

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 Электроснабжение производства технологического оборудования

Обучающийся

Г.А. Каштанов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

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

Тольятти 2022

## Аннотация

В бакалаврской работе рассмотрены вопросы проектирования системы электроснабжения производства технологического оборудования, рационального выбора электрооборудования и силовых трансформаторов, повышение надежности системы электроснабжения предприятия и вопросы экономии электрической энергии при эксплуатации системы.

В работе приводится краткая характеристика производства и выпускаемой на предприятии продукции.

Проведены расчёты по определению ожидаемых электрических нагрузок для цехов промышленного предприятия в которые входил механический цех и участок сборочного цеха. С использованием метода коэффициента использования светового потока определено количество устанавливаемых на производстве светильников, их тип и произведен расчёт потребляемой ими мощности. По итоговому значению расчётных нагрузок в которые входили мощность от силовых электроприемников и системы искусственного освещения были определены номинальные мощности силовых трансформаторов в комплектных трансформаторных подстанциях и их количество. Выбраны устройства компенсации реактивной мощности потребителей. Выбрана наиболее оптимальная схема для распределения электрической энергии на напряжении 0,4 кВ. Произведён предварительный выбор проводников по результатам которого определены значения токов короткого замыкания в расчетных точках, выбранные в работе коммутационные аппараты были проверены на стойкость к максимальному значению трёхфазного металлического тока короткого замыкания.

Работа состоит из текстовой части, которая оформлена в виде пояснительной записки на 58 листов А4, в записку входят 5 таблиц и 1 рисунок. Графическая часть представленной работы состоит из 6 листов А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика производственного объекта.....	6
2 Определение расчетных нагрузок по предприятию.....	12
3 Определение нагрузок системы внутреннего освещения цеха.....	21
4 Расчёт номинальной мощности цеховых трансформаторных подстанций .....	27
5 Предварительный выбор сечения проводников .....	38
6 Расчёт токов КЗ в сети 0,4 кВ.....	44
7 Расчет автоматических выключателей в КТП .....	51
Заключение .....	54
Список используемых источников.....	56

## Введение

Система электроснабжения промышленного предприятия является совокупностью электротехнических устройств, служащих для приёма, преобразования, передачи и потребления электрической энергии. Несмотря на это условно её можно разделить на три отдельные подсистемы, работающие в связке с остальными и выполняющие каждая свою определенную функцию:

«- подсистему внешнего электроснабжения к которой относятся линии от энергосистемы до ГПП промышленного предприятия, как правило номинальное напряжение этих линий составляет от 35 до 220 кВ;

- подсистему внутризаводского электроснабжения к которой относятся ГПП или ТЭЦ предприятия, сети напряжением 6 или 10 кВ от ГПП до высоковольтных распределительных пунктов или КТП;

- подсистему внутрицехового электроснабжения к которой относятся КТП, внутрицеховые сети 0,4 кВ, низковольтные распределительные пункты и шинопроводы» [1-3].

На любом промышленном предприятии используется широкий спектр разнообразных электроприемников, отличающихся по номинальному напряжению, роду тока, используемой частоте и различающихся режимом работы, что оказывает влияние на выбор схемы электроснабжения, необходимость разработки специальных мероприятий по компенсации помех и улучшению качества электрической энергии, а также разработки мероприятий по компенсации реактивной мощности [4].

«По величине напряжения различают ЭП напряжением до и выше 1 кВ. Электроприемники напряжением до 1 кВ выпускаются на напряжения 0,22; 0,38; 0,66 кВ. Электроприемники напряжением выше 1 кВ выпускаются на напряжения 6 и 10 кВ.

По числу фаз различают однофазные и трехфазные ЭП. В электрических сетях до 1 кВ широко применяются как однофазные, так и трехфазные ЭП.

Однофазные ЭП могут выполняться на фазное или линейное напряжение.

В электрических сетях среднего класса напряжения применяются в основном трехфазные ЭП. Однофазные ЭП выпускаются и подключаются на линейное напряжение.

По роду тока приемники электроэнергии делятся на следующие группы:

- ЭП переменного тока частотой 50 Гц;
- ЭП постоянного тока, получающие питание от преобразовательных подстанций и установок;
- ЭП переменного тока частотой отличной от 50 Гц, получающие питание от индивидуальных преобразователей частоты» [6].

Поскольку от функционирования системы электроснабжения зависит функционирование всего предприятия, а также жизнь и здоровье обслуживающего персонала, то к этой системе предъявляется ряд жестких требований: первым из которых и самым главным является обеспечение безопасности как для персонала обслуживающего саму систему электроснабжения, так и для сотрудников, занятых в основном технологическом процессе производства; вторым требованием является обеспечение заданных условий по надежности электроснабжения ответственных потребителей; в-третьих система должна передавать электрическую энергию с показателями, пороговые значения которых не ниже установленных в нормативном документе на качество электрической энергии; надёжное функционирование системы должно обеспечиваться при наименьших затратах на её первоначальное строительство и последующую эксплуатацию; функционирование системы электроснабжения не должно представлять опасности для окружающей среды [5, 6].

Целью данной бакалаврской работы является спроектировать систему электроснабжения производства технологического оборудования, удовлетворяющую заданным показателям надёжности при наименьших затратах на её сооружение и эксплуатацию.

## 1 Краткая характеристика производственного объекта

Предприятие выпускает различные виды технологического оборудования для пищевой промышленности.

«Технологическое оборудование для предприятия представляет собой агрегаты и устройства, которые выполняют часть технологического процесса производства продукции или полный цикл изготовления продукции.

Благодаря их наличию все процессы производства или основная их часть выполняется в автоматическом режиме, позволяя, при этом, сокращать использование рабочей силы, ускорить процесс изготовления и усовершенствовать технологию производства. Технологическое оборудование для предприятия классифицируется на основании таких показателей, как функции оборудования и отрасль его использования.

Предприятие выпускает следующие виды продукции:

Кондитерское оборудование, которое включает в себя:

- Планетарные миксеры.
- Машины для формирования мучных кондитерских изделий: отсадочные машины, экструдеры, вафельницы, тарталетницы, машины для формовки сухарных плит, машины для формирования бараночных изделий и др.
- Кремонаполнители.
- Глазировочные машины.
- Измельчители продуктов (пудромолки, измельчители шоколада, овощерезки).
- Заварочные машины.
- Кремоварки.
- Темперирующие машины.
- Машины для отливки мармелада.
- Дозаторы начинок.

- Машины для декорирования.
- Кондитерские формы, тележки, листы.
- Машины для расфасовки и упаковки.
- Охлаждающий туннель.

Оборудование для кондитерского производства может быть, как в виде отдельных автоматов, блоков, различных модульных систем, так и целыми линиями» [3].

На все оборудование, выпускаемое предприятием, предоставляется гарантия от 1 года до 5 лет. Реализовывая технологическое оборудование для предприятия, клиентам предоставляется не только услуга гарантийного обслуживания, но и возможность выполнения ремонта технологического оборудования любой сложности. Всегда в наличии на производстве имеется широкая номенклатура запасных деталей для выпускаемого оборудования, что позволяет обеспечить своевременный ремонт и дальнейшую бесперебойную работу агрегатов.

Производственный процесс изготовления той или иной продукции включает в себя несколько циклов, автоматизация которых, за счет использования технологического оборудования для предприятия, предоставляет потребителю следующие преимущества:

- «Увеличение объемов производства;
- Четкое разграничение количества ингредиентов и составляющих, и контроль их использования;
- Сокращение количества обслуживающего персонала;
- Получение высококачественного продукта;
- Товарный вид изделий» [4].

Питание электроприемников производственного цеха осуществляется от трансформаторной подстанции номер четыре, которая получает питание от главной поразительной подстанции предприятия по кабельной линии напряжением 10 кВ. Данная подстанция располагается на территории цеха. Большая часть электроприемников, которые получают от неё питания могут

быть отнесены ко второй категории по надежности электроснабжения. Производство работ внутри производственного цеха осуществляется в 2 смены. Внешние габариты цеха представлены в графическом материале.

В таблице 1 представлен перечень электроприемников цеха, указана их количество и номинальная единичная мощность.

Таблица 1 - Перечень электроприемников цеха с указанием их количества и номинальной единичной мощности

Наименование электроприемника или группы	<i>n, шт</i>	<i>P<sub>н</sub>, кВт</i>	1-ф электроприемник
Пятикоординатный фрезерный обрабатывающий центр СТЦ 63/90 Н	1	63	-
Двухстоечный вертикальный токарно-фрезерный центр СК5225М	2	55	-
Токарно-карусельные станки с ЧПУ серии ISVTL-3545F	3	78,5	-
Обрабатывающий центр с ЧПУ Weeke Venture 115	1	115	-
R 60 VT Радиально-сверлильный станок с сервоприводом	1	7,3	-
Сверлильные станки для ответственных работ серии High OPTIMUM B34H	1	2,2	+
Сверлильные станки с бесступенчатым приводом серии High Vario B34H Vario	1	2,2	+
2A620ф1 станок горизонтально-расточной с УЦИ	1	11	-
Горизонтально-расточный станок FATEK ВМС-110Т2	1	22	-
Горизонтально-расточный станок 2Б660Ф11	1	11	-



Продолжение таблицы 1

Наименование электроприемника или группы	<i>n, шт</i>	<i>P<sub>н</sub>, кВт</i>	1-ф электроприемник
Плоскошлифовальный станок с круглым столом ELB-Rotary VS	1	36	-
Станок заточной на подставке Stalex DS300/1	1	1,9	+
Станок заточной универсальный 3E642E	1	3	+
Станок заточной универсальный 3E643Y	1	3	+
Обдирочно-шлифовальный станок с подсветкой Proma BKL-1500	1	4,6	+
Строгальный станок по дереву с протяжкой WP260	1	16	-
Горизонтально-расточной станок GUOSHENG DBM-150	4	45	-
Вертикальный одностоечный координатно-расточной станок 2B440AФ10	1	20	-
Многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной станок с панелью цифровой индикации серии TPX61	3	69,6	-
Горизонтально-расточной станок GR110.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	1	40	-
Станок горизонтально-расточный IP1250Ф40	3	69,6	-
Станок фрезерный продольный двухстоечный трехшпиндельный	1	87	-
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	1	11	-
Токарно-карусельный станок КЗТС МОДЕЛЬ VE (1200-3200) "базовая"	1	58	-

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприемника или группы	<i>n, шт</i>	<i>P<sub>н</sub>, кВт</i>	1-ф электроприемник
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	1	11	-
Радиально-сверлильный станок PROMA RV-32	2	2	+
Пяти осевой расточной станок для тяжелых корпусных деталей с чистовой обработкой Schiess PBC130	1	50	-
Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ2	1	115	-
Фрезерно - гравировальный станок studer SFM500	1	5,5	-
Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ3	1	130	-
Координатно-расточной станок 2B600A особо высокой точности	1	47	-
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6112C	1	10	-
Координатно-расточной станок 2B700A особо высокой точности	1	58	-
Электрическая печь Harvia Compact JM25	1	2,4	+
Станок продольно-строгальный двухстоечный 7A212	1	55	-
Горизонтально-расточной станок CBA-52R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	36	-
Импульсный магнитный излучатель И100-30	1	1,5	+
Горизонтально-расточной станок CBA-110R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	80	-
Контрольно-испыт. стенд	1	2	+
Пресс гидравлический напольный TS0500-3	1	13	-

Продолжение таблицы 1

Наименование электроприемника или группы	<i>n, шт</i>	$P_n, кВт$	1-ф электроприемник
Прочистная машина	1	4	+
Станок универсальный горизонтально-расточный 2620В	1	11,2	-
Испытательный стенд Промтекс	1	1	+
Горизонтально-расточной станок СВА-50R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	35	-
Стенд СОРОКИН 10.31 для очистки деталей	1	2	+
Токарно-винторезный станок по металлу SunMaster серии ERL	1	4,7	-
Контрольно-испытательный стенд	1	6,2	-
Станок для обжима гидравлических шлангов DSG-51B	1	2,2	+
Настольный сверлильный станок BOSCH PBD 40	1	0,67	-
Контрольно-испытательный стенд	1	2,8	+
Аппарат для развальцовки труб МЭР-11М	1	6	-

Вывод. В разделе приведены сведения об установленном на предприятии электрооборудовании, его количестве и номинальной мощности отдельных экземпляров. Дана характеристика и краткое описание выпускаемой предприятием продукции. Приводятся сведения о системе внешнего электроснабжения и источниках питания, рассматриваемого в работе производственного цеха.

## 2 Определение расчетных нагрузок по предприятию

«Для приемников повторно-кратковременного режима работы номинальная мощность приводится к длительному режиму по формулам» [7-9]:

$$P_H = P_{ПВ}\sqrt{ПВ}, P_H = S_{ПВ}\sqrt{ПВ}\cos\varphi, \quad (1)$$

где « $P_{ПВ}$ ,  $S_{ПВ}$  - паспортные активная, полная мощности соответственно; ПВ - относительная продолжительность включения в долях единицы» [9].

«Для однофазных ЭП расчетная нагрузка равна условной трехфазной номинальной мощности  $P_p = P_{н.у}$ . При включении однофазного ЭП на фазное напряжение  $P_{н.у}$  определяется как утроенное значение номинальной мощности ЭП» [9]:

$$P_{н.у} = 3P_H. \quad (2)$$

«Для однофазных ЭП с повторно-кратковременным режимом работы» [9]:

$$P_{н.у} = 3P_{ПВ}\sqrt{ПВ} \text{ или } P_{н.у} = 3S_{ПВ}\sqrt{ПВ}\cos\varphi. \quad (3)$$

Если электроприемник включен между фазой и нулём, то его условная трехфазная мощность определяется как номинальная однофазная умноженная на корень из 3:

$$P_{н.у} = \sqrt{3}P_H. \quad (4)$$

При работе такого электроприемника в повторно-кратковременном режиме работы или при задании его полной мощностью используются следующие формулы:

$$P_{н.у} = \sqrt{3}P_{ПВ}\sqrt{ПВ} \text{ или } P_{н.у} = \sqrt{3}S_{ПВ}\sqrt{ПВ}\cos\varphi. \quad (5)$$

Производим распределение однофазных электроприемников по каждой фазе таким образом, чтобы суммарная нагрузка в каждой фазе была примерно одинакова:

$$P_{AB} = 13,2; P_{BC} = 13,5; P_{AC} = 13,6.$$

Находим наиболее и наименее загруженные фазы:

$$P_B = P_{\phi.НБ.} = \frac{P_{AB} + P_{BC}}{2}, \quad (6)$$

где  $P_{\phi.НБ.}$  - мощность наиболее загруженной фазы;

$$P_B = P_{\phi.НБ.} = \frac{13,2 + 13,5}{2} = 13,35,$$

$$P_A = P_{\phi.НМ.} = \frac{P_{AC} + P_{AB}}{2}, \quad (7)$$

где  $P_{\phi.НМ.}$  - мощность наименее загруженной фазы;

$$P_A = P_{\phi.НМ.} = \frac{13,6 + 13,2}{2} = 13,4.$$

Определяем неравномерность загрузки фаз мощностью однофазных ЭП:

$$H = \frac{P_{\phi.НБ.} - P_{\phi.НМ.}}{P_{\phi.НМ.}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

$$H = \frac{13,4 - 13,35}{13,35} \cdot 100 = 0,14\%$$

Как видно из приведённых выше расчётов нагрузка по фазам распределена практически равномерно (полученный коэффициент неравномерности менее 1 процента), поэтому условную трёхфазную мощность определяем путём суммирования нагрузки по каждой фазе:

$$P_H^{(3)} = \sum P_{\phi} = 40,3 \text{ кВт.}$$

Путем суммирования отдельных значений номинальных мощностей по каждой из групп электроприемников находим суммарную нагрузку по участку:  $P_n = 119 \text{ кВт}$ . Поскольку все электроприёмники имеют различные режимы работы и различные номинальные мощности, то для определения расчётного значения нагрузки находим эффективное число электроприемников одинаковых по мощности и режиму работы, которые создают такую же нагрузку как и установленные в цеху электроприёмники  $n_{\text{э}} = 8$ .

Находим значение расчётной нагрузки по каждому из узлов питания путём перемножения коэффициента максимума и групповой среднесменной нагрузки:

$$P_P = K_M P_C = K_M K_{II} P_H, \quad (9)$$

где  $K_M$  - коэффициент максимума;

$K_{II}$  - коэффициент использования;

$$P_P = 0,91 \cdot 0,75 \cdot 119 = 81,2 \text{ кВт.}$$

Значение расчётной реактивной мощности находим в зависимости от полученного ранее эффективного числа электроприемников, так как полученное значение было меньше, 10 то расчётная нагрузка равняется среднесменной умноженной на коэффициент 1,1:

$$Q_P = 1,1Q_C = 1,1P_H K_H \operatorname{tg} \varphi, \quad (10)$$

$$Q_P = 1,1 \cdot 119 \cdot 0,75 \cdot 0,75 = 129,4 \text{ квар.}$$

Результаты расчёта нагрузок по каждой группе электроприемников, а также итоговые значения номинальной, среднесменной и расчётной мощности сводим в таблицу 2.

Вывод. В результате проведенных вычислений были определены номинальные и среднесменные нагрузки по каждой группе однотипных электроприемников, определены значения группового коэффициента использования и коэффициента мощности, найдено эффективное число электроприемников и по справочной таблице определено значение коэффициента максимума соответствующее случаю расчёта на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции. Используя полученные значения найдены расчётные значения активной, реактивной и полной нагрузок по механическому цеху.

Таблица 2 – Результаты расчёта нагрузок по каждой группе электроприемников, а также итоговые значения номинальной, среднесменной и расчётной мощности

Наименование электроприемника или группы	$n$	$P_n$	$P_{н\text{сум}}$	$m$	$K_u$	$\cos\varphi$ / $\text{tg}\varphi$	$P_{см}$	$Q_{см}$	$n_{э}$	$K_m$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
Пятикоординатный фрезерный обрабатывающий центр СТЦ 63/90 Н	1	63	63	-	0,17	0,65/ 1,17	10,7	12,5	-	-	-	-	-	-
Двухстоечный вертикальный токарно-фрезерный центр СК5225М	1	55	55	-	0,17	0,65/ 1,17	9,4	10,9	-	-	-	-	-	-
Токарно-карусельные станки с ЧПУ серии ISVTL-3545F	1	79	79	-	0,16	0,5/1,73	12,6	21,7	-	-	-	-	-	-
Обрабатывающий центр с ЧПУ Weeke Venture 115	1	115	115	-	0,17	0,65/ 1,17	19,6	22,9	-	-	-	-	-	-
R 60 VT Радиально-сверлильный станок с сервоприводом	1	7,3	7,3	-	0,14	0,5/1,73	1	1,8	-	-	-	-	-	-
Сверлильные станки для ответственных работ серии High OPTIMUM B34H	1	11	11	-	0,16	0,5/1,73	1,8	3	-	-	-	-	-	-
Сверлильные станки с бесступенчатым приводом серии High Vario B34H Vario	2	22	44	-	0,16	0,5/1,73	7	12,2	-	-	-	-	-	-
2A620ф1 станок горизонтально-расточной с УЦИ	1	11	11	-	0,16	0,5/1,73	5,3	9,1	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-расточный станок FATEK BMC-110T2	1	36	36	-	0,16	0,5/1,73	5,8	9,9	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-расточный станок 2Б660Ф11	1	16	16	-	0,17	0,65/ 1,17	2,72	3,2	-	-	-	-	-	-
Плоскошлифовальный станок с круглым столом ELB-Rotary VS	4	45	180	-	0,16	0,5/ 1,73	28,8	49,8	-	-	-	-	-	-
Станок заточной на подставке Stalex DS300/1	1	20	20	-	0,16	0,5/ 1,73	3,2	5,5	-	-	-	-	-	-
Станок заточной универсальный 3E642E	1	40	40	-	0,17	0,65/ 1,17	6,8	7,9	-	-	-	-	-	-



Продолжение таблицы 2

Наименование электроприемника или группы	$n$	$P_n$	$P_{\text{исум}}$	$m$	$K_u$	$\cos\varphi$ / $\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$n_3$	$K_m$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
Станок заточной универсальный 3E643Y	1	87	87	-	0,17	0,65/ 1,17	14,8	17,3	-	-	-	-	-	-
Обдирочно-шлифовальный станок с подсветкой ProMa BKL-1500	1	58	58	-	0,16	0,5/ 1,73	9,3	16	-	-	-	-	-	-
Строгальный станок по дереву с протяжкой WP260	1	115	115	-	0,17	0,65/ 1,17	19,6	22,9	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-расточной станок GUOSHENG DBM-150	1	130	130	-	0,17	0,65/ 1,17	22,1	25,8	-	-	-	-	-	-
Вертикальный одностоечный координатно-расточной станок 2B440AФ10	1	10	10	-	0,16	0,5/ 1,73	1,6	2,8	-	-	-	-	-	-
Многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной станок с панелью цифровой индикации серии TPX61	1	11	11	-	0,16	0,5/ 1,73	1,8	3	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-расточной станок GR110.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	1	11	11	-	0,16	0,5/ 1,73	1,8	3	-	-	-	-	-	-
Станок горизонтально-расточный IP1250Ф40	3	70	210	-	0,17	0,65/ 1,1	35,6	41,7	-	-	-	-	-	-
Станок фрезерный продольный двухстоечный трехшпиндельный	3	70	210	-	0,17	0,65/ 1,17	35,6	41,7	-	-	-	-	-	-
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	1	50	50	-	0,16	0,5/1,73	8	13,8	-	-	-	-	-	-
Токарно-карусельный станок КЗТС МОДЕЛЬ VE (1200-3200) "базовая"	1	5,5	5,5	-	0,16	0,5/ 1,73	0,9	1,5	-	-	-	-	-	-
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	1	47	47	-	0,16	0,5/ 1,73	7,5	12,9	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Наименование электроприемника или группы	$n$	$P_n$	$P_{\text{исум}}$	$m$	$K_u$	$\cos\varphi$ / $\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$n_3$	$K_m$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
Радиально-сверлильный станок ПРОМА RV-32	1	58	58	-	0,17	0,65/ 1,17	9,9	11,5	-	-	-	-	-	-
Пяти осевой расточной станок для тяжелых корпусных деталей с чистовой обработкой Schiess PBC130	1	35	35	-	0,16	0,5/ 1,73	5,6	9,7	-	-	-	-	-	-
Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ2	1	80	80	-	0,17	0,65/ 1,17	13,6	15,9	-	-	-	-	-	-
Фрезерно - гравировальный станок studer SFM500	1	55	55	-	0,17	0,65/ 1,17	9,4	10,9	-	-	-	-	-	-
Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ3	1	11	11	-	0,16	0,5/ 1,73	1,8	3,1	-	-	-	-	-	-
Координатно-расточной станок 2В600А особо высокой точности	1	36	36	-	0,16	0,5/ 1,73	5,8	10	-	-	-	-	-	-
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6112С	1	4,7	4,7	-	0,16	0,5/ 1,73	0,8	1,3	-	-	-	-	-	-
Координатно-расточной станок 2В700А особо высокой точности	1	13	13	-	0,16	0,5/ 1,73	2,1	3,6	-	-	-	-	-	-
Электрическая печь Harvia Compact JM25	1	6	6	-	0,16	0,5/ 1,73	1	1,7	-	-	-	-	-	-
Станок продольно-строгальный двухстоечный 7А212	1	6,2	6,2	-	0,16	0,5/ 1,73	1	1,7	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-расточной станок СВА-52R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	2,2	40	-	0,16	0,6/ 1,33	6,5	8,6	-	-	-	-	-	-
Импульсный магнитный излучатель И100-30	1	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-расточной станок СВА-110R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Наименование электроприемника или группы	$n$	$P_n$	$P_{\text{нсум}}$	$m$	$K_u$	$\frac{\cos\varphi}{\text{tg}\varphi}$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$n_3$	$K_m$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
Контрольно-испыт. стенд	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пресс гидравлический напольный TS0500-3	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Прочистная машина	1	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Станок универсальный горизонтально-расточный 2620B	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Испытательный стенд Промтекс	1	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Горизонтально-расточной станок СВА-50R с системой ЧПУ Siemens 840D	1	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Стенд СОРОКИН 10.31 для очистки деталей	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Токарно-винторезный станок по металлу SunMaster серии ERL	1	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Контрольно-испытательный стенд	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Станок для обжима гидравлических шлангов DSG-51B	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Настольный сверлильный станок BOSCH PBD 40	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Контрольно-испытательный стенд	1	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Аппарат для развальцовки труб МЭР-11М	1	2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Аппарат контактной точечной сварки с пневмо-цилиндром МТ-40 со сварочным контролером высокой мощности	6	40	240	-	0,2	0,4/ 2,29	48	110	-	-	-	-	-	-
Аппарат контактной точечной сварки с пневмо-цилиндром МТ-41 с контролем силы сварочного тока в реальном масштабе времени	1	40	40	-	0,2	0,4/ 2,29	8	18,3	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Наименование электроприемника или группы	$n$	$P_n$	$P_{\text{нсум}}$	$m$	$K_u$	$\cos\varphi$ $/\text{tg}\varphi$	$P_{\text{см}}$	$Q_{\text{см}}$	$n_{\text{э}}$	$K_m$	$P_p$	$Q_p$	$S_p$	$I_p$
Итоговые значения по производственному цеху	69	130/1	2268	>3	0,17	-/1,49	386	579	18	0,8	308	579	656	996
Расчетные нагрузки системы внутреннего освещения цеха	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99	60	-	-
Расчетные нагрузки по сборочному участку	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	81	129	-	-
Итоговые значения по производственному цеху с учетом системы освещения и сборочным участком	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	489	767	910	1382

### 3 Определение нагрузок системы внутреннего освещения цеха

«Современное освещение характеризуется следующими основными критериями:

- видимость;
- электро-, взрыво- и пожаробезопасность;
- энергосбережение;
- эстетичность;
- экономичность и др.» [10, 11].

«Видимость обеспечивается выполнением норм освещения, определённых нормативными документами:

- СП52.13300.2011. «Свод правил. Естественное и искусственное освещение» (актуализированная редакция СНиП 23-05-95);
- Отраслевыми документами;
- Различными санитарными правилами и нормами (СанПИН).

По СП52.13300.2011 для внутреннего освещения устанавливаются следующие показатели:

- Для промышленных предприятий: освещённость в точках её минимального значения; сочетание показателей ослеплённости и коэффициента пульсации освещённости; индекс цветопередачи, диапазон цветовых температур;
- Для общественных и административных зданий: освещённость в точках её минимального значения; цилиндрическая освещённость; объединённый показатель UGR; коэффициент пульсации освещённости; индекс цветопередачи; диапазон цветовых температур;
- Для улиц и дорог: средняя освещённость дорожного покрытия; средняя яркость дорожного покрытия; равномерность распределения яркости и освещённость дорожного покрытия.

Электро-, взрыво- и пожаробезопасность систем освещения обеспечивается правильным выбором системы заземления сети освещения, светотехнического и электрического оборудования.

Энергосбережение в системах освещения обеспечивается применением:

- Энергосберегающих источников света;
- Светильников с высоким к.п.д. с рекомендуемым светораспределением;
- Современных ЭПРА с малым уровнем потерь;
- Управляемых систем освещения.

В настоящее время до 80 % установок освещения старые и малоэффективные. При этом ежегодно замене подвергается лишь 3% установок уличного освещения, 2% офисного освещения» [12, 13].

В последнее время немалое значение уделяют вопросам эстетичности разрабатываемой системы освещения, а не только выполнению минимальных требований к средней освещённости.

Важную роль играют вопросы энергосбережения при эксплуатации системы освещения, так как на неё может потребляться достаточно большое количество электрической энергии. Внедрение современных светодиодных источников света позволяет снизить расходы на эксплуатацию системы освещения, уменьшить потребление электрической энергии, но связано с более высокими первоначальными затратами на установку светильников.

Полная высота производственных помещений составляет 15 м, в качестве источников света выбираем хорошо себя зарекомендовавшие в других производственных корпусах светодиодные светильники.

Для выполнения расчётов системы искусственного освещения используем метод коэффициента использования. На первоначальном этапе находим площадь производственного помещения, поскольку оно правильной прямоугольной формы, то производим умножение длины помещения на его ширину:

$$S = a \cdot b, \quad (11)$$

где «а - длина помещения;

в - ширина помещения» [12].

$$S = 138 \cdot 60 = 8280 \text{ м}^2.$$

Определяем индекс помещения используя известные значения длины и ширины помещения, его площади, а также параметры подвеса светильника:

$$\phi = \frac{S}{(h_1 - h_2) \cdot (a + b)}, \quad (12)$$

где  $h_1$  - расстояние от пола производственного помещения до высоты подвеса светильника;

$h_2$  - высота от пола до уровня рабочей поверхности;

$$\phi = \frac{8280}{(15 - 1) \cdot (138 + 60)} = 2,9.$$

Основываясь на материале стен производственного помещения его потолка и пола по справочным таблицам определяем коэффициенты отражения для каждой из поверхности, коэффициент отражения для потолка принимаем равным 50%, коэффициент отражения стен 30%, коэффициент отражения пола равным 10%.

Из технических характеристик светильника определяем устанавливаемую на заводе-изготовителе в нём лампу, а по справочным таблицам определяем соответствующий ей световой поток 32500 лм.

Находим количество светильников необходимое для установки в производственном помещении для обеспечения нормируемого минимального значения горизонтальной освещённости рабочих поверхностей:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_l}, \quad (13)$$

где « $E$  - требуемая горизонтальная освещённость;

$S$  - площадь цеха;

$K_3$  - коэффициент запаса;

$\eta$  - коэффициент использования;

$n$  - количество ламп в светильнике;

$\Phi_l$  - световой поток одной лампы» [12].

$$N = \frac{300 \cdot 8280 \cdot 1,5}{0,58 \cdot 1 \cdot 32500} = 197 \text{ шт.}$$

Зная необходимое для установки количество светильников, номинальную мощность устанавливаемых в них ламп и их коэффициент мощности, определяем значение активной и реактивной нагрузки потребляемой системой освещения производственного цеха в целом:

$$P_{oy1} = P_{нол} \cdot n \cdot N, \quad (14)$$

$$P_{oy1} = 400 \cdot 1 \cdot 197 = 78,8 \text{ кВт},$$

$$Q_{oy1} = P_{oy} \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (15)$$

$$Q_{oy1} = 78800 \cdot 0,6 = 47,280 \text{ квар.}$$

Повторяем приведённые выше расчёты для сборочного участка. Находим площадь производственного помещения, поскольку оно правильной прямоугольной формы, то производим умножение длины помещения на его ширину:

$$S = a \cdot b, \quad (16)$$



$$S = 60 \cdot 24 = 1440 \text{ м}^2.$$

Определяем индекс помещения используя известные значения длины и ширины помещения, его площади, а также параметры подвеса светильника:

$$\phi = \frac{S}{(h_1 - h_2) \cdot (a + b)}, \quad (17)$$

$$\phi = \frac{1440}{(15 - 1) \cdot (60 + 24)} = 1,2.$$

Основываясь на материале стен производственного помещения его потолка и пола по справочным таблицам определяем коэффициенты отражения для каждой из поверхности, коэффициент отражения для потолка принимаем равным 50%, коэффициент отражения стен 30%, коэффициент отражения пола равным 10%.

Из технических характеристик светильника определяем устанавливаемую на заводе-изготовителе в нём лампу, а по справочным таблицам определяем соответствующий ей световой поток 32500 лм.

Находим количество светильников необходимое для установки в производственном помещении для обеспечения нормируемого минимального значения горизонтальной освещённости рабочих поверхностей:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_z}{\eta \cdot n \cdot \Phi_l}, \quad (18)$$

$$N = \frac{300 \cdot 1440 \cdot 1,5}{0,39 \cdot 1 \cdot 32500} = 51 \text{ шт.}$$

Зная необходимое для установки количество светильников, номинальную мощность устанавливаемых в них ламп и их коэффициент

мощности, определяем значение активной и реактивной нагрузки потребляемой системой освещения производственного цеха в целом:

$$P_{oy1} = P_{нол} \cdot n \cdot N, \quad (19)$$

$$P_{oy2} = 400 \cdot 1 \cdot 51 = 20,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{oy1} = P_{oy} \cdot \operatorname{tg} \phi, \quad (20)$$

$$Q_{oy2} = 20400 \cdot 0.6 = 12,240 \text{ квар.}$$

Итоговые значения нагрузки потребляемой системой внутреннего освещения получаем путём суммирования найденных в первом и втором варианте значений:

$$\sum P_{oy} = P_{oy1} + P_{oy2}, \quad (21)$$

$$\sum P_{oy} = 78,8 + 20,4 = 99,2 \text{ кВт},$$

$$\sum Q_{oy} = Q_{oy1} + Q_{oy2}, \quad (22)$$

$$\sum Q_{oy} = 47,28 + 12,24 = 59,52 \text{ квар.}$$

Вывод. На основании геометрических размеров производственного цеха, материалов потолка, стен и пола выбран тип используемых источников света и определено их необходимое количество. Для обеспечения требуемого значения минимальной освещённости на рабочей поверхности, исходя из полученного значения количества светильников, номинальной мощности, потребляемой одним светильником и его коэффициента мощности определены значения активной и реактивной нагрузки потребляемая системой внутреннего освещения.

#### 4 Расчёт номинальной мощности цеховых трансформаторных подстанций

«Определяющим при выборе номинальной мощности трансформаторов является условие выбора по допустимой аварийной перегрузке» [14, 15].

«Значение номинальной мощности  $S_{н.т}$  для подстанций с числом трансформаторов два и более определяется по выражению» [14]:

$$S_{н.т} \geq \frac{S_{p.a}}{k_{д.пер}(n-1)} \quad (23)$$

где « $S_{p.a}$  - расчетная мощность послеаварийного режима на стороне ВН подстанции;

$k_{д.пер}$  - допустимое значение коэффициент аварийной перегрузки в долях номинальной мощности (тока);

$n$  - число трансформаторов» [14].

«Для однитрансформаторной подстанции со связями по вторичному напряжению» [14]:

$$S_{н.т} \geq \frac{S_{p.a}}{k_{д.пер}} \quad (24)$$

где « $S_{p.a}$  - расчетная мощность на стороне ВН трансформатора с учетом мощности, передаваемой другой подстанцией по связям вторичного напряжения» [14].

«Для однитрансформаторных подстанций без связей по вторичному напряжению номинальная мощность трансформатора выбирается по нагрузке нормального режима работы» [14]:

$$S_{н.т} \geq S_p \quad (25)$$

где « $S_p$  - расчетная мощность нормального режима работы па стороне ВН трансформатора» [14].

Исходя из полученного расчетного значения выбираем по каталогу производителя ближайшее большее номинальное значение мощности силового трансформатора.

Итоговые значения по нагрузкам, используемые при выборе трансформаторов заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Итоговые значения по нагрузкам, используемые при выборе трансформаторов

Виды нагрузки, запитанной от ТП	$P_c$ , кВт	$Q_c$ , квар	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
Силовые электроприемники производственного цеха	386	578	308	578	656
Нагрузка системы искусственного освещения	99	59	99	59	115
Нагрузка участка сборки готовых изделий	119	129	81	129	139
Суммарные значения по цеховой трансформаторной подстанции	604	767	489	767	910

Расчётное значение мощности силового трансформатора определяем с учётом его коэффициента загрузки и количества устанавливаемых на ТП трансформаторов:

$$S_{HT} > \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 N_T}, \quad (26)$$

где « $K_3$  - коэффициент загрузки,

$P_{p\Sigma}$  - суммарная расчетная нагрузка;

$N_T$  - число трансформаторов на ТП» [15];

$$S_{HT} > \frac{604}{0,7 \cdot 2} = 431 \text{ кВА},$$

В расчётах при наличии потребителей, относящихся к 1 категории по надежности электроснабжения, принимаем значение коэффициента загрузки силовых трансформаторов не ниже 0,7.

Из каталога производителя выбираем ближайшее большее значение номинальной мощности силового трансформатора равное 630 кВА.

Первым при рассмотрении вариантов установки на трансформаторной подстанции силовых трансформаторов различной мощности будет вариант установки 2 силовых трансформаторов мощностью по 630 киловольт ампер каждый  $S_n = 630$  кВА.

Используя справочные данные находим: потери на холостом ходу  $\Delta P_{XX} = 1.05 \text{ кВт}$ ; потери в режиме короткого замыкания  $\Delta P_{K3} = 7.6 \text{ квар}$ ; ток ХХ  $i_{XX} = 2\%$ ; напряжение КЗ  $u_{K3} = 5.5\%$ , капитальные затраты  $K_T = 294 \text{ тыс. руб.}$ .

Потери активной и реактивной мощности в СТ КТП:

$$\Delta P_{mp} = N_T \cdot (P_{XX} + K_3^2 \cdot P_{K3}), \quad (27)$$

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (1.05 + 0.7^2 \cdot 7.6) = 9.55 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{mp} = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_n}{100}, \quad (28)$$

$$\Delta Q_{mp} = 2 \cdot (2 + 0.7^2 \cdot 5.5) \cdot \frac{630}{100} = 59.16 \text{ квар}.$$

Находим итоговые значения активной и реактивной нагрузки по цеху с учётом потерь активной и реактивной мощности в силовых трансформаторах:

$$P_P = P_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta P_{mp}, \quad (29)$$

$$P_P = 604 + 2 \cdot 9.55 = 623.1 \text{ кВт},$$

$$Q_P = Q_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta Q_{mp}, \quad (30)$$

$$Q_P = 767 + 2 \cdot 59.16 = 885.3 \text{ квар},$$

$$Q_{\min} = 0.7 \cdot Q_P, \quad (31)$$

$$Q_{\min} = 0.7 \cdot 885.3 = 619.7 \text{ квар}.$$

Найдем входные реактивные мощности:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0.7 Q_{\text{сд}}, \quad (32)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 885.3 - 0.7 \cdot 0 = 885.3 \text{ квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 P_P, \quad (33)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 623.1 = 174.5 \text{ квар}.$$

Принимаем меньшее из определенных выше значений 174.5 квар.

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\min} - Q_{\text{кд}} = Q_{\min} - (Q_P - Q_{\text{э1}}), \quad (34)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 619.7 - (885.3 - 174.5) = -91.1 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\min} + Q_{\text{к}}, \quad (35)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 619.7 + 0 = 619.7 \text{ квар};$$

$$Q_{\text{к}} = 0.$$

В ночные часы при уменьшении потребления нагрузки наблюдается повышение уровня напряжения, поэтому в расчётах принимаем максимальное из 2 найденных значений  $Q_{\varepsilon 2} = Q_{\varepsilon 2, n} = 619.7$  квар.

Общая реактивная мощность средств компенсации определяется из выражения:

$$Q_{ку \max} = 1,15 \cdot Q_p - Q_{\varepsilon 1}, \quad (36)$$

$$Q_{ку \max} = 1,15 \cdot 885.3 - 174.5 = 843.6 \text{ квар}.$$

Из них нерегулируемая мощность составит:

$$Q_{ку \min} = Q_{\min} - Q_{\varepsilon 2}, \quad (37)$$

$$Q_{ку \min} = 619.7 - 619.7 = 0.$$

Таким образом, по результатам расчётов получаем, что устанавливаемые средства компенсации должны поддерживать регулирование вырабатываемой реактивной мощности в диапазоне от нуля до максимального расчётного значения.

Определяем значение реактивной мощности, которую можно передать из сети высокого напряжения в сети напряжения 0,4 кВ и которую нет необходимости компенсировать:

$$Q_{\varepsilon n} = Q_{\varepsilon 1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (38)$$

$$Q_{\varepsilon n} = 174.5 - (885.3 - 767) = 56.2 \text{ квар}.$$

«Значение реактивной мощности, которую целесообразно передать через силовые СТ в сеть 0,4 кВ» [16]:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (39)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 630)^2 - 604^2} = 642.7 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (40)$$

$$Q_{KVH} = 767 - 642.7 = 124.3 \text{ квар},$$

$$Q_{KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (41)$$

$$Q_{KVB} = 843.6 - 124.3 = 719.4 < 800 \text{ квар}.$$

Поскольку полученное значение реактивной мощности конденсаторных установок высокого напряжения составляет менее 800 квар, то их размещение на данной трансформаторной подстанции экономически неоправданно.

Исходя из расчётного значения необходимой мощности компенсации на стороне низкого напряжения трансформаторной подстанции выбираем две автоматические конденсаторные установки АУКРМ-75, которые подключаем к секциям сборных шин 0,4 кВ.

«Время максимальных потерь» [16]:

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 \cdot T_P, \quad (42)$$

где « $T_M$  - число часов максимума нагрузки;

$T_P$  - число часов работы» [16].

$$\tau = \left( 0.124 + \frac{4800}{10000} \right)^2 \cdot 8760 = 3195.8 \text{ ч.}$$

Определяем годовые затраты на оплату потерь электроэнергии под нагрузкой на холостом ходу в силовых трансформаторах цеховой трансформаторной подстанции за 12 месяцев работы.

По приведённой ниже формуле находим удельную стоимость потерь электрической энергии в силовых трансформаторах в режиме холостого хода:



$$C_{XX} = \left( \frac{\alpha \cdot 12}{T_M} + \beta \right) \cdot T_P, \quad (43)$$

где « $\alpha$  - плата за мощность,

$\beta$  - плата за электроэнергию» [16];

$$C_{XX} = \left( \frac{439.2 \cdot 12}{4800} + 1.2 \right) \cdot 8760 = 20.13 \text{ тыс.руб/кВт}.$$

По приведённой ниже формуле находим удельную стоимость потерь электрической энергии в силовых трансформаторах под нагрузкой:

$$C_{K3} = \left( \frac{\alpha \cdot 12}{T_M} + \beta \right) \cdot \tau, \quad (44)$$

где « $\tau$  - число часов максимума потерь» [16];

$$C_{K3} = \left( \frac{439.2 \cdot 12}{4800} + 1.2 \right) \cdot 3195.8 = 7.344 \text{ тыс.руб/кВт},$$

$$C \cdot \Delta P_T = C_{XX} \cdot \Delta P_{XX} + C_{K3} \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3}, \quad (45)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 20.13 \cdot 1.05 + 7.344 \cdot 0.7^2 \cdot 7.6 = 48.486 \text{ тыс.руб.}$$

Приведенные затраты на КТП составят:

$$Z_{KTP} = E \cdot (K_T \cdot N_T + K_{KV} \cdot N_{KV}) + C \cdot \Delta P \cdot N_T, \quad (46)$$

где « $E$  - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

$K_{KV}$  - затраты на конденсаторную установку;

$N_{KV}$  - количество выбранных конденсаторных установок» [16];

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot ((294 \cdot 2) + (38.2 \cdot 2)) + (48.486 \cdot 2) = 245.133 \text{ тыс.руб.}$$

Вторым при рассмотрении вариантов установки на трансформаторной подстанции силовых трансформаторов различной мощности будет вариант установки 2 силовых трансформаторов мощностью по 1000 киловольт ампер каждый.

Используя справочные данные находим:  $\Delta P_{XX} = 1.55 \text{ кВт}$  ;  
 $\Delta P_{K3} = 10.2 \text{ квар}$  ;  $i_{XX} = 2\%$  ;  $u_{K3} = 5.5\%$  ,  $K_T = 421 \text{ тыс. руб.}$  .

Потери активной и реактивной мощности в СТ КТП:

$$\Delta P_{mp} = N_T \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{K3}) \quad (47)$$

$$\Delta P_{mp} = 2 \cdot (1.55 + 0.7^2 \cdot 10.2) = 13.1 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{mp} = N_T \cdot (i_0 + K_3^2 \cdot U_{K3}) \cdot \frac{S_n}{100}, \quad (48)$$

$$\Delta Q_{mp} = 2 \cdot (2 + 0.7^2 \cdot 5.5) \frac{1000}{100} = 93.9 \text{ квар}.$$

Находим итоговые значения активной и реактивной нагрузки по цеху с учётом потерь активной и реактивной мощности в силовых трансформаторах:

$$P_p = P_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta P_{mp}, \quad (49)$$

$$P_p = 604 + 2 \cdot 13.1 = 630.2 \text{ кВт},$$

$$Q_p = Q_{p\Sigma} + n_m \cdot \Delta Q_{mp}, \quad (50)$$

$$Q_p = 767 + 2 \cdot 93.9 = 954.8 \text{ квар},$$

$$Q_{\min} = 0.7 Q_p, \quad (51)$$

$$Q_{\min} = 0.7 \cdot 954.8 = 668.4 \text{ квар}.$$

Найдем входные реактивные мощности:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0,7 Q_{\text{сд}}, \quad (52)$$

$$Q'_{\text{э1}} = 954.8 - 0.7 \cdot 0 = 954.8 \text{квар};$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha P_P, \quad (53)$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0.28 \cdot 630.2 = 176.5 \text{квар}.$$

Принимаем меньшее из определенных выше значений 176.5 квар.

$$Q_{\text{э2,в}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{сд}} = Q_{\text{min}} - (Q_P - Q_{\text{э1}}), \quad (54)$$

$$Q_{\text{э2,в}} = 668.4 - (954.8 - 176.5) = -110 \text{квар};$$

$$Q_{\text{э2,н}} = Q_{\text{min}} + Q_{\text{к}}, \quad (55)$$

$$Q_{\text{э2,н}} = 668.4 + 0 = 668.4 \text{квар};$$

$$Q_{\text{к}} = 0.$$

В ночные часы при уменьшении потребления нагрузки наблюдается повышение уровня напряжения, поэтому в расчётах принимаем максимальное из 2 найденных значений  $Q_{\text{э2}} = Q_{\text{э2,н}} = 668.4$  квар.

Общая реактивная мощность средств компенсации определяется из выражения:

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot Q_P - Q_{\text{э1}}, \quad (56)$$

$$Q_{\text{куmax}} = 1,15 \cdot 954.8 - 176.5 = 921.6 \text{квар}.$$

Из них нерегулируемая мощность составит:

$$Q_{\text{куmin}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э2}}, \quad (57)$$

$$Q_{\text{куmin}} = 668.4 - 668.4 = 0.$$

Таким образом, по результатам расчётов получаем, что устанавливаемые средства компенсации должны поддерживать регулирование вырабатываемой реактивной мощности в диапазоне от нуля до максимального расчётного значения.

Определяем значение реактивной мощности, которую можно передать из сети высокого напряжения в сети напряжения 0,4 кВ и которую нет необходимости компенсировать

$$Q_{эп} = Q_{э1} - (Q_p - Q_{p\Sigma}), \quad (58)$$

$$Q_{эп} = 176.5 - (954.8 - 767) = -11.3 \text{ квар}.$$

«Значение реактивной мощности, которую целесообразно передать через силовые в сеть 0,4 кВ» [16]:

$$Q_T = \sqrt{(N_T K_3 S_H)^2 - P_{p\Sigma}^2}, \quad (59)$$

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0.7 \cdot 1000)^2 - 604^2} = 1263 \text{ квар},$$

$$Q_{KVH} = Q_{P\Sigma} - Q_T, \quad (60)$$

$$Q_{KVH} = 767 - 1263 = -496 \text{ квар},$$

$$Q_{KVB} = Q_{KV \max} - Q_{KVH}, \quad (61)$$

$$Q_{KVB} = 921.6 - 0 = 921.6 \text{ квар}.$$

Поскольку полученное значение реактивной мощности конденсаторных установок низкого напряжения получилось отрицательным, то их размещение на данной трансформаторной подстанции экономически неоправданно.

Определяем годовые затраты на оплату потерь электроэнергии под нагрузкой на холостом ходу в силовых трансформаторах цеховой трансформаторной подстанции за 12 месяцев работы.

$$C \cdot \Delta P_T = C_{XX} \cdot \Delta P_{XX} + C_{K3} \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{K3} , \quad (62)$$

$$C \cdot \Delta P_T = 20.13 \cdot 1.55 + 7.344 \cdot 0.7^2 \cdot 10.2 = 67.907 \text{ тыс.руб.}$$

Приведенные затраты на КТП составят:

$$Z_{КТП} = E \cdot (K_T \cdot N_T + K_{KV} \cdot N_{KV}) + C \cdot \Delta P \cdot N_T , \quad (63)$$

$$Z_{КТП} = 0.223 \cdot 421 \cdot 2 + 67.907 \cdot 2 = 323.58 \text{ тыс.руб.}$$

Вывод.

Выбрана 2КТП-ВЦ-АТ-630/6(10)/0,4-У3. В результате рассмотрения двух вариантов установки силовых трансформаторов на КТП различной мощности были получены следующие результаты: во втором варианте значение приведённых затрат оказалась выше несмотря на то, что трансформаторы устанавливаются без устройств компенсации реактивной мощности. Первый вариант показал меньшее значение приведённых затрат, в нём устанавливается два трансформатора мощностью по 630 кВА и две автоматические конденсаторные установки мощностью по 75 квар каждая.

## 5 Предварительный выбор сечения проводников

Для подключения горизонтально-расточного станка с ЧПУ номинальной активной мощностью  $P_{H1} = 22$  кВт, и коэффициентом мощности  $\cos\varphi_{H1} = 0,5$  к ШРА используем 4 одножильных изолированных провода ПВ, которые размещаем внутри поливинилхлоридной трубы.

Для одиночного электроприемников значение расчётного тока принимается равным номинальному, который определяется по следующей формуле [17, 18]:

$$I_p = i_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (64)$$
$$I_p = i_H = \frac{22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,5 \cdot 0,825} = 81 \text{ А.}$$

Согласно справочным таблицам принимаем поправочный коэффициент на температуру окружающей среды - 0,94.

Используя табличные значения, приведённые в правилах устройства электроустановок находим значение коэффициента, учитывающего отличие температуры окружающей среды:

$$I_{доп} \geq \frac{81}{0,94} = 86,1 \text{ А.}$$

В соответствии со справочными таблицами для данного типа проводника определяем ближайшее сечение, соответствующее длительно допустимому току - ПВ 4(1x25).

В таблице 4 приведены расчётные значения токов для каждого электроприемника производственного цеха, длительно допустимые токи выбранных проводников и их сечение.

Таблица 4 – Расчётные значения токов для каждого электроприемника производственного цеха, длительно допустимые токи выбранных проводников и их сечение

Наименование электроприемника или группы	$I_p, A$	$I_{дл.доп}, A$	$F, мм^2$
Пятикоординатный фрезерный обрабатывающий центр СТЦ 63/90 Н	178	210	70
Двухстоечный вертикальный токарно-фрезерный центр СК5225М	155	170	50
Токарно-карусельные станки с ЧПУ серии ISVTL-3545F	289	290	120
Обрабатывающий центр с ЧПУ Weeke Venture 115	8,6	15	1
R 60 VT Радиально-сверлильный станок с сервоприводом	40	42	6
Сверлильные станки для ответственных работ серии High OPTIMUM B34H	28,6	35	4
Сверлильные станки с бесступенчатым приводом серии High Vario B34H Vario	8,6	15	1
2А620ф1 станок горизонтально-расточной с УЦИ	40	42	6
Горизонтально-расточный станок FАТЕК ВМС-110Т2	132	170	50

Продолжение таблицы 4

Наименование электроприемника или группы	$I_p, A$	$I_{дл.доп}, A$	$F, мм^2$
Горизонтально-расточный станок 2Б660Ф11	7,4	15	1
Плоскошлифовальный станок с круглым столом ELB-Rotary VS	9	15	1
Станок заточной на подставке Stalex DS300/1	86,1	100	25
Станок заточной универсальный 3Е642Е	9	15	1
Станок заточной универсальный 3Е643У	176	210	70
Обдирочно-шлифовальный станок с подсветкой Proma BKL-1500	18	22	2
Строгальный станок по дереву с протяжкой WP260	45	51	8
Горизонтально-расточной станок GUOSHENG DBM-150	78,3	80	16
Вертикальный одностоечный координатно-расточной станок 2В440АФ10	246	255	95
Многоцелевой горизонтальный сверлильно-фрезерно-расточной станок с панелью цифровой индикации серии TPX61	113	125	35
Горизонтально-расточной станок GR110.02 с системой ЧПУ Siemens 840D	213	255	95
Станок горизонтально-расточный IP1250Ф40	7,8	15	1



Продолжение таблицы 4

Наименование электроприемника или группы	$I_p, A$	$I_{дл.доп}, A$	$F, мм^2$
Станок фрезерный продольный двухстоечный трехшпиндельный	325	330	150
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	40	42	6
Токарно-карусельный станок КЗТС МОДЕЛЬ VE (1200-3200) "базовая"	36	39	5
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6113C	272,7	290	120
Радиально-сверлильный станок PROMA RV-32	40	42	6
Пяти осевой расточной станок для тяжелых корпусных деталей с чистовой обработкой Schiess PBC130	272,7	290	120
Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ2	20	22	2
Фрезерно - гравировальный станок studer SFM500	313	330	150
Продольно-шлифовальный станок HECKERT, SZ3	184	210	70
Координатно-расточной станок 2B600A особо высокой точности	47	51	8
Горизонтальный расточно-фрезерный станок TX6112C	184	210	70
Координатно-расточной станок 2B700A особо высокой точности	227,2	255	95

Продолжение таблицы 4

Наименование электроприемника или группы	$I_p, A$	$I_{дл.доп}, A$	$F, мм^2$
Электрическая печь Harvia Compact JM25	137	170	50
Станок продольно-строгальный двухстоечный 7A212	23,5	25	2,5
Горизонтально-расточной станок СВА-52R с системой ЧПУ Siemens 840D	215	255	95
Импульсный магнитный излучатель И100-30	43,8	51	8
Горизонтально-расточной станок СВА-110R с системой ЧПУ Siemens 840D	141	170	50
Контрольно-испыт. стенд	18,4	22	2
Пресс гидравлический напольный TS0500-3	7,8	15	1
Прочистная машина	2,6	15	1
Станок универсальный горизонтально-расточный 2620B	7,8	15	1
Испытательный стенд Промтекс	24,2	25	2,5
Горизонтально-расточной станок СВА-50R с системой ЧПУ Siemens 840D	10,9	15	1
Стенд СОРОКИН 10.31 для очистки деталей	5,8	15	1
Токарно-винторезный станок по металлу SunMaster серии ERL	8,6	15	1
Контрольно-испытательный стенд	15,6	16	1,2
Станок для обжима гидравлических шлангов DSG-51B	184	210	70

Продолжение таблицы 4

Наименование электроприемника или группы	$I_p, A$	$I_{дл.доп}, A$	$F, мм^2$
Настольный сверлильный станок BOSCH PBD 40	3,9	15	1
Контрольно-испытательный стенд	9,4	15	1

Вывод.

Определены номинальные и соответственно расчётные токи отдельных электроприемников в соответствии со схемой питания и выбраны проводники. В зависимости от условий окружающей среды, типа проводника и условий прокладки определены поправочные коэффициенты и соответствие с длительно допустимым значением тока определено сечение каждого проводника. Результаты расчётов для всех электроприемников производственного цеха сведены в соответствующую таблицу.

## 6 Расчёт токов КЗ в сети 0,4 кВ

«При необходимости определения токов КЗ на шинах подстанции или в других точках сети до 1 кВ необходимо дополнительно учитывать:

- индуктивные и активные сопротивления коротких участков шин, трансформаторов тока, токовых катушек автоматических выключателей;
  - активные сопротивления контактов коммутационных аппаратов.
- Более точные расчеты выполняются с учетом:
- контактных соединений проводников (шин, кабелей);
  - сопротивления электрической дуги в месте короткого замыкания;
  - изменения активного сопротивления проводников вследствие их нагрева при КЗ;
  - активного сопротивления электродвигателей;
  - влияния комплексной нагрузки на ток КЗ.

Источники питания внешней сети (энергосистема, генераторы) эквивалентизируются и представляются одним эквивалентным источником питания. ЭДС и периодическая составляющая тока КЗ считаются неизменными. Автономные источники питания на схеме замещения представляются самостоятельной ветвью, в которой ЭДС и периодическая составляющая тока КЗ определяются с учетом их изменений во времени. Влияние асинхронных двигателей напряжением до 1 кВ учитывается, если их суммарный номинальный ток превышает 1 % начального значения периодической составляющей тока в месте КЗ, рассчитанного без учета электродвигателей» [19, 20].

«Расчет может производиться в именованных или относительных единицах, хотя нормативные документы рекомендуют использование именованных единиц. При выполнении расчетов в установках до и выше 1 кВ в именованных единицах величина ступени базисного напряжения выбирается

произвольно. Для уменьшения числа вычислительных операций при ручном счете за базисное напряжение рекомендуется выбирать напряжение ступени с большим количеством точек КЗ. Если расчет токов КЗ производится только в сети до 1 кВ, за базисное принимается среднее номинальное напряжение сети до 1 кВ (0,4 или 0,69 кВ)» [19].

Для проверки вводного выключателя на стороне 0,4 кВ трансформаторной подстанции на коммутационную способность составляем расчетную схему, а затем путем представления реальных элементов в виде внутренних сопротивлений получаем схему замещения участка сети, изображенную на рисунке 1.

Предварительно собираем параметры установленного электрооборудования, входящего в схему замещения и данные о режиме в питающей электрической сети:

Внешняя ЭЭС характеризуется мощностью короткого замыкания и средненоминальным значением напряжения:  $S_k = 200 \text{ МВА}$ ,  $U_{cp.BH} = 10 \text{ кВ}$ .

Силовой трансформатор КТП:

$$S_u = 630 \text{ кВА}; U_{BH} = 10,5 \text{ кВ}; U_{HH} = 0,4 \text{ кВ}; P_k = 7,6 \text{ кВт}; u_k = 5,5\%.$$

Вводной автоматический выключатель типа ВА 56-39 QF:

$$r_{кв} = 0,41 \text{ мОм}; x_{кв} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Комплектный шинопровод ШРА 4:

$$r_{ш} = 0,1 \text{ мОм/м}; x_{ш} = 0,13 \text{ мОм/м}; r_{nn} = 0,162 \text{ мОм/м};$$

$$x_{nn} = 0,164 \text{ мОм/м}; l = 200 \text{ м}.$$

Сопротивление контактов и их количество:  $r_k = 0,004 \text{ мОм}$ ;  $n = 80$ .

Переходим к расчетам сопротивлений элементов схемы замещения.

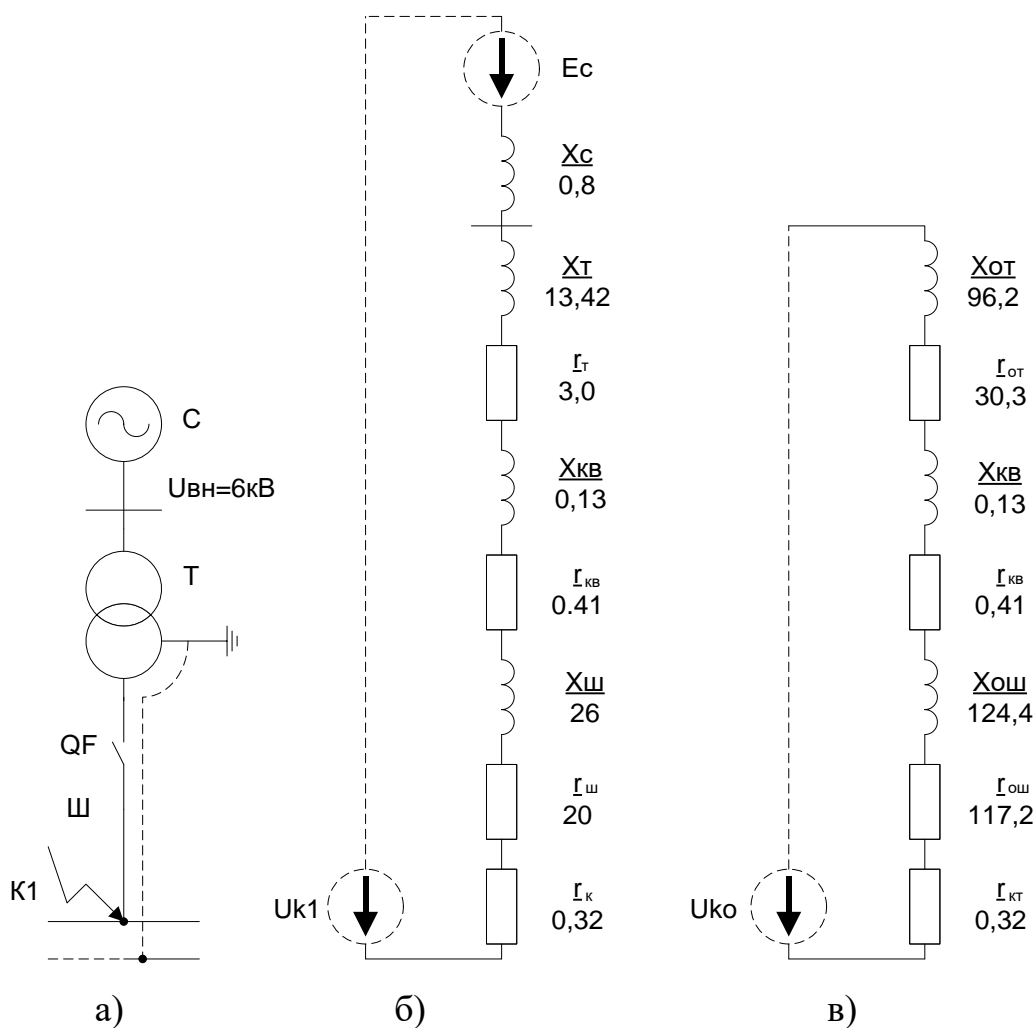
Первоначально расчеты выполняем по прямой последовательности.

Находим сопротивление внешней системы из выражения:

$$x_c = \frac{U_{CT.HH}^2}{S_k} \cdot 10^{-3}, \quad (65)$$

где « $U_{CT.HH}$  - уровень напряжения той стороны на которой производится расчет токов КЗ;  
 $S_k$  - мощность КЗ со стороны системы» [7];

$$x_c = \frac{400^2}{200} \cdot 10^{-3} = 0.8 \text{ мОм.}$$



а - расчетная схема; б – схема замещения расчетной, составленная по прямой последовательности; в – схема замещения расчетной, составленная по нулевой последовательности

Рисунок 1 – Составление расчетной схемы участка сети и ее схемы замещения для определения расчетных значений токов короткого замыкания

Определяем внутренние сопротивления силового трансформатора, выбранного для размещения в трансформаторной подстанции в предыдущем разделе работы:

$$r_{\tau} = \frac{P_k \cdot U_{HH}^2}{S_H^2} \cdot 10^6, \quad (66)$$

$$r_{\tau} = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} \cdot 10^6 = 3 \text{ мОм.}$$

$$x_{\tau} = \sqrt{u_k^2 - \left( \frac{100 \cdot P_k}{S_H} \right)^2} \cdot \frac{U_{HH \text{ ном}}^2}{S_{TH}} \cdot 10^4, \quad (67)$$

$$x_{\tau} = \sqrt{5,5^2 - \left( \frac{100 \cdot 7,6}{630} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,4 \text{ мОм.}$$

Сопротивление шинпровода:

$$r_{ш} = 0,1 \cdot 200 = 20 \text{ мОм}; x_{ш} = 0,13 \cdot 200 = 26 \text{ мОм.}$$

Сопротивление контактных соединений:

$$r_k = 0,004 \cdot 80 = 0,32 \text{ мОм.}$$

Сопротивление дуги определяем из справочника:  $r_{\partial} = 21 \text{ мОм.}$

Для нулевой последовательности:

$$r_{om} = 30,3 \text{ мОм}; x_{om} = 96,2 \text{ мОм};$$

$$r_{nn} = 0,162 \cdot 200 = 32,4 \text{ мОм}; x_{nn} = 0,164 \cdot 200 = 32,8 \text{ мОм.}$$

Найдем ток трехфазного КЗ:

$$r_{1\Sigma} = r_m + r_{uu} + r_{кв} + r_k, \quad (68)$$

$$r_{1\Sigma} = 3 + 20 + 0,41 + 0,32 = 23,73 \text{ МОм};$$

$$x_{1\Sigma} = x_c + x_m + x_{uu} + x_{кв}, \quad (69)$$

$$x_{1\Sigma} = 0,8 + 13,42 + 26 + 0,13 = 40,35 \text{ МОм};$$

$$r_{1\Sigma}' = r_{1\Sigma} + r_\partial, \quad (70)$$

$$r_{1\Sigma}' = 23,73 + 21 = 44,73 \text{ МОм};$$

$$I_{\text{ПО max}} = \frac{U_{\text{СТ НН}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (71)$$

$$I_{\text{ПО max}} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{23,73^2 + 40,35^2}} = 4,9 \text{ кА};$$

$$I_{\text{ПО min}} = \frac{U_{\text{СТ НН}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}'^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (72)$$

$$I_{\text{ПО min}} = \frac{400}{\sqrt{3} \sqrt{44,73^2 + 40,35^2}} = 3,8 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд. max}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО max}} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (73)$$

где « $I_{\text{ПО max}}$  - максимальное значение тока трехфазного КЗ в начальный момент времени;

$K_{\text{уд}}$  - ударный коэффициент» [7];

$$i_{\text{уд. max}} = \sqrt{2} \cdot 4,94 \cdot 1,4 = 9,8 \text{ кА};$$

$$i_{\text{уд. min}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО min}} \cdot K_{\text{уд}}, \quad (74)$$

где « $I_{\text{ПО min}}$  - минимальное значение тока трехфазного КЗ в начальный момент времени» [7];

$$i_{\text{уд. min}} = \sqrt{2} \cdot 3,83 \cdot 1,3 = 7 \text{ кА};$$

Определяем ударный ток КЗ:



$$i_{ao \max} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО} \max}, \quad (75)$$

$$i_{ao \max} = \sqrt{2} \cdot 4,9 = 7 \text{ кА};$$

$$i_{ao \min} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{ПО} \min}, \quad (76)$$

$$i_{ao \min} = \sqrt{2} \cdot 3,8 = 5,4 \text{ кА};$$

Ток однофазного КЗ:

$$r_{o\Sigma} = r_{om} + r_{ou} + r_{кв} + r_{к}, \quad (77)$$

$$r_{o\Sigma} = 30,3 + 20 + 3 \cdot 32,4 + 0,41 + 0,32 = 148,23 \text{ мОм};$$

$$r_{ou} = r_{1u} + 3 \cdot r_{нн}$$

$$x_{o\Sigma} = x_{om} + x_{ou} + x_{кв}, \quad (78)$$

$$x_{o\Sigma} = 96,2 + 26 + 3 \cdot 32,8 + 0,13 = 220,73 \text{ мОм};$$

$$r'_{o\Sigma} = r_{o\Sigma} + r_{\partial}, \quad (79)$$

$$r'_{o\Sigma} = 148,23 + 34 = 182,23 \text{ мОм};$$

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{СТ НН}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{o\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{o\Sigma})^2}}, \quad (80)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 23,73 + 148,23)^2 + (2 \cdot 40,35 + 220,73)^2}} = 1,9 \text{ кА}.$$

Ток однофазного КЗ при дуговом замыкании:

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{СТ НН}}}{\sqrt{(2r'_{1\Sigma} + r'_{o\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{o\Sigma})^2}}, \quad (81)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 400}{\sqrt{(2 \cdot 44,73 + 182,23)^2 + (2 \cdot 40,35 + 220,73)^2}} = 1,7 \text{ кА}.$$

Ток двухфазного КЗ:

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{U_{\text{СТ НН}}}{2\sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (82)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{400}{2\sqrt{23,73^2 + 40,35^2}} = 4,3 \text{ кА};$$

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{U_{\text{СТ НН}}}{2\sqrt{(r_{1\Sigma} + r_0 / 2)^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (83)$$

$$I_{\text{ПО}}^{(2)} = \frac{400}{2\sqrt{(23,73 + 21 / 2)^2 + 40,35^2}} = 3,8 \text{ кА}.$$

Расчетные значения токов однофазного, двухфазного и трехфазного токов короткого замыкания, определенные в режимах максимальной и минимальной нагрузки сети заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчетные значения токов однофазного, двухфазного и трехфазного токов короткого замыкания, определенные в режимах максимальной и минимальной нагрузки сети

Вид КЗ	<i>I<sub>кзmax</sub>, кА</i>			<i>I<sub>кзmin</sub>, кА</i>		
	<i>I<sub>ПО</sub></i>	<i>i<sub>ао</sub></i>	<i>i<sub>уо</sub></i>	<i>I<sub>ПО</sub></i>	<i>i<sub>ао</sub></i>	<i>i<sub>уо</sub></i>
К <sup>(3)</sup>	4,9	7	9,8	3,8	5,4	7
К <sup>(1)</sup>	1,9	-	-	1,7	-	-
К <sup>(2)</sup>	4,3	-	-	3,8	-	-

Вывод: определены максимальные и минимальные значения токов короткого замыкания в расчетных точках. Токи рассчитаны для случаев возникновения однофазного, двухфазного и трехфазного токов КЗ.

## 7 Расчет автоматических выключателей в КТП

«Если в соответствии с ПУЭ требуется защита от перегрузки и эта защита не обеспечивается другими устройствами, то автоматические выключатели должны иметь расцепители максимального тока с обратно зависимой от тока характеристикой.

Устройства защиты должны отключать любой ток перегрузки опасный для изоляции, зажимов и т.д.

Защита от токов КЗ может быть обеспечена расцепителем, имеющим зависимость от тока характеристику. Устройства защиты должны отключать любой протекающий по проводникам ток КЗ раньше, чем возникнут опасные тепловые и механические воздействия на проводники и их соединения.

Любой аппарат защиты необходимо отстроить от токов перегрузки, свойственных нормальной эксплуатации (пусковых токов, токов самозапуска и т.д.). Для решения задачи необходимо выполнить два условия:

- характеристики электроприемника или групп ЭП и защитного аппарата не должны пересекаться. Это условие может выполняться для
- большого количества выключателей с разными номинальными токами;
- из всех допустимых вариантов необходимо выбрать выключатель с минимально возможным номинальным током и током срабатывания расцепителя» [21].

В качестве вводных выключателей на стороне 0,4 кВ КТП выбираем автоматы серии ВА55, а на отходящих линиях к потребителям автоматические выключатели серии ВА51.

Произведем выбор по номинальным параметрам и проверим на отключающую способность выключатель, размещаемый в начале линии от трансформаторной подстанции до магистрального шинпровода № 4/2.

«Условие обеспечения защиты от токов коротких замыканий и перегрузки» [7]:

$$I_{нв} \geq I_p, \quad (84)$$

$$630 \text{ A} \geq 471 \text{ A},$$

$$I_{н.расц} \geq I_p, \quad (85)$$

где  $I_{н.расц}$  – номинальный ток расцепителя выключателя, выбираемый из приведенных в каталоге технических характеристик значений, А,

$$500 \text{ A} \geq 471 \text{ A},$$

$$I_{ср.р} \geq k_n \cdot I_{кр}, \quad (86)$$

Проверяем выбранный автоматический выключатель на соответствие сечению защищаемой линии:

$$I_{дон} \geq k_з \cdot I_з, \quad (87)$$

где « $I_{дон}$  – длительно допустимое значение тока кабельной линии, А;

$k_з$  – кратность допустимого тока кабеля к току АВ, принимаемая 1 для ВА51 и 1,25 для ВА55, о.е.;

$I_з = I_n$  - расцепитель для ВА51;

$I_з = I_{со}$  - для ВА55» [7].

$$501.06 \text{ A} \geq 1 \cdot 500 = 500 \text{ A},$$

По расчетным данным принимаем автоматический выключатель ВА51-39.

Для выбора автоматического выключателя, защищающего ввод 0,4 кВ трансформаторной подстанции необходимо найти максимальное значение тока, длительно протекающего через него.

По номинальному значению мощности силового трансформатора определяем максимальный ток на стороне низкого напряжения в послеаварийном режиме при работе только одного трансформатора и полной подключенной мощности, А,

$$I_T^{n/ав} = \frac{1,3 \cdot S_n}{\sqrt{3} U_n}, \quad (88)$$

$$I_T^{n/ав} = \frac{1,3 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1244 \text{ А.}$$

Принимаем автоматический выключатель ВА55-41 с  $I_{н.расц} = 1600 \text{ А}$ .

Выбор секционного выключателя осуществляется по максимальному току, соответствующему номинальному значению тока одного силового трансформатора, А,

$$I_{T.ном} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 958 \text{ А.} \quad (89)$$

В качестве секционного автоматического выключателя выбираем ВА53-41 с  $I_{н.расц} = 1000 \text{ А}$ .

Вывод.

В качестве вводных выключателей на стороне 0,4 кВ КТП выбираем автоматы серии ВА55, а на отходящих линиях к потребителям автоматические выключатели серии ВА51.

Произведен выбор по номинальным параметрам и выполнена проверка на отключающую способность автоматических выключателей на КТП. В качестве вводных выключателей на стороне 0,4 кВ КТП выбраны автоматы серии ВА55, а на отходящих линиях к потребителям автоматические выключатели серии ВА51.

## Заключение

Целью бакалаврской работы являлось проектирование системы электроснабжения производства технологического оборудования, удовлетворяющей заданным показателям надёжности при наименьших затратах на её сооружение и эксплуатацию.

Приведены сведения об установленном на предприятии электрооборудовании, его количестве и номинальной мощности отдельных экземпляров. Дана характеристика и краткое описание выпускаемой предприятием продукции. Приводятся сведения о системе внешнего электроснабжения и источниках питания, рассматриваемого в работе производственного цеха.

В результате проведенных вычислений были определены номинальные и среднесменные нагрузки по каждой группе однотипных электроприемников, определены значения группового коэффициента использования и коэффициента мощности, найдено эффективное число электроприемников и по справочной таблице определено значение коэффициента максимума, соответствующее случаю расчёта на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции. Используя полученные значения найдены расчётные значения активной, реактивной и полной нагрузок по механическому цеху.

На основании геометрических размеров производственного цеха, материалов потолка, стен и пола выбран тип используемых источников света и определено их необходимое количество. Для обеспечения требуемого значения минимальной освещённости на рабочей поверхности, исходя из полученного значения количества светильников, номинальной мощности, потребляемой одним светильником и его коэффициента мощности определены значения активной и реактивной нагрузки потребляемая системой внутреннего освещения.

Выбрана 2КТП-ВЦ-АТ-630/6(10)/0,4-У3. В результате рассмотрения двух вариантов установки силовых трансформаторов на КТП различной мощности были получены следующие результаты: во втором варианте значение приведённых затрат оказалась выше несмотря на то, что трансформаторы устанавливаются без устройств компенсации реактивной мощности. Первый вариант показал меньшее значение приведённых затрат, в нём устанавливается два трансформатора мощностью по 630 кВА и две автоматические конденсаторные установки мощностью по 75 квар каждая.

Определены номинальные и соответственно расчётные токи отдельных электроприемников в соответствии со схемой питания и выбраны проводники. В зависимости от условий окружающей среды, типа проводника и условий прокладки определены поправочные коэффициенты и соответствие с длительно допустимым значением тока определено сечение каждого проводника. Результаты расчётов для всех электроприемников производственного цеха сведены в соответствующую таблицу.

Определены максимальные и минимальные значения токов короткого замыкания в расчетных точках. Токи рассчитаны для случаев возникновения однофазного, двухфазного и трехфазного токов КЗ.

В качестве вводных выключателей на стороне 0,4 кВ КТП выбираем автоматы серии ВА55, а на отходящих линиях к потребителям автоматические выключатели серии ВА51.

Произведен выбор по номинальным параметрам и выполнена проверка на отключающую способность автоматических выключателей на КТП. В качестве вводных выключателей на стороне 0,4 кВ КТП выбраны автоматы серии ВА55, а на отходящих линиях к потребителям автоматические выключатели серии ВА51.

## Список используемых источников

1. Абрамова Е. Я. Курсовое проектирование по электроснабжению промышленных предприятий: учебное пособие. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2012. 106 с.
2. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование : учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
3. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko\\_EUMI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf) (дата обращения: 15.12.2021).
4. Вахнина В.В., Черненко А.Н., Самолина О.В., Рыбалко Т.А. Проектирование осветительных установок [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 107 с. URL: [https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko\\_%20EUI\\_Z.pdf](https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/3383/1/Vahnina%20Chernenko%20Samolina%20Ribalko_%20EUI_Z.pdf) (дата обращения: 05.02.2022)
5. Грунтович Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования : учеб. пособие. Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2017. 271 с.
6. Данилов М.И. Романенко И.Г. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) [Электронный ресурс] : учебное пособие (курс лекций). Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. 223 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63087.html> (дата обращения: 16.01.2022).
7. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.
8. Мельников М.А. Внутризаводское электроснабжение: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. 180 с.



9. Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс]: учеб. пособие. М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2019. 416 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003805> (дата обращения 12.12.2021).
10. Пилипенко В.Т. Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах : учебно-методическое пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. 124 с.
11. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебное пособие. М.: Форум, 2015. 368 с.
12. Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358-90 от 1 августа 1993 г.
13. Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2014. 447 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/34715.html> (дата обращения: 17.12.2021).
14. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.
15. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. 3-е изд. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 136 с.
16. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
17. Alatawneh N. Effects of cable insulations' physical and geometrical parameters on sheath transients and insulation losses // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №11, pp. 95-106.
18. Maria Louis M. Elements of electrical engineering. PHI Learning Pvt. Ltd., 2014. 992 p.
19. Meier A. von. Electric power systems: a conceptual introduction. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016. 328 p.

20. Seok H., Chen C. An intelligent wind power plant coalition formation model achieving balanced market penetration growth and profit increase // Renewable Energy. 2019. № 138, pp. 1134-1142.

21. Whitaker J.C. AC power systems. 4rd ed. California: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, 2014. 428 p.