Мощности производств предприятия:

- производство сополимерных каучуков мощностью 60 тыс. тонн в год;
- производство бутилкаучука мощностью 75 тыс. тонн в год;
- производство бутадиена мощностью 80 тыс. тонн в год и высокооктановой добавки к бензину мощностью 39,2 тыс. тонн в год;
- производство изопрена мощностью 90 тыс. тонн в год;
- производство изопреновых каучуков мощностью 82 тыс. тонн в год;
- производство изобутилен-изобутановой фракции мощностью 165 тыс. тонн в год и изобутилена мощностью 60 тыс. тонн в год [11].

На базе производства изопрена действуют мощности по производству метил-трет-бутилового эфира (высокооктановой компонент к бензину). Мощности предприятия по МТБЭ составляют 120 тыс. тонн продукции в год.

Цех концентрации, отжима и сушки каучука внешне будет представлять собой двухэтажное здание размерами 36 на 72 метров. Стены будут выполнены из армированного бетона, оштукатурены, полы бетонные бесшовные. Согласно правил устройства электроустановок цех концентрации, отжима и сушки каучука по взрывопожарной и пожарной опасности причислен к классу П-2а.

Процесс концентрации, отжима и сушки каучука происходит следующим образом.

Каучук в виде пульпы (крошка) из дегазации с помощью насоса направляется в концентратор. Скорость подачи корректируется пневматическим устройством. На верху концентратора предусмотрена

вращающаяся грабельная мешалка, подающая каучуковую крошку на транспортер.

Далее с помощью отжимной машины в которой каучуковая крошка давлением отжимается до 10 – 15 %. Параллельно с отжимом крошка перемещается на фильерную доску. Далее, падая «по течке» – выходному коробу, крошка снова оказывается в отжимную машину где отжимается до 7 – 11 % влажности.

После чего каучук отправляется в питатель. Крошка каучука после выхода из фильерной доски сушильной машины измельчается резакон сушильной камеры. Во избежание повторной конденсации испарившейся влаги на каучуке, в сушильную камеру приточным вентилятором подается воздух. При достижении температуры воздуха (после калорифера) в сушильной камере по прибору КИПиА ниже 105 °С включается световая и звуковая сигнализация. Излишний объем воздух из сушильного устройства убирается с помощью вытяжным вентилятором.

Сухая крошка виброконвейером сушильной камеры подается на виброподъемник.

Для обеспечения пожарной безопасности в производственном корпусе сушильная камера и виброподъемник снабжены системой паро-водотушения.

Электрооборудование в цехе расположено равномерно. Основными потребителями на производстве выступают электроприводы различных машин и механизмов такие как (Концентратор крошки каучука, Отжимная машина ОМ-2К-300, Сушильная машина СМ-1К-250М, Сушильная машина для нагрева, сушки и измельчения каучука, Сушильная камера для сушки и транспортирования крошки каучука). В данных аппаратах установлены двигатели переменного тока на напряжение 0,4 кВ, мощностью до 160 кВт, и 2 двигателя переменного тока на 6 кВ и мощностью 500 кВт. Качество разработки системы электроснабжения влияет на работу электроприемников. Наибольшее значение в этом играет расчет электрических нагрузок, влияющие на выбор всех элементов проектируемой системы.

Полный перечень оборудования представлен в таблице 1

Таблица 1 – Перечень оборудования цеха концентрации, отжима и сушки каучука

№ на плане	Наименование электрооборудования	Технические характеристики оборудования				
		Р _{пасп} , кВт	U _н , кВ	К _и	cosφ	КПД, %
А-700а/1	Скребок концентратора крошки каучука	4	0,38	0,7	0,84	83,1
А-700б/1	Шнек концентратора крошки каучука	7,5	0,38	0,7	0,73	85
А-700в/1	Боковое перемешивающее устройство концентратора крошки каучука	7,5	0,38	0,4	0,73	85
А-701/1	Отжимная машина ОМ-2К-300	160	0,38	0,7	0,8	94
А-701а/1	Масляный насос отжимной машины	2,2	0,38	0,7	0,79	79,7
А-702/1	Отжимная машина ОМ-2К-300	160	0,38	0,7	0,8	94
А-702а/1	Масляный насос отжимной машины	2,2	0,38	0,7	0,79	79,7
А-703/1	Сушильная машина СМ-1К-250М	500	6	0,4	0,88	92,5
А-703а/1	Масляный насос гидромфты сушильной машины	18,5	0,38	0,7	0,84	83,1
А-703б/1	Масляный насос редуктора сушильной машины	2,2	0,38	0,7	0,83	81
А-704/1	Сушильная камера для сушки и транспортирования крошки каучука	10	0,38	0,4	0,87	85
А-704а/1	Масляный насос редуктора сушильной камеры	11	0,38	0,7	0,73	85

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Наименование электрооборудования	Технические характеристики оборудования				
		Р _{пасп} , кВт	U _н , кВ	К _и	cosφ	КПД, %
А-705/1	Вертикальный виброподъемник охлаждения и транспортирования крошки каучука	10	0,38	0,4	0,87	85
П-704/1	Приточный вентилятор сушильной камеры	11	0,38	0,65	0,84	83,1
В-704/1	Вытяжной вентилятор сушильной камеры	11	0,38	0,65	0,87	85
П-705/1	Приточный вентилятор вертикального виброподъемника	7,5	0,38	0,65	0,73	85
А-706/1	Шнек	7,5	0,38	0,6	0,85	78,5
А-707а1/1	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,85	78,5
А-707а2/1	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,87	92
А-709а1/1	Пресс	37	0,38	0,17	0,85	89
А-709а2/1	Пресс	15	0,38	0,17	0,85	78,5
А-707б1/1	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,85	78,5
А-707б2/1	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,87	92
А-709б1/1	Пресс	37	0,38	0,17	0,85	89
А-709б2/1	Пресс	15	0,38	0,17	0,85	78,5
А-707в1/1	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,85	78,5
А-707в2/1	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,87	92
А-709в1/1	Пресс	37	0,38	0,17	0,85	89
А-709в2/1	Пресс	15	0,38	0,17	0,87	92
А-710/1	Конвейер	3	0,38	0,5	0,84	83,5
А-712/1	Конвейер	5,5	0,38	0,5	0,86	84,7
А-713/1	Конвейер	1,5	0,38	0,5	0,87	92
А-714/1	Конвейер	0,9	0,38	0,5	0,87	77,7
А-715/1	Конвейер	0,9	0,38	0,5	0,87	77,7
А-700а/2	Скребок концентратора крошки каучука	4	0,38	0,7	0,84	83,1
А-700б/2	Шнек концентратора крошки каучука	7,5	0,38	0,7	0,73	85
А-700в/2	Боковое перемешивающее устройство концентратора крошки каучука	7,5	0,38	0,4	0,73	85
А-701/2	Отжимная машина ОМ-2К-300	160	0,38	0,7	0,8	94
А-701а/2	Масляный насосом отжимной машины	2,2	0,38	0,7	0,79	79,7

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Наименование электрооборудования	Технические характеристики оборудования				
		Р _{пасп} , кВт	U _н , кВ	Ки	cosφ	КПД, %
A-702/2	Отжимная машина ОМ-2К-300	160	0,38	0,7	0,8	94
A-702a/2	Масляный насос отжимной машины	2,2	0,38	0,7	0,79	79,7
A-703/2	Сушильная машина СМ-1К-250М	500	6	0,4	0,88	92,5
A-703a/2	Масляный насос гидромурфы сушильной машины	18,5	0,38	0,7	0,84	83,1
A-703б/2	Масляный насос редуктора сушильной машины	2,2	0,38	0,7	0,83	81
A-704/2	Сушильная камера для сушки и транспортирования крошки каучука	10	0,38	0,4	0,87	85
A-704a/2	Масляный насос редуктора сушильной камеры	11	0,38	0,7	0,73	85
A-705/2	Вертикальный виброподъемник охлаждения и транспортирования крошки каучука	10	0,38	0,4	0,87	85
П-704/2	Приточный вентилятор сушильной камеры	11	0,38	0,65	0,84	83,1
В-704/2	Вытяжной вентилятор сушильной камеры	11	0,38	0,65	0,87	85
П-705/2	Приточный вентилятор вертикального виброподъемника	7,5	0,38	0,65	0,73	85
A-706/2	Шнек	7,5	0,38	0,6	0,85	78,5
A-707a1/2	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,85	78,5
A-707a2/2	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,87	92
A-709a1/2	Пресс	37	0,38	0,17	0,85	89
A-709a2/2	Пресс	15	0,38	0,17	0,85	78,5
A-707б1/2	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,85	78,5
A-707б2/2	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,87	92
A-709б1/2	Пресс	37	0,38	0,17	0,85	89
A-709б2/2	Пресс	15	0,38	0,17	0,85	78,5
A-707в1/2	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,85	78,5
A-707в2/2	Пресс	1,5	0,38	0,17	0,87	92
A-709в1/2	Пресс	37	0,38	0,17	0,85	89
A-709в2/2	Пресс	15	0,38	0,17	0,87	92

Продолжение таблицы 1

№ на плане	Наименование электрооборудования	Технические характеристики оборудования				
		Р _{пасп} , кВт	U _н , кВ	К _и	cosφ	КПД, %
А-710/2	Конвейер	3	0,38	0,5	0,84	83,5
А-712/2	Конвейер	5,5	0,38	0,5	0,86	84,7
А-713/2	Конвейер	1,5	0,38	0,5	0,87	92
А-714/2	Конвейер	0,9	0,38	0,5	0,87	77,7
А-715/2	Конвейер	0,9	0,38	0,5	0,87	77,7

Технологический процесс осуществляется на двух линиях, работающих независимо друг от друга. Расположение электроприёмников на аппаратах технологических линий представлено в разделе технологических решений проекта.

Для достижения поставленной цели требуется решить ряд задач. Основными задачами работы являются:

- расчет электрических нагрузок цеха;
- расчет и выбор осветительных установок;
- расчет и выбор трансформаторов;
- расчет токов короткого замыкания;
- выбор электрических аппаратов и проводников;
- расчет контура заземления.

Вывод по разделу: описан производственный процесс, поставлены задачи для достижения цели ВКР.

2 Выбор схемы электроснабжения цеха концентрации, отжима и сушки каучука

Одним из важнейших аспектов в проектировании системы электроснабжения это выбор схемы. В разрабатываемой схеме необходимо учитывать элементы существующей схемы и их пропускную способность. Это должно касаться трансформаторных подстанций, распределительных устройств, кабельных линий и т.д. [3].

Схема должна удовлетворять следующим условиям:

- пригодна для ремонта;
- возможность применения комплектного электрооборудования;
- легкость монтажа.

При разработке схемы снабжения необходимо учитывать возможность предприятия развиваться 8-10 лет. Также анализируется внешнее электроснабжение для обеспечения бесперебойности питания для соответствующей категории надежности электроснабжения [16]. Схемы снабжения подразделяются на несколько категорий:

Виды схем:

- радиальные,
- магистральные,
- смешанные.

Факторы влияющие на выбор схемы:

- категория потребителя по надежности электроснабжения;
- расположение цехов относительно друг друга и источника питания;
- режим работы оборудования в цехе, который определяет график нагрузки цеха.

Исходя из выше перечисленного, выбирается радиальная схема электроснабжения. Поскольку у цеха 1 категория надежности электроснабжения то будет предусмотрено 2 независимых источника питания.

2.1 Расчет нагрузок

При расчете силовых нагрузок важное значение имеет правильное определение электрической нагрузки во всех элементах силовой сети. Завышение нагрузки может привести к перерасходу проводникового материала, удорожанию строительства; занижение нагрузки – к уменьшению пропускной способности электрической сети и невозможности обеспечения нормальной работы силовых электроприемников.

Расчет электрических нагрузок основывается на опытных данных и обобщениях, выполненных с применением методов математической статистики и теории вероятности.

Расчет начинают с определения номинальной мощности каждого электроприемника независимо от его технологического процесса, средней мощности, затраченной в течении наиболее загруженной смены, и максимальной расчетной мощности участка, цеха, завода или объекта [1].

Средняя активная мощность оборудования за наиболее нагруженную смену по формуле (1).

$$P_{см} = K_{и} \cdot P_{прием} \quad (1)$$

где $K_{и}$ – коэффициент использования электроприемников;

$P_{прием}$ – мощность электроприемника.

Средняя реактивная мощность оборудования за наиболее нагруженную смену по формуле (2).

$$Q_{см} = P_{см} \cdot tg\varphi, \quad (2)$$

где $tg\varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Средняя полная мощность оборудования за наиболее нагруженную смену по формуле (3).

$$S_{\text{см}} = \sqrt{P_{\text{см}}^2 + Q_{\text{см}}^2} \quad (3)$$

Суммарное значение мощности, а также средней активной, реактивной и полной мощностей для ПР 1 по формулам (4)-(7).

$$P_{\text{н(ПР 1)}} = \sum P_{\text{прием}} \quad (4)$$

$$P_{\text{см(ПР 1)}} = \sum P_{\text{см}} \quad (5)$$

$$Q_{\text{см(ПР 1)}} = \sum Q_{\text{см}} \quad (6)$$

$$S_{\text{см(ПР 1)}} = \sqrt{P_{\text{см(ПР 1)}}^2 + Q_{\text{см(ПР 1)}}^2} \quad (7)$$

Средний коэффициент использования для ПР 1 по формуле (8).

$$K_{\text{и.ср}} = \frac{P_{\text{см(ПР 1)}}}{P_{\text{н(ПР 1)}}} \quad (8)$$

Показатель силовой сборки по формуле (9).

$$m = \frac{P_{\text{н.нб}}}{P_{\text{н.нм}}} \quad (9)$$

где $P_{\text{н.нб}}$ – наибольшая мощность среди электроприемников;

$P_{\text{н.нм}}$ – наименьшая мощность среди электроприемников.

Зная значение показателя силовой сборки группы, среднего коэффициента использования и общее число электроприемников,

подключенных к ПР 1, можно определить эффективное число электроприемников по формуле (10).

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum_1^n P_{\text{H}}}{P_{\text{H.нб}}} \quad (10)$$

Коэффициент максимума активной нагрузки по формуле (11).

$$K_{\text{M}} = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{\text{э}}}} \cdot \sqrt{\frac{1 - K_{\text{и.ср}}}{K_{\text{и.ср}}}} \quad (11)$$

Определим коэффициент максимума реактивной нагрузки. В соответствии с практикой проектирования принимается $K'_{\text{M}} = 1,1$ из условия $n_{\text{э}} \leq 10$; $K'_{\text{M}} = 1$ из условия $n_{\text{э}} > 10$. Следовательно коэффициент максимума реактивной нагрузки принимается 1,1.

Рассчитаем коэффициент мощности группы электроприемников, подключенных к ПР 1 по формуле (12).

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{см(ПР 1)}}}{S_{\text{см(ПР 1)}}} \quad (12)$$

Рассчитаем коэффициент реактивной мощности группы электроприемников, подключенных к ПР 1 по формуле (13).

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{см(ПР 1)}}}{P_{\text{см(ПР 1)}}} \quad (13)$$

Рассчитаем максимальную активную нагрузку ПР 1 по формуле (14).

$$P_M = K_M \cdot P_{CM} \quad (14)$$

Рассчитаем максимальную реактивную нагрузку ПР 1 по формуле (15).

$$Q_M = K'_M \cdot Q_{CM} \quad (15)$$

Рассчитаем максимальную полную нагрузку ПР 1 по формуле (16).

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} \quad (16)$$

Определим максимальные токи на распределительных устройствах(РУ), за исключением щита освещения по формуле (17).

$$I_{M(ПР\ 1)} = \frac{S_{M(ПР\ 1)}}{\sqrt{3} \cdot U_{л}} \quad (17)$$

где $U_{л}$ – номинальное напряжение электроприемника.

Расчет нагрузок 0,4 кВ сведены в таблицу 9.

Расчеты электроприемников на 6 кВ ведутся аналогичным образом. Коэффициент использования принимаем $k_{и}=1$. Результаты расчетов занесены в таблицу 10.

2.2 Расчет электрического освещения цеха

В данном расчете определяется количество светильников, их расположение и суммарная мощность [12]. Расчеты производятся в программном обеспечении DIALux 4.13. Согласно правилам устройства

электроустановок пункт 7.4.27 и таблице 7.4.3 в помещения относящихся к классу П-2а устанавливаются светильники с минимальной степенью защиты IP23 [14]. Для помещений цеха концентрации, отжима и сушки каучука были выбраны светодиодные светильники – UNIEL ULT-V16-60W/DW со степенью защиты IP65 представленные на рисунке 1 [14]. Поскольку помещения представляют собой производственные помещения где возможны механические воздействия на светильники были выбраны светильники противовандального исполнения. Краткие технические характеристики представлены в таблице 2. Ориентируясь на СП 52.13330.2016 учли нормируемую освещённость помещений цеха. В помещении с линиями выделения средняя освещенность должна быть 150 лк, в коридоре между РУ и линиями выделения 100 лк и в РУ 200 лк [15].

Результаты расчета рабочего и аварийного освещения представлены в таблицах 2-5.

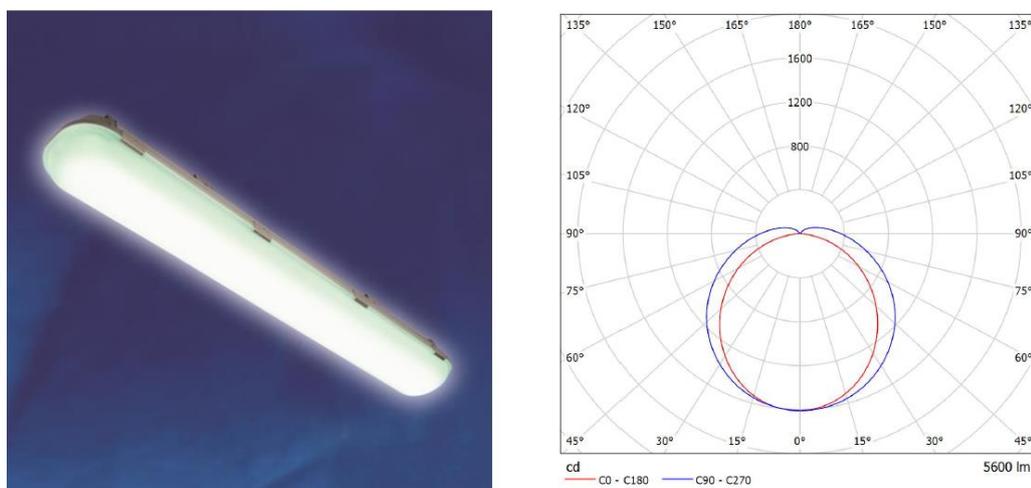


Рисунок 1 – Выбранный светильник

Таблица 2 – Технические характеристики выбранных светильников

Название светильника	Мощность, Вт	Степень защиты	Световой поток, лм	Коэффициент мощности
UNIEL ULT-V16-60W/DW	60	IP65	5600	0,95

Таблица 3 – Результаты расчетов

Помещение	S, м2	Этажей	Мощность светильника P, Вт	n	Суммарный световой поток Φ, лм	Суммарная мощность P, кВт
Линия выделения 1	1118	1	60	45	252000	2,7
РУ	144	1	60	10	56000	0,60
Всего на 1 секции шин						3,3
Линия выделения 2	1118	1	60	45	252000	2,7
Коридор	72	1	60	2	11200	0,12
Всего на 2 секции шин						2,82
Суммарная мощность ОУ:						6,12

На рисунках 2 - 4 представлены изолинии освещенности в цехе.

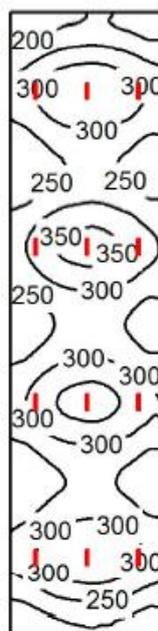


Рисунок 2– Изолинии в РУ

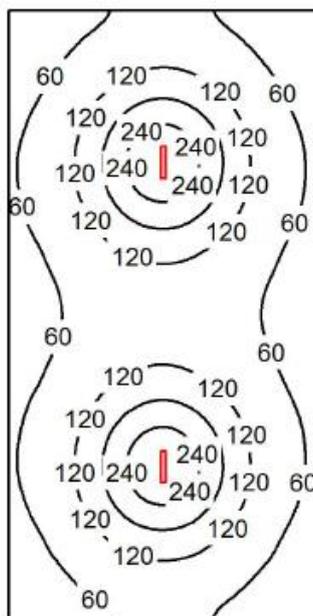


Рисунок 3 – Изолинии в коридоре между РУ и линиями выделения

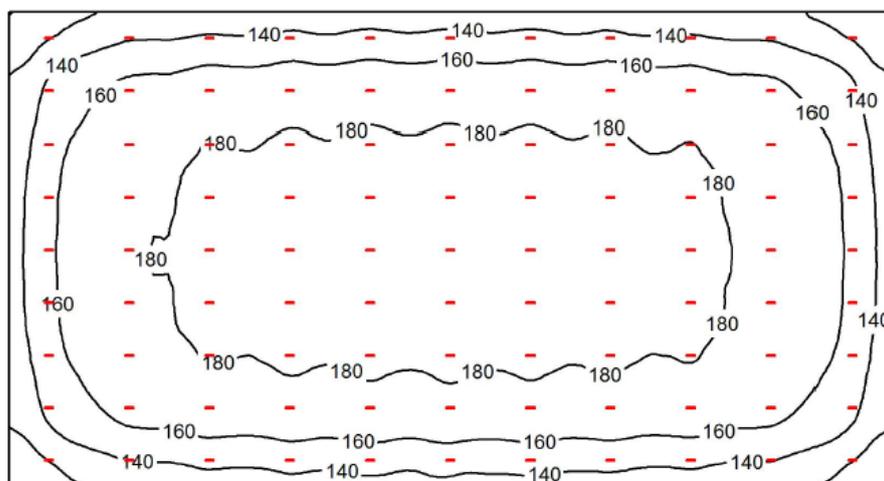


Рисунок 4 – Изолинии помещения линий выделения

Таблица 4 – Основные параметры рабочего освещения

Помещение	ρ , %	E_{cp} , Лк	E_{min} , Лк	E_{max} , Лк	E_{min}/ E_{cp}
Линии выделения	20	161	94	186	0,585
РУ	20	275	154	371	0,562
Коридор	20	91	41	164	0,452

Также предусмотрена система аварийного освещения. Из группы общего освещения были взяты светильники для аварийной системы [5]. Ориентируясь на СП 52.13330.2016 учли нормируемую освещённость помещений при аварийных ситуациях равную 1 лк. На рисунках 5-7 представлены изолинии аварийного освещения в помещениях цеха.

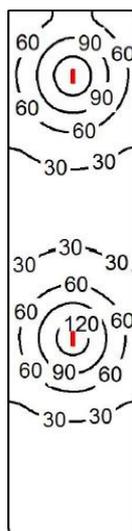


Рисунок 5 – Изолинии в РУ

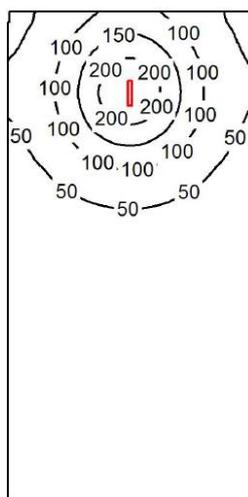


Рисунок 6 – Изолинии в коридоре между РУ и линиями выделения

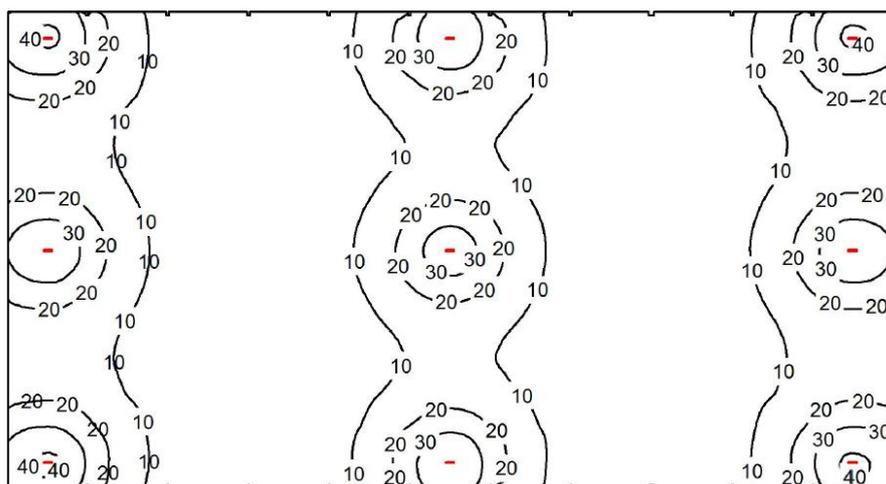


Рисунок 7 – Изолинии помещения линий выделения

Таблица 5 – Основные параметры аварийного освещения

Помещение	ρ , %	E_{cp} , Лк	E_{min} , Лк	E_{max} , Лк	E_{min}/ E_{cp}
Линии выделения	20	20	12	34	0,334
РУ	20	46	6,63	137	0,145
Коридор	20	40	5,73	140	0,142

Далее был произведен расчет нагрузок осветительных установок в цехе. Результаты занесены в таблицу 9.

Рассчитаем среднюю активную мощность осветительных установок за наиболее загруженную смену по формуле (18).

$$P_{см(ОУ)} = K_{и} \cdot P_{гр.ОУ} \quad (18)$$

Рассчитаем среднюю реактивную мощность осветительных установок за наиболее загруженную смену по формуле (19).

$$Q_{см(ОУ)} = P_{см(ОУ)} \cdot tg\varphi \quad (19)$$

Рассчитаем среднюю полную мощность осветительных установок за наиболее загруженную смену по формуле (20).

$$S_{\text{см(ОУ)}} = \sqrt{P_{\text{см(ОУ)}}^2 + Q_{\text{см(ОУ)}}^2} \quad (20)$$

Определим максимальный ток щита освещения по формуле (21)

$$I_{\text{М(ЩО)}} = \frac{S_{\text{см(ОУ)}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}}} \quad (21)$$

Данные расчётов нагрузки освещения приведены в сводной ведомости электрических нагрузок в конце раздела.

2.3 Расчет и выбор компенсирующего устройства

Расчёт значения коэффициента мощности, а также значение коэффициента реактивной мощности на ШНН без компенсирующего устройства (КУ) производим по формулам (22)-(23). Взяв значения из таблицы 9.

$$\cos\varphi = \frac{P_{\text{М}}}{S_{\text{М}}} \quad (22)$$

$$\cos\varphi = \frac{891,21}{1014,85} = 0,88$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{\text{М}}}{P_{\text{М}}} \quad (23)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{485,45}{891,21} = 0,54$$

Сведем необходимые данные в таблицу 6

Таблица 6 – Параметры нагрузки на ШНН

Параметр	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_{\text{ШНН}}$	$Q_{\text{ШНН}}$	$S_{\text{ШНН}}$
Всего на ШНН без КУ	0,88	0,54	891,21	485,45	1014,85

Рассчитаем реактивную мощность компенсирующего устройства по формуле (24).

$$Q_{\text{к.р}} = \alpha \cdot P_{\text{М}} \cdot (tg\varphi - tg\varphi_{\text{к}}) \quad (24)$$

$$Q_{\text{к.р}} = 0,9 \cdot 891,21 \cdot (0,54 - 0,33) = 168$$

где α – коэффициент, учитывающий повышение

$\cos\varphi$ – естественным способом, принимает значение 0,9;

$tg\varphi_{\text{к}}$ – коэффициент реактивной мощности после компенсации, принимает значение 0,33.

Исходя из результатов расчета, выбираем две конденсаторные установки марки УКРМ-0,4-75-10 УЗ [4]. Технические характеристики КУ представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики КУ

Тип	$U_{\text{н}}$, кВ	$Q_{\text{к.ст}}$, квар	Количество ступеней регулирования	Шаг регулирования, квар
1 секция шин				
УКРМ-0,4-75-10 УЗ	0,4	75	5	10
2 секция шин				
УКРМ-0,4-75-10 УЗ	0,4	75	5	10

Рассчитаем фактическое значение коэффициента реактивной мощности после компенсации по формуле (25).

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha \cdot P_M} \quad (25)$$

$$tg\varphi_{\phi} = 0,54 - \frac{150}{0,9 \cdot 891,21} = 0,35$$

Зная фактическое значение коэффициента реактивной мощности, можно определить значение коэффициента мощности, который принимает значение $\cos\varphi = 0,94$ [20]. Данные по нагрузке с учетом компенсирующего устройства сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Сводная ведомость нагрузок с учетом компенсации

Параметр	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА
Всего на ШНН без КУ	0,88	0,54	891,21	485,45	1014,85
КУ	-	-	-	-150	-
Всего на ШНН с КУ	0,94	0,35	891,21	335,45	925,25

Таблица 9 – Сводная ведомость нагрузок по цеху

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная					Нагрузка за смену			Нагрузка максимальная						
	P_H , кВт	$\kappa_{и}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	m	P_{CM} , кВт	Q_{CM} , квар	S_{CM} , кВА	$n_{э}$	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА	I_M , А
1 секция шин															
А-701/1	160	0,7	0,8	0,75	-	112	84	140	1	2,0	1,1	222,0	92,4	240,4	347,1
А-702/1	160	0,7	0,8	0,75	-	112	84	140	1	2,0	1,1	222,0	92,4	240,4	347,1
РП 1															
А-700а/1	4	0,7	0,84	0,65	-	2,8	1,82	3,34	-	-	-	-	-	-	-
А-700б/1	7,5	0,7	0,73	0,94	-	5,25	4,94	7,21	-	-	-	-	-	-	-
А-700в/1	7,5	0,4	0,73	0,94	-	3	2,82	4,12	-	-	-	-	-	-	-
А-701а/1	2,2	0,7	0,79	0,78	-	1,54	1,2	1,95	-	-	-	-	-	-	-
А-702а/1	2,2	0,7	0,79	0,78	-	1,54	1,2	1,95	-	-	-	-	-	-	-
А-703а/1	18,5	0,7	0,84	0,65	-	12,95	8,42	15,45	-	-	-	-	-	-	-
А-703б/1	2,2	0,7	0,83	0,67	-	1,54	1,03	1,85	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП 1	44,1	0,6	0,8	0,75	8,4	28,62	21,43	35,75	5	1,5	1,1	43,1	23,6	49,1	70,9
РП 2															
А-704/1	10	0,4	0,87	0,57	-	4	4,14	6,04	-	-	-	-	-	-	-
А-704а/1	11	0,7	0,73	0,94	-	7,7	7,24	10,57	-	-	-	-	-	-	-
А-705/1	10	0,4	0,87	0,57	-	4	4,14	6,04	-	-	-	-	-	-	-
П-704/1	11	0,65	0,84	0,65	-	7,15	4,65	8,53	-	-	-	-	-	-	-
В-704/1	11	0,65	0,87	0,57	-	7,15	4,08	8,23	-	-	-	-	-	-	-
П-705/1	7,5	0,65	0,73	0,94	-	4,88	4,58	6,69	-	-	-	-	-	-	-
А-706/1	7,5	0,6	0,85	0,62	-	4,5	2,79	5,3	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП 2	68	0,6	0,8	0,80	1,5	39,38	31,62	50,50	12	1,4	1,1	53,7	34,8	64,0	92,3
РП 3															
А-707а1/1	1,5	0,17	0,85	0,62	-	0,26	0,16	0,3	-	-	-	-	-	-	-
А-707а2/1	1,5	0,17	0,87	0,57	-	0,26	0,15	0,29	-	-	-	-	-	-	-
А-709а1/1	37	0,17	0,85	0,62	-	6,29	3,9	7,4	-	-	-	-	-	-	-
А-709а2/1	15	0,17	0,85	0,62	-	2,55	1,58	3	-	-	-	-	-	-	-
А-707б1/1	1,5	0,17	0,85	0,62	-	0,26	0,16	0,3	-	-	-	-	-	-	-
А-707б2/1	1,5	0,17	0,87	0,57	-	0,26	0,15	0,29	-	-	-	-	-	-	-
А-709б1/1	37	0,17	0,85	0,62	-	6,29	3,9	7,4	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 9

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная					Нагрузка за смену			Нагрузка максимальная						
	P_n , кВт	κ_n	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	m	P_{cm} , кВт	Q_{cm} , квар	S_{cm} , кВА	n_3	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА	I_M , А
А-709Б2/1	15	0,17	0,85	0,62	-	2,55	1,58	3	-	-	-	-	-	-	-
А-707В1/1	1,5	0,17	0,85	0,62	-	0,26	0,16	0,3	-	-	-	-	-	-	-
А-707В2/1	1,5	0,17	0,87	0,57	-	0,26	0,15	0,29	-	-	-	-	-	-	-
А-709В1/1	37	0,17	0,85	0,62	-	6,29	3,9	7,4	-	-	-	-	-	-	-
А-709В2/1	15	0,17	0,87	0,57	-	2,55	1,58	3	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП 3	165	0,2	0,9	0,62	24,7	28,08	17,37	33,02	9	2,1	1,1	59,2	19,1	62,2	89,8
РП 4															
А-710/1	3	0,5	0,84	0,65	-	1,5	0,98	1,79	-	-	-	-	-	-	-
А-712/1	5,5	0,5	0,86	0,59	-	2,75	1,62	3,19	-	-	-	-	-	-	-
А-713/1	1,5	0,5	0,87	0,57	-	0,75	0,43	0,86	-	-	-	-	-	-	-
А-714/1	0,9	0,5	0,87	0,57	-	0,45	0,26	0,52	-	-	-	-	-	-	-
А-715/1	0,9	0,5	0,87	0,57	-	0,45	0,26	0,52	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП 4	11,8	0,5	0,9	0,60	6,1	5,9	3,55	6,89	4	1,7	1,1	10,2	3,9	10,9	15,7
ЩО1															
ЩО1	3,3	1	0,95	0,33		3,3	1,09	3,48				3,3	1,09	3,48	5
Всего на секции 1	612,2	0,5	0,8	0,74	177,8	329,28	243,06	409,27	6	1,6	1,1	521,8	267,4	586,4	846,3
2 секция шин															
А-701/2	160	0,7	0,8	0,75	-	112	84	140	1	2,0	1,1	222,0	92,4	240,4	347,1
А-702/2	160	0,7	0,8	0,75	-	112	84	140	1	2,0	1,1	222,0	92,4	240,4	347,1
1,РП 5															
А-700а/2	4	0,7	0,84	0,65	-	2,8	1,82	3,34	-	-	-	-	-	-	-
А-700б/2	7,5	0,7	0,73	0,94	-	5,25	4,94	7,21	-	-	-	-	-	-	-
А-700в/2	7,5	0,4	0,73	0,94	-	3	2,82	4,12	-	-	-	-	-	-	-
А-701а/2	2,2	0,7	0,79	0,78	-	1,54	1,2	1,95	-	-	-	-	-	-	-
А-702а/2	2,2	0,7	0,79	0,78	-	1,54	1,2	1,95	-	-	-	-	-	-	-
А-703а/2	18,5	0,7	0,84	0,65	-	12,95	8,42	15,45	-	-	-	-	-	-	-
А-703б/2	2,2	0,7	0,83	0,67	-	1,54	1,03	1,85	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП 5	44,1	0,6	0,8	0,75	8,4	28,62	21,43	35,75	5	1,5	1,1	43,1	23,6	49,1	70,9
РП 6															
А-704/2	10	0,4	0,87	0,57	-	4	4,14	6,04	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 9

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная					Нагрузка за смену			Нагрузка максимальная						
	P_n , кВт	κ_n	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	m	P_{cm} , кВт	Q_{cm} , квар	S_{cm} , кВА	n_3	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА	I_M , А
А-704а/2	11	0,7	0,73	0,94	-	7,7	7,24	10,57	-	-	-	-	-	-	-
А-705/2	10	0,4	0,87	0,57	-	4	4,14	6,04	-	-	-	-	-	-	-
П-704/2	11	0,65	0,84	0,65	-	7,15	4,65	8,53	-	-	-	-	-	-	-
В-704/2	11	0,65	0,87	0,57	-	7,15	4,08	8,23	-	-	-	-	-	-	-
П-705/2	7,5	0,65	0,73	0,94	-	4,88	4,58	6,69	-	-	-	-	-	-	-
А-706/2	7,5	0,6	0,85	0,62	-	4,5	2,79	5,3	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП 6	68	0,6	0,8	0,80	1,5	39,38	31,62	50,50	12	1,4	1,1	53,7	34,8	64,0	92,3
РП 7															
А-707а1/1	1,5	0,17	0,85	0,62	-	0,26	0,16	0,3	-	-	-	-	-	-	-
А-707а2/1	1,5	0,17	0,87	0,57	-	0,26	0,15	0,29	-	-	-	-	-	-	-
А-709а1/1	37	0,17	0,85	0,62	-	6,29	3,9	7,4	-	-	-	-	-	-	-
А-709а2/1	15	0,17	0,85	0,62	-	2,55	1,58	3	-	-	-	-	-	-	-
А-707б1/1	1,5	0,17	0,85	0,62	-	0,26	0,16	0,3	-	-	-	-	-	-	-
А-707б2/1	1,5	0,17	0,87	0,57	-	0,26	0,15	0,29	-	-	-	-	-	-	-
А-709б1/1	37	0,17	0,85	0,62	-	6,29	3,9	7,4	-	-	-	-	-	-	-
А-709б2/1	15	0,17	0,85	0,62	-	2,55	1,58	3	-	-	-	-	-	-	-
А-707в1/1	1,5	0,17	0,85	0,62	-	0,26	0,16	0,3	-	-	-	-	-	-	-
А-707в2/1	1,5	0,17	0,87	0,57	-	0,26	0,15	0,29	-	-	-	-	-	-	-
А-709в1/1	37	0,17	0,85	0,62	-	6,29	3,9	7,4	-	-	-	-	-	-	-
А-709в2/1	15	0,17	0,87	0,57	-	2,55	1,58	3	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП 7	165	0,2	0,9	0,62	24,7	28,08	17,37	33,02	9	2,1	1,1	59,2	19,1	62,2	89,8
РП 8															
А-710/1	3	0,5	0,84	0,65	-	1,5	0,98	1,79	-	-	-	-	-	-	-
А-712/1	5,5	0,5	0,86	0,59	-	2,75	1,62	3,19	-	-	-	-	-	-	-
А-713/1	1,5	0,5	0,87	0,57	-	0,75	0,43	0,86	-	-	-	-	-	-	-
А-714/1	0,9	0,5	0,87	0,57	-	0,45	0,26	0,52	-	-	-	-	-	-	-
А-715/1	0,9	0,5	0,87	0,57	-	0,45	0,26	0,52	-	-	-	-	-	-	-
Всего на РП 8	11,8	0,5	0,9	0,60	6,1	5,9	3,55	6,89	4	1,7	1,1	10,2	3,9	10,9	15,7
ЩО2															
ЩО2	2,82	1	0,95	0,33	-	2,82	0,93	2,97	-	-	-	0,84	0,28	0,89	1,3
ЩАО	0,72	1	0,95	0,33	-	0,72	0,24	0,76	-	-	-	0,72	0,24	0,76	1,1

Продолжение таблицы 9

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная					Нагрузка за смену			Нагрузка максимальная						
	P_n , кВт	κ_n	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	m	P_{cm} , кВт	Q_{cm} , квар	S_{cm} , кВА	n_ε	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА	I_M , А
Всего на секции 2	612,44	0,5	0,8	0,74	177,8	329,52	243,14	409,51	6	1,6	1,1	522,1	267,5	586,6	846,7
Всего без КРМ	-	-	-	-	-	656,53	485,45	816,51	-	-	-	891,21	485,45	1014,85	1464,81
КРМ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-150	-	-
Всего с КРМ	612,44	0,5	0,94	0,33	177,8	329,52	243,14	409,51	6	1,6	1,1	891,21	335,45	952,25	1345,59

Таблица 10 – Таблица нагрузок электроприемников 6 кВ

Наименование РУ и электроприемников	Нагрузка установленная					Нагрузка за смену			Нагрузка максимальная						
	P_n , кВт	κ_n	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	m	P_{cm} , кВт	Q_{cm} , квар	S_{cm} , кВА	n_ε	K_M	K'_M	P_M , кВт	Q_M , квар	S_M , кВА	I_M , А
1 Линия 6 кВ															
А-703/1	500	1	0,88	0,54	-	500	270	568,24	-	-	-	500	270	568,24	54,68
2 Линия 6 кВ															
А-703/2	500	1	0,88	0,54	-	500	270	568,24	-	-	-	500	270	568,24	54,68

Вывод по разделу: в ходе проведения расчета нагрузок, расчета осветительных установок и расчета компенсирующего устройства составлена сводная таблица нагрузок. Расчёт проведён методом коэффициента максимума, позволяющим определить величину расчётной мощности за наиболее загруженную смену. При расчёте учитывается распределение мощности между силовыми распределительными пунктами. В цеху установлено 8 распределительных пунктов. Величина нагрузки по РП находится в пределах от 64 кВА (РП6) до 10,9 кВА (РП4 и РП8).

В результате компенсации реактивной мощности выбраны две конденсаторные батареи по 75 квар каждая. Величина коэффициента мощности ($\cos\varphi$) после компенсации составила 0,94, что находится в пределах рекомендуемых ПУЭ.

Также данные, указанные в таблице позволяют в дальнейшем провести выбор питающих кабелей, аппаратов защиты.

3 Выбор питающих кабелей электроприемников

«Согласно ПУЭ пункт 7.4.36 в пожароопасных зонах любого класса кабели и провода должны иметь покров и оболочку из материалов, не распространяющих горение. Применение кабелей с горючей полиэтиленовой изоляцией не допускается. Наиболее часто в пожаронебезопасных зонах рекомендуют прокладывать кабели, маркированные специальными префиксами «нг». Их наличие указывает на то, что изоляционное покрытие данных изделий выполнено из негорючих ПВХ или ПЭТ композиций, а также отличается сниженным уровнем газо-, дымовыделения и огнестойкостью, т.е. позволяет функционировать даже при воздействии открытого пламени в течение 3-х часов. Кроме изоляции, аналогичными свойствами могут обладать и другие компоненты провода, такие как внутренние разделяющие слои и наружная оболочка» [13].

Монтаж кабелей с маркерами «нг» допускается на открытом пространстве и внутри тоннелей или помещений, как одиночно, так и группами. Сфера использования данной группы проводов не ограничивается подведением электропитания. Негорючие и огнестойкие кабельные изделия широко применяются в системах ОПС, оповещения, эвакуации и передачи критически важных данных [21].

С учетом этого для каждого электроприемника кабель марки ВВГнг [7]. Выбор производится по величине номинального тока электроприемника рассчитываемого по формуле (26).

$$I_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot \cos\varphi} \quad (26)$$

После выбора питающих кабелей производится их проверка по падению напряжения по формуле (27).

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_n \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi) \quad (27)$$

Выбранные кабели и их параметры сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Выбранные кабели

Наименование электрооборудования	Рн, кВт	cosφ	Ин.прием, А	Кабель	Идл.раб, А	ΔU, %
А-700а/1	4	0,84	7,24	ВВГнг-4×1,5	16	1,8
А-700б/1	7,5	0,73	15,61	ВВГнг-4×1,5	16	2,2
А-700в/1	7,5	0,73	15,61	ВВГнг-4×1,5	16	2,2
А-703а/1	18,5	0,84	33,46	ВВГнг-4×6	40	1,6
А-703б/1	2,2	0,83	4,03	ВВГнг-4×1,5	16	1,5
РП1	44,1	0,8	70,9	ВВГнг-4×16	81	1,4
А-704/1	10	0,87	17,46	ВВГнг-4×2,5	25	2,6
А-704а/1	11	0,73	22,89	ВВГнг-4×4	30	2,4
А-705/1	10	0,87	17,46	ВВГнг-4×2,5	25	2,1
П-704/1	11	0,84	19,9	ВВГнг-4×2,5	25	2,4
В-704/1	11	0,87	19,21	ВВГнг-4×2,5	25	2,4
П-705/1	7,5	0,73	15,61	ВВГнг-4×1,5	16	2,4
А-706/1	7,5	0,85	13,41	ВВГнг-4×1,5	16	2,4
РП2	68	0,8	92,3	ВВГнг-4×25	107	1,3
А-707а1/1	1,5	0,85	2,68	ВВГнг-4×1,5	16	1,2
А-707а2/1	1,5	0,87	2,62	ВВГнг-4×1,5	16	1,2
А-709а1/1	37	0,85	66,14	ВВГнг-4×16	81	1,5
А-709а2/1	15	0,85	26,81	ВВГнг-4×4	30	1,6
А-707б1/1	1,5	0,85	2,68	ВВГнг-4×1,5	16	1,2
А-707б2/1	1,5	0,87	2,62	ВВГнг-4×1,5	16	1,2
А-709б1/1	37	0,85	66,14	ВВГнг-4×16	81	1,5
А-709б2/1	15	0,85	26,81	ВВГнг-4×4	30	1,7
А-707в1/1	1,5	0,85	2,68	ВВГнг-4×1,5	16	1,2
А-707в2/1	1,5	0,87	2,62	ВВГнг-4×1,5	16	1,2
А-709в1/1	37	0,85	66,14	ВВГнг-4×16	81	1,5
А-709в2/1	15	0,87	26,2	ВВГнг-4×4	30	1,3
РП3	165	0,9	89,8	ВВГнг-4×25	107	1,1
А-710/1	3	0,84	5,43	ВВГнг-4×1,5	16	2,6
А-712/1	5,5	0,86	9,72	ВВГнг-4×1,5	16	2,7
А-713/1	1,5	0,87	2,62	ВВГнг-4×1,5	16	2,6
А-714/1	0,9	0,87	1,57	ВВГнг-4×1,5	16	2,5
А-715/1	0,9	0,87	1,57	ВВГнг-4×1,5	16	2,5
РП4	11,8	0,9	15,7	ВВГнг-4×1,5	16	2,4
А-700а/2	4	0,84	7,24	ВВГнг-4×1,5	16	2,0
А-700б/2	7,5	0,73	15,61	ВВГнг-4×1,5	16	2,4
А-700в/2	7,5	0,73	15,61	ВВГнг-4×1,5	16	2,4
А-703а/2	18,5	0,84	33,46	ВВГнг-4×6	40	1,8
А-703б/2	2,2	0,83	4,03	ВВГнг-4×1,5	16	1,8
РП5	44,1	0,8	70,9	ВВГнг-4×16	81	1,6

Продолжение таблицы 11

Наименование электрооборудования	Рн, кВт	cosφ	Ин.прием, А	Кабель	Идл.раб, А	ΔU, %
А-704/2	10	0,87	17,46	ВВГнг-4×2,5	25	2,8
А-704а/2	11	0,73	22,89	ВВГнг-4×4	30	2,6
А-705/2	10	0,87	17,46	ВВГнг-4×2,5	25	2,3
П-704/2	11	0,84	19,9	ВВГнг-4×2,5	25	2,6
В-704/2	11	0,87	19,21	ВВГнг-4×2,5	25	2,6
П-705/2	7,5	0,73	15,61	ВВГнг-4×1,5	16	2,6
А-706/2	7,5	0,85	13,41	ВВГнг-4×1,5	16	2,6
РП6	68	0,8	92,3	ВВГнг-4×25	107	1,5
А-707а1/2	1,5	0,85	2,68	ВВГнг-4×1,5	16	1,4
А-707а2/2	1,5	0,87	2,62	ВВГнг-4×1,5	16	1,4
А-709а1/2	37	0,85	66,14	ВВГнг-4×16	81	1,7
А-709а2/2	15	0,85	26,81	ВВГнг-4×4	30	1,8
А-707б1/2	1,5	0,85	2,68	ВВГнг-4×1,5	16	1,4
А-707б2/2	1,5	0,87	2,62	ВВГнг-4×1,5	16	1,4
А-709б1/2	37	0,85	66,14	ВВГнг-4×16	81	1,7
А-709б2/2	15	0,85	26,81	ВВГнг-4×4	30	1,9
А-707в1/2	1,5	0,85	2,68	ВВГнг-4×1,5	16	1,4
А-707в2/2	1,5	0,87	2,62	ВВГнг-4×1,5	16	1,4
А-709в1/2	37	0,85	66,14	ВВГнг-4×16	81	1,4
А-709в2/2	15	0,87	26,2	ВВГнг-4×4	30	1,5
РП7	165	0,9	89,8	ВВГнг-4×25	107	1,5
А-710/2	3	0,84	5,43	ВВГнг-4×1,5	16	2,8
А-712/2	5,5	0,86	9,72	ВВГнг-4×1,5	16	2,9
А-713/2	1,5	0,87	2,62	ВВГнг-4×1,5	16	2,8
А-714/2	0,9	0,87	1,57	ВВГнг-4×1,5	16	2,7
А-715/2	0,9	0,87	1,57	ВВГнг-4×1,5	16	2,7
РП8	11,8	0,9	15,7	ВВГнг-4×1,5	16	2,6

Вывод по разделу: произведен расчет и составлена таблица питающих кабелей для каждого электроприемника и распределительного пункта.

4 Выбор аппаратов защиты

Для защиты электроприемников чаще всего выбирают автоматические выключатели. Для выбора необходимо учитывать следующие требования:

- соответствие номинального тока и напряжения автоматического выключателя расчетным;
- автоматические выключатели выбираются таким образом, чтобы обеспечить селективность на защищаемом участке;
- автоматический выключатель должен срабатывать максимально быстро [17], [18].

Используя данные из 3 пункта выбрали автоматические выключатели [9]. Все выключатели сведены в таблицу 12.

Таблицу 12 – Выбранные автоматические выключатели

Наименование электрооборудования	Рн	Ин.прием	Выключатель	Ином
А-700а/1	4 кВт	7,24 А	ВА47-100	10 А
А-700б/1	7,5 кВт	15,61 А	ВА47-100	16 А
А-700в/1	7,5 кВт	15,61 А	ВА47-100	16 А
А-703а/1	18,5 кВт	33,46 А	ВА47-100	35 А
А-703б/1	2,2 кВт	4,03 А	ВА47-100	5 А
РП1	44,1 кВт	70,9 А	ВА47-100	80 А
А-704/1	10 кВт	17,46 А	ВА47-100	25 А
А-704а/1	11 кВт	22,89 А	ВА47-100	25 А
А-705/1	10 кВт	17,46 А	ВА47-100	25 А
П-704/1	11 кВт	19,9 А	ВА47-100	25 А
В-704/1	11 кВт	19,21 А	ВА47-100	25 А
П-705/1	7,5 кВт	15,61 А	ВА47-100	16 А
А-706/1	7,5 кВт	13,41 А	ВА47-100	16 А
РП2	68 кВт	92,3 А	ВА47-100	100 А
А-707а1/1	1,5 кВт	2,68 А	ВА47-100	5 А
А-707а2/1	1,5 кВт	2,62 А	ВА47-100	5 А
А-709а1/1	37 кВт	66,14 А	ВА47-100	80 А
А-709а2/1	15 кВт	26,81 А	ВА47-100	32 А
А-707б1/1	1,5 кВт	2,68 А	ВА47-100	5 А
А-707б2/1	1,5 кВт	2,62 А	ВА47-100	5 А
А-709б1/1	37 кВт	66,14 А	ВА47-100	80 А
А-709б2/1	15 кВт	26,81 А	ВА47-100	32 А
А-707в1/1	1,5 кВт	2,68 А	ВА47-100	5 А
А-707в2/1	1,5 кВт	2,62 А	ВА47-100	5 А
А-709в1/1	37 кВт	66,14 А	ВА47-100	80 А

Продолжение таблицы 12

Наименование электрооборудования	Рн	Ин.прием	Выключатель	Ином
А-709в2/1	15 кВт	26,2 А	ВА47-100	32 А
РПЗ	165 кВт	89,8 А	ВА47-100	100 А
А-710/1	3 кВт	5,43 А	ВА47-100	6 А
А-712/1	5,5 кВт	9,72 А	ВА47-100	10 А
А-713/1	1,5 кВт	2,62 А	ВА47-100	5 А
А-714/1	0,9 кВт	1,57 А	ВА47-100	5 А
А-715/1	0,9 кВт	1,57 А	ВА47-100	5 А
РП4	11,8 кВт	15,7 А	ВА47-100	16 А
А-700а/1	4 кВт	7,24 А	ВА47-100	10 А
А-700б/1	7,5 кВт	15,61 А	ВА47-100	16 А
А-700в/1	7,5 кВт	15,61 А	ВА47-100	16 А
А-703а/1	18,5 кВт	33,46 А	ВА47-100	35 А
А-703б/1	2,2 кВт	4,03 А	ВА47-100	5 А
РП5	44,1 кВт	70,9 А	ВА47-100	80 А
А-704/2	10 кВт	17,46 А	ВА47-100	25 А
А-704а/2	11 кВт	22,89 А	ВА47-100	25 А
А-705/2	10 кВт	17,46 А	ВА47-100	25 А
П-704/2	11 кВт	19,9 А	ВА47-100	25 А
В-704/2	11 кВт	19,21 А	ВА47-100	25 А
П-705/2	7,5 кВт	15,61 А	ВА47-100	16 А
А-706/2	7,5 кВт	13,41 А	ВА47-100	16 А
РП6	68 кВт	92,3 А	ВА47-100	100 А
А-707а1/2	1,5 кВт	2,68 А	ВА47-100	5 А
А-707а2/2	1,5 кВт	2,62 А	ВА47-100	5 А
А-709а1/2	37 кВт	66,14 А	ВА47-100	80 А
А-709а2/2	15 кВт	26,81 А	ВА47-100	32 А
А-707б1/2	1,5 кВт	2,68 А	ВА47-100	5 А
А-707б2/2	1,5 кВт	2,62 А	ВА47-100	5 А
А-709б1/2	37 кВт	66,14 А	ВА47-100	80 А
А-709б2/2	15 кВт	26,2 А	ВА47-100	32 А
РП7	165 кВт	89,8 А	ВА47-100	100 А
А-710/2	3 кВт	5,43 А	ВА47-100	6 А
А-712/2	5,5 кВт	9,72 А	ВА47-100	10 А
А-713/2	1,5 кВт	2,62 А	ВА47-100	5 А
А-714/2	0,9 кВт	1,57 А	ВА47-100	5 А
А-715/2	0,9 кВт	1,57 А	ВА47-100	5 А
РП8	11,8 кВт	15,7 А	ВА47-100	16 А

Вывод по разделу: произведен расчет и выбор автоматических выключателей для каждого электроприемника и распределительного пункта.

5 Расчет и выбор трансформаторов с компенсирующими устройствами

Определим расчетную мощность трансформатора с учетом потерь по формуле (28).

$$S_p = 0,7 \cdot (S_{M(\text{ШНН})}) \quad (28)$$
$$S_p = 0,7 \cdot (1014,85) = 710,4 \text{ кВА}$$

Исходя из полученных результатов выбираем трансформатор ТСЗ 400/6/0,4 [8].

Рассчитаем коэффициент загрузки трансформатора по формуле (29).

$$K_3 = \frac{S_{(BH)}}{N_T \cdot S_T} \quad (29)$$
$$K_3 = \frac{710,4}{2 \cdot 400} = 0,89$$

Выбранный трансформатор загружен на 89%. Данный трансформатор не может быть использован, так как для первой категории надежности электроснабжения коэффициент загрузки трансформатора должен находиться в диапазоне 0,5-0,7 в следствии этого требуется выбрать трансформатор, мощность которого на одну ступень выше. Принимаем к установке трансформатор ТСЗ 630/6/0,4 [8].

Рассчитаем коэффициент загрузки трансформатора по формуле (30).

$$K_3 = \frac{S_{(BH)}}{N_T \cdot S_T} \quad (30)$$
$$K_3 = \frac{710,4}{2 \cdot 630} = 0,56$$

Характеристики трансформатора сведены в таблицу 13

Таблица 13 – Характеристики трансформатора

Тип	S_n , кВА	U_n , кВ		u_k , %	Потери, кВт		i_{xx} , %
		ВН	НН		P_{xx}	$P_{кз}$	
ТСЗ 630/6/0,4	630	6 или 10	0,4	6	1,45	6,4	1,6

Вывод по разделу: произведен выбор трансформатора с учетом компенсирующего устройства. Компенсирующие устройства выбраны в разделе 2.3.

В ходе проведения расчета первоначальный вариант трансформатора на 400 кВА не удовлетворял требованиям в связи с чем к установке были приняты 2 трансформатора ТСЗ 630/6/0,4, технические характеристики трансформатора занесены в таблицу 13.

Выбранный трансформатор загружен на 56% и может быть использован так как соответствует условию согласно которому трансформаторы для питания сети 1 категории надежности электроснабжения должны быть загружены на 50-70 %, поскольку в случае выхода из строя одного трансформатора второй должен взять на себя нагрузку первого.

6 Выбор электрооборудования 6 и 0,4 кВ

Выбор оборудования для РУ один из важнейших аспектов проектирования электроснабжения цеха[19]. Прежде всего необходимо выбрать оборудование на 6 кВ, для этого были выбраны камеры серии КСО-366 [10].

Данная серия камер изготавливаются на номинальное напряжение 6 и 10 кВ и предназначены установки в распределительных устройствах трехфазного переменного тока частоты 50 Гц. Также могут быть установлены в распределительных устройствах трансформаторных подстанций, включая комплектные трансформаторные подстанции на промышленных, сельскохозяйственных, железнодорожных и транспортных объектах.

Выбор оборудования для установки в данный тип камер производится по следующей методике.

6.1 Выбор высоковольтных выключателей

Данный тип коммутационного оборудование необходимо выбирать по номинальному напряжению, номинальному току, отключающей способности и должны проверяться на термическую и динамическую устойчивость.

Трехфазное короткое замыкание в точке К4 имеет следующие значения: $I_{п,о} = 9,98$ кА и $i_{уд} = 25,42$ кА. Произведем выбор и проверку выключателя, устанавливаемого на стороне высокого напряжения 6 кВ силового трансформатора мощностью 630 кВА.

Выбираем выключатель типа ВВ/TEL-10-20/1000 У2.

В таблице 14 приведены технические характеристики выбранного ВВ выключателя

Таблица 14 – Характеристики выключателя ВВ/TEL-10-20/1000 У2

Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	1000
Номинальный ток отключения, кА	20
Электродинамическая стойкость (кА)	51
Ток термической стойкости, кА	20
Собственное время отключения, мс	15
Полное время отключения, мс	25

Произведем проверку выключателя по следующим условиям:

Номинальное напряжение по формуле (31).

$$U_{\text{НОМ}} \leq U_{\text{сет.НОМ}}, \quad (31)$$

$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ.}$$

Номинальный длительный (рабочему) ток по формулам (32)-(35).

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{НОМ}}, \quad (32)$$

$$60,62 \text{ А} \leq 1000 \text{ А.}$$

$$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{НОМ}} \quad (33)$$

$$84,87 \text{ А} \leq 1000 \text{ А,}$$

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{НОМТ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,62 \text{ А,} \quad (34)$$

$$I_{\text{max}} = 1.4 \cdot \frac{S_{\text{НОМТ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}} = 1.4 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 84,87 \text{ А} \quad (35)$$

Отключающей способности по формулам (36)-(43).

На симметричный ток отключения:

$$\begin{aligned} I_{п,\tau} &\leq I_{откл.ном} & (36) \\ I_{п,\tau} &= I_{п,о} = 9,98 \text{ кА}, \\ 9,98 \text{ кА} &\leq 20 \text{ кА}. \end{aligned}$$

На отключение аperiodической составляющей тока КЗ

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,ном} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{\beta_{норм}}{100} \right) I_{откл.ном}, \quad (37)$$

$$\tau = t_{рз} + t_{о.с}, \quad (38)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (39)$$

$$\tau = t_{рз} + t_{о.с}, \quad (40)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} \quad (41)$$

$$\tau = t_{рз} + t_{о.с} = 0,015 + 0,025 = 0,04 \text{ с}, \quad (42)$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{п,о} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}} = \sqrt{2} \cdot 9,98 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,03}} = 3,72 \text{ кА}, \quad (43)$$

$$i_{a,ном} = \left(\sqrt{2} \cdot \frac{51}{100} \right) 20 = 14,42 \text{ кА},$$

$$3,72 \text{ кА} \leq 14,42 \text{ кА}.$$

Условия $I_{п,\tau} \leq I_{откл.ном}$ и $i_{a,\tau} \leq i_{a,ном}$ соблюдаются, проверку по полному току короткого замыкания проводить не нужно.

По включающей способности по формулам (44)-(45).

$$I_{п,о} \leq I_{вкл.норм}, \quad (44)$$

$$9,98 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

$$i_{уд} \leq i_{вкл.норм}, \quad (45)$$

$$25,42 \text{ кА} \leq 52 \text{ кА}.$$

По предельному сквозному току короткого замыкания на электродинамическую стойкость по формулам (46)-(50):

$$I_{п,о} \leq I_{пр.с}, \quad (46)$$

$$9,98 \text{ кА} \leq 20 \text{ кА},$$

$$i_{уд} \leq i_{дин} = i_{пр.с}, \quad (47)$$

$$25,42 \text{ кА} \leq 52 \text{ кА}.$$

На термическую стойкость:

$$t_{отк} = t_{рз} + t_{пв.откл}, \quad (48)$$

$$t_{отк} = 0,015 + 0,025 = 0,04 \text{ с},$$

$$t_T = 3 \text{ с},$$

$$B_K = I_{п,о}^2 (t_{отк} + T_a) \quad (49)$$

$$B_K = (9,98 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,04 + 0,03) = 6,97 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с},$$

$$B_K = I_T^2 \cdot t_{отк}, \text{ при } t_{отк} < t_m \quad (50)$$

$$t_{отк} < t_T, \text{ следовательно } B_K = (20 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 24 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}.$$

6.2 Выбор трансформаторов тока

Измерительные трансформаторы тока (ТТ) предназначены для питания измерительных приборов путем преобразования больших значений токов в значения приемлемые для измерительных приборов и устройств релейной защиты (РЗ). Измерительные ТТ в первую очередь выбираются по номинальному напряжению и длительному рабочему току.

Произведем выбор и проверку трансформатора тока, устанавливаемого на стороне высшего напряжения 6 кВ. Силовой трансформатор рассчитан на мощность 630 кВА. К трансформатору тока подключается амперметр.

Выбираем трансформатор тока типа ТОЛ-10 с параметрами, приведенными в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики трансформатора тока ТОЛ-10

Номинальное напряжение, кВ	10
Первичный ток, А	100
Вторичный ток, А	5
Ток термической стойкости, кА	10
Электродинамическая стойкость (кА)	25,5

Произведем проверку трансформатора тока по следующим условиям:

Номинальное напряжение по формуле (51).

$$U_{\text{НОМ}} \leq U_{\text{сет.НОМ}} \quad (51)$$

$$110 \text{ кВ} \leq 110 \text{ кВ.}$$

Номинальный длительный (рабочий) ток по формулам (52)-(53).

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{НОМТ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}, \quad (52)$$

$$I_{\text{раб}} = \frac{63000}{\sqrt{3} \cdot 110} = 330,7 \text{ А,}$$

$$I_{\text{раб}} \leq I_{1\text{НОМ}}, \quad (53)$$

$$330,7 \text{ А} \leq 400 \text{ А.}$$

Трехфазное короткое замыкание в точке К4 имеет следующие значения:
 $I_{\text{п,о}} = 9,98 \text{ кА}$ и $i_{\text{уд}} = 25,42 \text{ кА}$.

Электродинамической стойкости по формуле (54):

$$i_{уд} \leq i_{дин}, \quad (54)$$
$$25,42 \leq 25,5 \text{ кА.}$$

6.3 Выбор разъединителей

Данный тип коммутационного аппарата также как и высоковольтный выключатель должен выбираться по номинальному току, номинальному напряжению, и также должен пройти проверку на термическую и электродинамическую стойкость.

Произведем выбор и проверку разъединителя, устанавливаемого на стороне высокого напряжения 6 кВ силового трансформатора мощностью 630 кВА.

Выбираем разъединитель типа РВ-10/630, с параметрами, приведенными в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики разъединителя РВ-10/630

Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	630
Электродинамическая стойкость (кА)	40
Ток термической стойкости, кА	16

Произведем проверку разъединителя по следующим условиям:

Номинальное напряжение по формуле (55):

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном}, \quad (55)$$
$$6 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ.}$$

Номинальный длительный (рабочий) ток по формулам (56)-(57):

$$I_{\text{раб}} = \frac{S_{\text{НОМТ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}, \quad (56)$$

$$I_{\text{раб}} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,62 \text{ А},$$

$$I_{\text{раб}} \leq I_{\text{НОМ}}, \quad (57)$$

$$60,62 \text{ А} \leq 630 \text{ А}.$$

Трехфазное короткое замыкание в точке К1 имеет следующие значения:

$$I_{\text{п,о}} = 9,98 \text{ кА} \text{ и } i_{\text{уд}} = 25,42 \text{ кА}.$$

Электродинамической стойкости по формуле (58):

$$i_{\text{уд}} \leq i_{\text{дин}} = i_{\text{пр.с}}, \quad (58)$$

$$25,42 \text{ кА} \leq 40 \text{ кА}.$$

Термической стойкости по формулам (59)-(61).

$$W_{\text{к}} \leq I_{\text{Т}}^2 \cdot t_{\text{Т}} \quad (59)$$

$$8,9 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с} \leq 15,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$$

$$W_{\text{к}} = I_{\text{п,о}}^2 (t_{\text{откл}} + T_{\text{а}}) = (9,98 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,06 + 0,03) = \quad (60)$$

$$= 8,9 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с}$$

$$I_{\text{Т}}^2 \cdot t_{\text{откл}} = (16 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 15,4 \cdot 10^6 \text{ А}^2\text{с} \quad (61)$$

Для напряжения 0,4 кВ были выбраны панели щитов серии ЩО-70 и аналогичным образом проведен выбор и проверка оборудования. Список оборудования распределенного по ячейкам РУ 6/0,4 кВ приведены в таблицах 17-18.

Таблица 17 – Оборудование ячеек РУ 6 кВ

1 Секция				
Ячейка	Оборудование			
	Выключатель	Разъединитель	ТТ	ИТН
Ввод	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	РВ-10/630	ТОЛ-10	-
Отходящая	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	-	ТОЛ-10	-
Отходящая	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	РВ-10/630	ТОЛ-10	-
ИТН	-	-	-	НАМИ 3х3Н
СВ	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	-	-	-
2 Секция				
Ячейка	Оборудование			
	Выключатель	Разъединитель	ТТ	ИТН
Ввод	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	РВ-10/630	ТОЛ-10	-
Отходящая	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	-	ТОЛ-10	-
Отходящая	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	РВ-10/630	ТОЛ-10	-
ИТН	-	-	-	НАМИ 3х3Н
СР	ВВ/TEL-10-20/1000 У2	-	-	-

Таблица 18 – Оборудование ячеек РУ 4 кВ

1 Секция		
Ячейка	Оборудование	
	Выключатель	ТТ
Ввод	ВА88-43 ЗР 1000А	ТТ-1000/5
Отходящая	ВА88-37 ЗР 400А	ТТ-400/5
Отходящая	ВА88-37 ЗР 400А	ТТ-400/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-100/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-100/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-100/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-25/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-25/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-25/5
2 Секция		
Ячейка	Оборудование	
	Выключатель	ТТ
Ввод	ВА88-43 ЗР 1000А	ТТ-1000/5
Отходящая	ВА88-37 ЗР 400А	ТТ-400/5
Отходящая	ВА88-37 ЗР 400А	ТТ-400/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-100/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-100/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-100/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-25/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-25/5
Отходящая	ВА47-100	ТТ-25/5

Вывод по разделу: Выбранное оборудование прошло проверку.

7 Расчет токов КЗ

«В сетях до 1 кВ возможны все виды коротких замыканий (КЗ), так как силовые трансформаторы данного класса напряжения имеют глухозаземленные нейтрали. Обычно в сетях ниже 1 кВ приняты в качестве расчетных трехфазные, двухфазные и однофазные КЗ.

Рассчитать токи короткого замыкания (КЗ) – это значит:

- по расчетной схеме составить схему замещения, выбрать точки КЗ;
- рассчитать сопротивления;
- определить в каждой выбранной точке трехфазные, двухфазные и однофазные токи КЗ, заполнить сводную ведомость токов КЗ.

Схема замещения представляет собой вариант расчетной схемы, в которой все элементы заменены сопротивлениями, а магнитные связи электрическими. Точки КЗ выбираются на ступенях распределения и на конечном электроприемнике» [2]. Результаты расчетов занесены в таблицу 7.1

«Для определения токов КЗ используются следующие соотношения:

Для определения трехфазного КЗ по формуле (62).

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{к.л}}{\sqrt{3} \cdot Z_K}, \quad (62)$$

где $U_{к.л}$ – линейное напряжение в точке КЗ, кВ;

Z_K – полное сопротивление до точки КЗ, Ом;

Для определения двухфазного КЗ по формуле (63).

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)} = 0,87 \cdot I_K^{(3)}; \quad (63)$$

Для определения однофазного КЗ по формуле (64).

$$I_{\text{к}}^{(1)} = \frac{U_{\text{к.ф}}}{Z_{\text{п}} + \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3}}, \quad (64)$$

где $U_{\text{к.ф}}$ – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;

$Z_{\text{п}}$ – полное сопротивление петли «фаза-нуль» до точки КЗ, Ом;

$Z_{\text{т}}^{(1)}$ – полное сопротивление трансформатора однофазному КЗ, Ом;

Для определения ударного тока КЗ по формуле (65).

$$i_{\text{у}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{у}} \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (65)$$

где $K_{\text{у}}$ – ударные коэффициент.

При расчетах можно использовать следующие значения $K_{\text{у}}$:

– $K_{\text{у}} = 1,2$ при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью до 400 кВА;

– $K_{\text{у}} = 1$ при КЗ в более удаленных точках;

– $K_{\text{у}} = 1,8$ при КЗ в сетях высокого напряжения (ВН), где активное сопротивление не оказывает существенного влияния.

Действующего значения ударного тока по формуле (66).

$$I_{\text{у}} = q \cdot I_{\text{к}}^{(3)}, \quad (66)$$

где q – коэффициент действующего значения ударного тока.

Коэффициент действующего значения ударного тока определяется по формуле (67).

$$q = \sqrt{1 + 2 \cdot (K_y - 1)^2}. \quad (67)$$

Сопротивления схем замещения определяются следующим образом:

Для силовых трансформатором расчетным путем по формулам (68)-(70).

$$R_T = \Delta P_K \cdot \left(\frac{U_{HH}}{S_T} \right)^2 \cdot 10^6, \quad (68)$$

$$Z_T = u_K \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_T} \cdot 10^4, \quad (69)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}, \quad (70)$$

где ΔP_K – потери мощности КЗ трансформатора, кВт;

u_K – напряжение КЗ трансформатора, %;

U_{HH} – линейное напряжение обмотки низкого напряжения (НН), кВ;

S_T – полная мощность трансформатора, кВА.

Для шинпроводов, а также кабельных и воздушных линий определяется по формулам (71)-(72).

$$R_L = r_0 \cdot L_L, \quad (71)$$

$$X_L = x_0 \cdot L_L, \quad (72)$$

где r_0 и x_0 – удельное активное и индуктивное сопротивления соответственно, мОм/м;

L_L – протяженность линии, м.

Удельные активные сопротивления для расчета трехфазных и двухфазных токов КЗ определяются расчетным путем по формуле (73).

$$r_0 = \frac{10^3}{\gamma \cdot S}, \quad (73)$$

где γ – удельная проводимость материала, м/(Ом · мм²);

S – сечение проводника, мм².

Удельная проводимость материала принимается:

– для алюминия $\gamma = 30$ м/(Ом · мм²),

– для меди $\gamma = 50$ м/(Ом · мм²),

– для стали $\gamma = 10$ м/(Ом · мм²).

Удельные реактивные сопротивления принимаются:

– для воздушных линий $x_0 = 0,4$ мОм/м,

– для кабельных линий $x_0 = 0,06$ мОм/м,

– для проводов линий $x_0 = 0,09$ мОм/м,

– для шинпроводов $x_0 = 0,15$ мОм/м.

При расчете однофазных токов КЗ значение удельных индуктивных сопротивлений петли «фаза-нуль» принимается равным:

– для КЛ и проводов в трубах $x_{0п} = 0,15$ мОм/м,

– для ВЛ $x_{0п} = 0,6$ мОм/м,

– для изолированных проводов $x_{0п} = 0,4$ мОм/м при открытом способе прокладки,

– для шинпроводов $x_{0п} = 0,2$ мОм/м.

Удельное активное сопротивление петли «фаза-нуль» определяется для любых линий по формуле (74).

$$r_{0п} = 2 \cdot r_0. \quad (74)$$

Сопротивления элементов на высокого напряжения (ВН) приводятся к НН по формулам (75)-(76).

$$R_{НН} = R_{ВН} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2, \quad (75)$$

$$X_{НН} = X_{ВН} \cdot \left(\frac{U_{НН}}{U_{ВН}} \right)^2, \quad (76)$$

где $R_{НН}$ и $X_{НН}$ – активные и реактивные сопротивления соответственно, приведенные к НН, мОм;

$R_{ВН}$ и $X_{ВН}$ – активные и реактивные сопротивления на ВН, мОм;

$U_{НН}$ и $U_{ВН}$ – напряжение на НН и ВН трансформатора соответственно, кВ» [2].

Расчитанные по данной методике токи КЗ занесены в таблицу 19.

Таблица 19 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$I_{К}^{(3)}$, кА	$I_{К(\infty)}^{(3)}$, кА	$i_{y(к)}$, кА	$I_{К}^{(2)}$, кА	$I_{К}^{(1)}$, кА
К1	2,74	2,74	3,87	2,38	2,35
К2	1,37	1,37	1,93	1,19	1,19
К3	14,34	14,34	24,34	12,48	23,08
К4	9,98	9,98	25,42	8,69	-

Вывод по разделу: Произведен расчет и составлена таблица токов короткого замыкания. Расчеты проводились для 4 точек:

- К1 точка короткого замыкания на конце линии самого мощного электроприемника;

- К2 точка короткого замыкания на конце линии самого удаленного электроприемника;
- К3 точка короткого замыкания секции шин низкого напряжения РУ;
- К4 точка короткого замыкания на стороне высокого напряжения трансформатора.

Наиболее опасным в схеме электроснабжения является однофазное короткое замыкание в точке К3, а наибольший ударный ток в точке К4.

Полученные в ходе расчета токи (КЗ) необходимы для выбора аппаратуры и проверки элементов электроустановок (шин, изоляторов, кабелей и т. д.) на электродинамическую и термическую устойчивость, а также уставок срабатывания защит и проверки их на чувствительность срабатывания.

8 Расчет контура заземления

Для того чтобы обезопасить людей работающих в электроустановках до 1 кВ необходимо соорудить заземляющее устройство для заземления металлических частей электрооборудования. Для сооружения заземляющего устройства применяю стальные трубы, металлическую полосу, стержень или уголок. Для достижения необходимого значения сопротивления контура используется совокупность нескольких труб, стержней или уголков забитых в землю на расстоянии не менее 2 метров друг от друга.

Расчет контура заземления позволяет определить необходимое количество вертикальных и горизонтальных заземлителей для обеспечения нормируемого значений сопротивления в соответствии требованиям ПУЭ глава 1.7. Данный расчет ведется по следующей методике

«Сопротивление растеканию тока, через одиночный заземлитель диаметром 25...30 мм рассчитаем по формуле (77).

$$R_{\text{тр}} = 0,9 \cdot \left(\frac{\rho}{L_{\text{тр}}} \right) \quad (77)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта;

$L_{\text{тр}}$ – длина трубы, 1,5...4м. Принимаем $L_{\text{тр}} = 3$ м

$$R_{\text{тр}} = 0,9 \cdot \left(\frac{400}{3} \right) = 120 \text{ Ом}$$

Определяем примерное число заземлителей без учёта коэффициента экранирования по формуле (78).

$$n = \frac{R_{\text{тр}}}{r} \quad (78)$$

где r – допустимое сопротивление заземляющего устройства, 4 Ом.

$$n = \frac{120}{4} = 30$$

Определяем коэффициент экранирования заземлителей:

- Расстояние между трубами 2,5...3м – принимаем 3 м;
- Длина труб – 3 м;
- Отношение расстояния к длине – 1;
- Число труб – 30 (шт).

Число вертикальных заземлителей с учётом коэффициента экранирования определяем по формуле (79).

$$n_1 = \frac{n}{\eta_{\text{тр}}} \quad (79)$$

$$n_1 = \frac{30}{0,38} = 79$$

Длину соединительной полосы определяем по формуле (80).

$$L_n = n_1 \cdot a \quad (80)$$

$$L_n = 79 \cdot 3 = 237$$

где: а – расстояние между заземлителями.

Периметр цеха 216 м, расчетная длина соединительной полосы не менее периметра цеха.

Сопrotивление растеканию электрического тока через соединительную полосу Ом, определяем по формуле (81):

$$R_p = 2,1 \cdot \left(\frac{\rho}{L_{\text{п}}} \right) \quad (81)$$

$$R_p = 2,1 \cdot \left(\frac{400}{237} \right) = 3,55$$

Результирующее сопротивление растеканию тока всего заземляющего устройства, Ом определяем по формуле (82).» [14].

$$R_p = \frac{R_{тр} \cdot R_p}{\eta_{п} \cdot R_{тр} + \eta_{тр} \cdot R_p \cdot n_1} \quad (82)$$
$$R_p = \frac{120 \cdot 3,55}{0,21 \cdot 120 + 0,38 \cdot 3,55 \cdot 79} = 3,3$$

Вывод по разделу: Для обеспечения безопасности персонала от поражения электрическим током рассчитан контур защитного заземления насчитывающий 79 вертикальных заземлителей и стальная полоса по 3 м для соединения вертикальных заземлителей, сопротивление рассчитанного контура не превышает нормируемое значение 4 Ом. Следовательно полученные результаты соответствует норме и заземлители установлены правильно.

Заключение

В ходе выполнения ВКР произведен расчет электрических нагрузок цеха концентрации, отжима и сушки каучука. Данный расчет ввелся методом коэффициента максимума. Вся нагрузка была распределена на 2 секции шин на каждую производственную линию. С учетом выбранного компенсирующего устройства максимальная активная мощность равна 891,21 кВт, максимальная реактивная мощность равна 335,45 кВАр и максимальная полная мощность электроприемников равна 952,25 кВА.

Произведен расчет и выбор осветительных установок для рабочего и аварийного освещения цеха. В качестве осветительного оборудования были выбраны светодиодные светильники UNIEL ULT-V16-60W/DW в количестве 113 штук, поскольку данные светильники имеют оптимальные параметры и приемлемую цену среди аналогов.

Далее произведен расчет и выбор компенсирующего устройства для повышения коэффициента мощности, к установке были приняты 2 компенсирующих установки марки УКРМ-0,4-75-10 УЗ мощностью 75 кВАр каждая. До компенсации реактивной мощности коэффициент мощности был 0,8, после компенсации стал равен 0,94. Был рассчитан и выбран трансформатор с учетом компенсирующего устройства по первоначальным расчетам выбранный трансформатор ТСЗ-400/6/0,4 не удовлетворял условию перегрузки вследствие чего было принято решение увеличить мощность и таким образом был выбран трансформатор ТСЗ-630/6/0,4.

Произведен расчет и выбор питающих кабелей марки ВВГнг поскольку по взрывопожарной и пожарной опасности цех причислен к классу П-2а, для защиты оборудования выбраны автоматические выключатели серии ВА47-100 и ВА88 и произведен расчет и выбор оборудования установленного в РУ 6 и 0,4 кВ, полный перечень всего оборудования представлен в таблицах 17-18. Для проверки электрооборудования произведен расчет токов короткого замыкания, данные представлены в таблице 19, Наиболее опасным в схеме

электроснабжения является однофазное короткое замыкание в точке К3 (на секции шин низкого напряжения РУ), значение тока в этой точке равно 23,08 кА, а наибольший ударный ток в точке К4 (на стороне высокого напряжения трансформатора), значение тока в этой точке равно 25,42 кА.

Для обеспечения безопасности персонала от поражения электрическим током рассчитан контур защитного заземления насчитывающий 79 вертикальных заземлителей и стальная полоса по 3 м для соединения заземлителей, сопротивление рассчитанного контура не превышает нормируемое значение 4 Ом.

Проект выполнен в соответствии с полученным от заказчика задания и нормативно-технической документации. Прделанные расчеты позволили разработать надежную, рациональную и безопасную схему электроснабжения цеха концентрации, отжима и сушки каучука. Поставленные задачи были решены и цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Список используемой литературы

1. А.В. Кабышев: Электроснабжение объектов. Ч. 1. Расчет электрических нагрузок, нагрев проводников и электрооборудования: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. 155с.

2. А.В. Кабышев: Электроснабжение объектов. Ч. 2. Расчет токов короткого замыкания в электроустановках до 1000 В: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 168 с.

3. В.П. Шеховцев: Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: Учебное пособие. М.- Форум – Инфра-М, 2005. 213с.

4. ГОСТ 27389-87. Установки конденсаторные для компенсации реактивной мощности. М.: Издательство стандартов, 1987. 4 с.

5. ГОСТ ИЕС 60598-2-22-2012. Светильники. Часть 2-22. Частные требования. СВЕТИЛЬНИКИ ДЛЯ АВАРИЙНОГО ОСВЕЩЕНИЯ. М.: Стандартиформ, 2014. 16 с.

6. История развития «Тольяттикаучук»: [Электронный ресурс]: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Тольяттикаучук> (Дата обращения: 12.11.2021)

7. Каталог продукции КПС [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgng/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovyye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgng/) (Дата обращения 1.05.2022).

8. Каталог продукции СИБ-НЕО [Электронный ресурс] // Режим доступа <https://sib-neo.ru/produktsiya/transformatory-trjohfaznye/?etext=2202.-HkEBrUrsJiu34yYFJdyD4bBjWCKXXTyh1jCm5okcVVA9RFDJZ1bPqPyuE-JB3FUZ29qbWVmbW9lbWdma2J5Zw.68f3e462f9810c369a65a8fac78b3e2f23f4306e&yclid=2520332810255393115> (дата обращения 16.04.2022).

9. Каталог продукции ИЕК [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.iek.ru/> (Дата обращения 1.05.2022).

КАМЕРА КСО-366

10. КАМЕРА КСО-366: [Электронный ресурс]: URL: http://szvo.su/catalog_new/raspred/kso366/ (Дата обращения: 12.11.2021)
11. Официальный сайт «Тольяттикаучук»: [Электронный ресурс]. URL: <https://togliatti.tatneft.ru/> (Дата обращения: 12.11.2021)
12. Понятие местного и общего освещения: [Электронный ресурс]: URL: https://lightgid.ru/lighting/vidy_ (Дата обращения: 03.02.2022)
13. Правила устройства электроустановок. Минэнерго – М.: 7 издание, 2016. - 124 с.
14. Светильник UNIEL ULT-V16-60W/DW IP65 [Электронный ресурс]: URL: <https://uniel-shop.ru/products/ult-v16-60w-dw-ip65-silver> (Дата обращения: 05.04.2022)
15. СП 52.13330.2016 ЕСТЕСТВЕННОЕ И ИСКУССТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ. М.: Стандартинформ, 2017. 135 с.
16. Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яшков. Электроснабжение промышленных предприятий и установок : учебное пособие /— 3-е изд., перераб. и доп. — Москва. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. 367 с.
17. Mohamed A. Ibrahim. Protection & Control for Power System. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2016. 540 p
18. Electrical network protection devices [Electronic resource]: URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2096/1/012201/meta> (date of treatment: 20.04.2022)
19. High voltage equipment [Electronic resource]: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document> (date of treatment: 05.03.2022)
20. Reactive compensation [Electronic resource]: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061511002869> (date of treatment: 05.02.2022)
21. Supply cables for chemical plants [Electronic resource]: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/882759> (date of treatment: 08.04.2022)