

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 предприятия по выпуску  
стекломатериалов

Обучающийся

Е.С. Печенкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., В.И. Платов

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

Консультант

к.пед.н., доцент, Т.С. Якушева

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

Тольятти 2023

## Аннотация

В выпускной квалификационной работе (ВКР) было рассмотрено электроснабжение предприятия по выпуску стекломатериалов.

При выполнении работы была дана краткая характеристика производства и определены требования к системе электроснабжения предприятия.

Произведен расчет ожидаемых электрических нагрузок от силовых электроприемников по методу расчетного коэффициента. Определены нагрузки осветительной сети и выбран тип и необходимое количество светильников для обеспечения требуемой освещенности.

Произведен расчет необходимого количества трансформаторов, их мощности и типа для установки на трансформаторной подстанции, определена потребность в компенсации реактивной мощности.

Произведен расчет токов короткого замыкания в сети предприятия и выбраны аппараты защиты.

Выполнен выбор и проверка кабелей для построения распределительной внутрицеховой сети.

Определены параметры системы заземления подстанции предприятия.

Выпускная квалификационная работа состоит из 55 страниц, 3 рисунков, 5 таблиц с результатами расчетов и справочной информацией и 6 чертежей, выполненных на формате А1 в графическом редакторе.

## **Annotation**

In the final qualifying work (WQR), the power supply of an enterprise for the production of glass materials was considered.

When performing the work, a brief description of the production was given and the requirements for the power supply system of the enterprise were determined.

The calculation of the expected electrical loads from power receivers was carried out using the calculation coefficient method. The loads of the lighting network were determined and the type and the required number of luminaires were selected to provide the required illumination.

The calculation of the required number of transformers, their power and type for installation at a transformer substation was made, the need for reactive power compensation was determined.

The calculation of short-circuit currents in the enterprise network was made and protection devices were selected.

The selection and testing of cables for building a distribution intrashop network has been completed.

The parameters of the enterprise substation grounding system are determined.

The final qualifying work consists of 56 pages, 3 figures, 5 tables with calculation results and reference information, and 6 drawings made on A1 format in a graphics editor.

## Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика выбранного производственного участка и требования, предъявляемые к электроснабжению.....	7
2 Определение параметров схемы внутреннего электроснабжения объекта .	12
2.1 Определение расчетной нагрузки по распределительному шинопроводу ШРА2 .....	14
2.2 Определение расчетной нагрузки по ШМА .....	17
2.3 Расчет нагрузки системы освещения .....	20
2.4 Электрический расчет осветительной сети объекта.....	27
2.5 Определение мощности компенсирующих устройств.....	29
2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов .....	30
2.6.1 Первый вариант .....	32
2.6.2 Второй вариант .....	33
2.7 Расчет и выбор аппаратов защиты.....	35
2.8 Определение токов КЗ .....	40
2.9 Выбор типа и сечения питающего высоковольтного кабеля.....	47
2.10 Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока.....	48
2.11 Расчет заземления на ТП .....	50
Заключение .....	53
Список используемых источников.....	54

## Введение

«В настоящий момент большим спросом пользуются различные изделия из стекломатериалов. Технологии позволяют изготавливать большое разнообразие предметов всех цветов и форм, открывая широкие возможности для дизайнеров и деятелей искусства. По-прежнему большую долю рынка потребления стекольной продукции составляют предприятия, производящие алкогольные и безалкогольные напитки. Производители посуды, металлопластиковых окон, мебельная индустрия – источники постоянного и стабильного спроса на стекло. Именно наличие такого большого количества потенциальных потребителей делает стекольный бизнес привлекательным для капиталовложений» [1].

На рисунке 1 приведен цикл оборота стекла и его переработки.



Рисунок 1 – Цикл оборота стекла и его переработки

Наибольшей популярностью и широтой потребления обладают листы стекла, которые кроме прочего еще и являются более простыми в изготовлении. При организации производства необходимо тщательное планирование всех этапов для того, чтобы конечный результат удовлетворял требованиям, необходимым широкому кругу потребителей:

- прозрачность готового стекла должна быть не ниже 84–87%;
- в готовом продукте возможно незначительное количество воздушных пузырьков, песчинок и т.д.;
- закалка стекла должна обеспечивать его прочностные характеристики (нагрузка до разрушения не ниже 250 МПа);
- устойчивость к температурным воздействиям до 1750°С.

Переработка стекла может быть разделена на следующие основные этапы:

- сборка боя стекла, банок и любой стеклянной продукции, предназначенной для утилизации;
- отделение мусора от стекла и просеивание;
- комплектация специальной установкой для определения цвета подаваемого стекла позволит получить продукцию более высокого качества и однородности;
- сбор из боя стекла металлических включений при помощи магнитной установки;
- промывка;
- осушение;
- раздробление.

Целью работы является разработка надежной системы электроснабжения предприятия по выпуску стекломатериалов.

## **1 Характеристика выбранного производственного участка и требования, предъявляемые к электроснабжению**

«Электроснабжение промышленных предприятий строится на основе питающих, распределительных, трансформаторных, преобразовательных подстанций, а также на связывающих их кабельных, воздушных сетях, токопроводов (низкого и высокого напряжения). Проектирование электроснабжения промышленных предприятий должно происходить с учетом важнейших требований, определяющих: надежность; удобство; безопасность; обеспечение необходимого количества/качества энергии; бесперебойность снабжения электрической энергии в обычном режиме и послеаварийном; экономичность по затратам энергии, материалов и оборудования. Соблюдать вышеперечисленные требования возможно при использовании взаимного резервирования путей предприятия и сплочения питания промышленных и коммунальных (а также сельских) потребителей. В момент сооружения на предприятии собственной электрической станции необходимо учесть близлежащие потребители энергии (внезаводские)» [3].

Промышленные электроприемники и технологический процесс, который они обеспечивают неразрывно связаны с построением системы электроснабжения предприятия, с теми свойствами, которыми она должна обладать и теми требованиями по надежности, электроснабжения которым она должна соответствовать. Так, на предприятиях металлургического комплекса предъявляются повышенные требования к надёжности электроснабжения, а мощность электроприемников участвующих в техпроцессе может достигать нескольких сотен мегаватт электрической мощности. Согласно нормативным документам ЭП делят на три категории по надежности электроснабжения. «К первой категории относят электроприемники, которые вследствие перерывов в электроснабжении могут проявить опасность для людей, нанести ущерб оборудованию, продукции и т. д. Такие приемники должны питаться от двух отдельных источников. Перерыв электроснабжения возможен только на

период автоматического включения резерва. Примеры: котельные производственного пара, доменные цехи, приводы вагранок, ответственные насосные, разливочные краны и др. Ко второй категории относятся электроприемники, перерыв в работе которых связан с недоотпуском продукции, простоем рабочих, механизмов, транспорта. Допустимы перерывы питания на время, которое необходимо для ручного включения резерва. К третьей категории относятся прочие электроприемники, которым позволен перерыв электроснабжения на время ремонта (не более одних суток). Например, вспомогательные цеха, неответственные склады, цеха несерийного производства и др.» [3].

«Для того чтобы правильно решать вопросы надежности, нужно точно установить режимы, которые возникают при аварии и после нее. Аварийный режим – временный режим, возникающий из-за нарушения приемлемой работы системы электроснабжения или ее отдельных элементов. Послеаварийный режим – режим после ликвидации аварии, который длится до полного восстановления нормальной работы. Очевидно, что система электроснабжения должна строиться так, чтобы при послеаварийном режиме она смогла обеспечить функционирование главных производств промышленного предприятия (после необходимых пересоединений). При послеаварийном режиме допускаются перебои в подаче электроэнергии приемниками третьей и отчасти второй категорий на небольшое время.

Напряжение, подходящее для того или иного предприятия, зависит от: потребляемой мощности предприятием; промежутком от предприятия до источника; значения номинального напряжения, при котором может производиться питание.

К примеру, для напряжения 20 кВт применяются более легкие, экономичные аппараты, чем для 35 кВт. Годовые расходы при использовании такого напряжения значительно уменьшаются. Но, как уже было сказано выше, напряжение 20 кВт не подойдет для большого промышленного предприятия. На второй и следующих ступенях распределения

электроэнергии на больших и средних заводах может применяться напряжение 10 (6) кВ. Что касается первой ступени, то на крупных предприятиях такое напряжение возможно при использовании токопроводов.

Напряжение 3 кВ не применяется в качестве основного напряжения распределительной сети. Его использование может быть задействовано для действующих электрических установок до реконструкции.

Другие напряжения применяются:

- для электроустановок до 1000 В – напряжение 380-220 В;
- на реконструируемых промышленных предприятиях – напряжение 220-127 В (довольно редко);
- в помещении с высокой опасностью – 36 В;
- для питания переносных ламп – напряжение до 12 В;
- на химических, нефтехимических промышленных предприятиях – 660 В (довольно редко)» [3].

Большая часть электроприемников, занятых в переработке стекольной продукции может быть отнесена ко второй категории по надежности электроснабжения, что приводит к необходимости проектирования и установки двух независимых источников питания, которыми на рассматриваемом производстве будут являться отдельные трансформаторы на ТП. В таблице 1 приведен перечень электроприемников производства.

Помещения производства имеют светлую окраску для улучшения коэффициентов отражения, так как производство не имеет естественного освещения, а только искусственное. Габариты производственного цеха составляют  $32 \times 48 \times 10$  м.

Таблица 1 - Перечень электроприемников производства листового стекла

№ ЭП на плане цеха	Электроприемник	Рном, кВт	N, шт.
1	Рельсовая механизированная тележка	5	1
2	Установка по нанесению на стекло аммиачно-мелового раствора	3	1
3	Аккумуляторная установка	3	9
4	Установка металлопокрытия	50	2
5	Высоковакуумная насосная установка	17	2
6	Система промежуточной обработки стекла	2	2
7	Лемах оберточно-упаковочная машина	3	1
8	Сушильная камера BG Holztechnik	47,2	1
9	Установка для раскладки стекла перед резкой	1,2	9
10	Установка для складирования	3	4
11	Установка для разделки	5,3	3
12	Устройство шлифовки торцов	5	2
13	Установка сушильная	13	2
14	Устройство для работы с кромками изделия	10,3	1
15	Вертикально-сверлильный станок BELMASH DP250-16J	4	1
16	Установка для складирования готового стекла	1,2	5
17	Установка по финишной обработке изделий	1,2	15

Продолжение таблицы 1

№ ЭП на плане цеха	Электроприемник	Рном, кВт	N, шт.
18	Аппарат для пескоструйной обработки стекла Sabbiare	53	1
19	Упаковочная установка	3	2
20	Транспортер	1	37
21	Нагревательная установка	2	40
22	Автоматизированная линия	6	5

Выводы по разделу.

В разделе приведены габаритные характеристики производственного цеха, номинальные нагрузки планируемых к установке технологических электроприемников. Выполнен обзор используемых в сегодняшней практике схем внутрицехового промышленного электроснабжения.

## 2 Определение параметров схемы внутреннего электроснабжения объекта

«Расчет электрических нагрузок - наиболее ответственный расчет, выполняемый при проектировании системы электроснабжения каждого предприятия любой отрасли народного хозяйства. Завышение нагрузки может привести к перерасходу проводникового материала, удорожанию строительства» [3].

Для выбора элементов системы электроснабжения необходимо на первом этапе определить расчетные нагрузки.

В качестве примера выполним расчет ожидаемых расчетных электрических нагрузок от электроприемников, подключенных к распределительному шинному ряду №2.

Таблица 2 - Электроприемники, подключенные к распределительному шинному ряду №2

№ ЭП на плане	Электроприемник	N, шт	Pном, кВт	Kи	cosφ/tgφ
03	Аккумуляторная установка	3	3	0,3	0,4/2,29
04	Установка металлопокрытия	1	50	0,2	0,65/1,16
06	Система промежуточной обработки стекла	2	2	0,25	0,4/2,29
08	Сушильная камера BG Holztechnik	1	47,2	0,6	0,95/0,32
012	Устройство шлифовки торцов	2	5	0,25	0,52/1,64

Продолжение таблицы 2

№ ЭП на плане	Электроприемник	N, шт	P <sub>ном</sub> , кВт	K <sub>и</sub>	cosφ/tgφ
013	Установка сушильная	2	13	0,25	0,4/2,29
014	Устройство для работы с кромками изделия	1	10,3	0,25	0,52/1,64
015	Вертикально- сверлильный станок BELMASH DP250-16J	1	4	0,4	0,65/1,16
016	Установка для складирования готового стекла	5	1,2	0,25	0,4/2,29
017	Установка по финишной обработке изделий	5	1,2	0,25	0,4/2,29
019	Упаковочная установка	2	3	0,25	0,52/1,64
022	Автоматизированная линия	2	5	0,5	0,8/0,75

На примере устройства для шлифовки торцов находим значение номинальной мощности группы ЭП:

$$P_{ном.уст012} = n \cdot P_{ном012}, \quad (1)$$

где «n – количество электроприёмников в группе» [2];

$$P_{ном.уст012} = 2 \cdot 5 = 10 \text{ кВт}.$$

Определяем среднюю за смену активную мощность:

$$P_{см012} = P_{ном.уст012} \cdot K_{и}, \quad (2)$$

$$P_{см012} = 10 \cdot 0,25 = 2,5 \text{ кВт} .$$

Определяем среднюю за смену реактивную мощность:

$$Q_{см012} = P_{см012} \cdot \text{tg} \phi , \quad (3)$$

$$Q_{см012} = 2,5 \cdot 1,64 = 4,1 \text{ кВар} .$$

Далее переходим к определению нагрузок по узлам питания.

## 2.1 Определение расчетной нагрузки по распределительному шинопроводу ШРА2

Находим номинальную групповую мощность всех электроприемников, получающих питание от ШРА2:

$$P_{ном.ШРА2} = \sum_1^n P_{ном.гр} , \quad (4)$$

$$P_{ном.ШРА2} = 9 + 50 + 4 + 47,2 + 10 + 26 + 10,3 + 4 + 6 + 6 + 6 + 10 = 188,5 \text{ кВт} .$$

Суммируем средние за смену активные мощности отдельных групп ЭП:

$$P_{см.ШРА2} = \sum_1^n P_{см.гр} , \quad (5)$$

$$P_{см.ШРА2} = 2,7 + 10 + 1 + 28,32 + 2,5 + 6,5 + 2,57 + 1,6 + 1,5 + 1,5 + 1,5 + 5 = 64,69 \text{ кВт}$$

Суммируем средние за смену реактивные мощности отдельных групп ЭП:

$$Q_{см.ШРА2} = \sum_1^n Q_{см.гр} , \quad (6)$$

$$Q_{см.ШРА2} = 6,2 + 11,6 + 2,29 + 9 + 4,1 + \\ + 14,8 + 4,2 + 1,8 + 3,4 + 3,4 + 2,5 + 3,75 = 67,1 \text{кВар}$$

Определяем значение показателя  $m$ :

$$m = \frac{P_{ном.наиб.ШРА2}}{P_{ном.ШРА2}}, \quad (7)$$

где « $P_{ном.наиб.}$  - единичная номинальная мощность наибольшего по мощности электроприёмника;

$P_{ном}$  - единичная номинальная мощность наименьшего по мощности электроприёмника» [2];

$$m = \frac{50}{1,2} = 42 \geq 3.$$

Находим групповой коэффициент использования по узлу питания:

$$K_{И.ШРА2} = \frac{P_{см.ШРА2}}{P_{ном.ШРА2}}, \quad (8)$$

$$K_{И.ШРА2} = \frac{64,69}{188,5} = 0,34 \geq 0,2.$$

Находим групповой тангенс  $\phi$  по узлу питания:

$$tg\phi_{ШРА2} = \frac{Q_{см.ШРА2}}{P_{см.ШРА2}}, \quad (9)$$

$$tg\phi_{ШРА2} = \frac{67,1}{64,69} = 1,03 \rightarrow \cos\phi_{ШРА2} = 0,69.$$

Определяем  $n_{эф}$ :

$n_3 = 8$  так как при выполнении условий  $m > 3$ ,  $K_{и} > 0,2$ ,  $n > 5$  допустимо использовать упрощенную формулу:

$$n = \frac{2 \sum_1^n \cdot P_{ном}}{P_{ном.наиб}}, \quad (10)$$

$$n = \frac{2 \cdot 188,5}{50} = 7,54 \approx 7.$$

Определяем по таблице, для постоянной времени нагрева, соответствующей ШРА значение коэффициент максимума:

$$K_{макс} = 1,72.$$

Находим значение максимальной ожидаемой активной нагрузки по ШРА:

$$P_{макс.ШРА2} = P_{см.ШРА2} \cdot K_{макс}, \quad (11)$$

$$P_{макс.ШРА2} = 64,69 \cdot 1,72 = 111,2 \text{ кВт}.$$

Находим значение максимальной ожидаемой реактивной нагрузки по ШРА:

$$Q_{макс.ШРА2} = Q_{см.гр}, \text{ если } n \geq 10$$

$$Q_{макс.ШРА2} = 67,1 \text{ кВАр}.$$

Находим значение максимальной ожидаемой полной нагрузки по ШРА:

$$S_{макс.ШРА2} = \sqrt{P_{макс.ШРА2}^2 + Q_{макс.ШРА2}^2}, \quad (12)$$

$$S_{макс.ШРА2} = \sqrt{111,2^2 + 67,2^2} = 133,5 \text{ кВАр}.$$

По найденному значению полной мощности находим максимальный ожидаемый ток в ШРА:

$$I_{\text{макс.ШРА2}} = \frac{S_{\text{макс.ШРА2}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (13)$$

$$I_{\text{макс.ШРА2}} = \frac{133,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 202,8 \text{ A}.$$

## 2.2 Определение расчетной нагрузки по ШМА

- определяем номинальную мощность ЭП, получающих питание от ШМА:

$$P_{\text{ном.ШМА}} = \sum_1^n \cdot P_{\text{ном.гр}}, \quad (14)$$

$$P_{\text{ном.ШРА2}} = 13,8 + 102,9 + 44 + 188,5 + 195 = 544,2 \text{ кВт}.$$

- находим среднее за наиболее загруженную смену значение активной нагрузки:

$$P_{\text{см.ШМА}} = \sum_1^n \cdot P_{\text{см.гр}}, \quad (15)$$

$$P_{\text{см.ШМА}} = 3,16 + 47,25 + 31,25 + 64,69 + 69 = 215,35.$$

- находим среднее за наиболее загруженную смену значение реактивной нагрузки:

$$Q_{\text{см.ШМА}} = \sum_1^n \cdot Q_{\text{см.гр}}, \quad (16)$$

$$Q_{см.ШМА} = 7 + 107 + 19,7 + 67,1 + 134,6 = 335,4 \text{кВАр}.$$

- определяем коэффициент  $m$

$$m = \frac{P_{ном.наиб.ШРА2}}{P_{ном.ШРА2}}, \quad (17)$$

$$m = \frac{53}{1,2} = 44 \geq 3.$$

- групповой коэффициент использования для ШМА:

$$K_{и.ШМА} = \frac{P_{см.ШМА}}{P_{ном.ШМА}}, \quad (18)$$

$$K_{и.ШРА2} = \frac{215,35}{544,2} = 0,39 \geq 0,2.$$

- находим средневзвешенное значение коэффициента мощности:

$$tg\phi_{ШМА} = \frac{Q_{см.ШМА}}{P_{см.ШМА}}, \quad (19)$$

$$tg\phi_{ШМА} = \frac{335,4}{215,35} = 1,55 \rightarrow \cos\phi_{ШМА} = 0,54.$$

- определяем эффективное число ЭП:

$$n_3 = 21, \text{ т.к. } m > 3, K_{и} > 0,2, n > 5$$

$$n = \frac{2 \sum_1^n \cdot P_{ном}}{P_{ном.наиб}}, \quad (20)$$

$$n = \frac{2 \cdot 544,2}{53} = 20,5 \approx 21.$$

- найдем значение коэффициента максимума по справочной таблице для магистральных шинопроводов:

$$K_{\text{макс}} = 1,24.$$

- определяем максимальное значение расчетной нагрузки ШМА:

$$P_{\text{макс.ШМА}} = P_{\text{см.ШМА}} \cdot K_{\text{макс}}, \quad (21)$$

$$P_{\text{макс.ШМА}} = 215,35 \cdot 1,24 = 267 \text{ кВт}.$$

- определяем максимальное значение расчетной реактивной нагрузки ШМА:

$$Q_{\text{макс.ШМА}} = Q_{\text{см.гр}}, \text{ при } n \geq 10$$

$$Q_{\text{макс.ШМА}} = 335,4 \text{ кВАр}.$$

- определяем максимальное значение расчетной полной нагрузки по ШМА:

$$S_{\text{макс.ШМА}} = \sqrt{P_{\text{макс.ШМА}}^2 + Q_{\text{макс.ШМА}}^2}, \quad (22)$$

$$S_{\text{макс.ШМА}} = \sqrt{267^2 + 335,4^2} = 428,7 \text{ кВАр}.$$

- находим максимальное значение ток ШМА:

$$I_{\text{макс.ШМА}} = \frac{S_{\text{макс.ШМА}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}, \quad (23)$$

$$I_{\text{макс.ШРА2}} = \frac{428,7 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 651,2 \text{ A}.$$

Определение нагрузок по прочим узлам питания производства выполняем по представленной выше методике, результаты расчетов сводим в таблицу 3.

### **2.3 Расчет нагрузки системы освещения**

«Освещение имеет важное гигиеническое значение. Хорошее освещение создает благоприятные условия для жизни и деятельности человека. Важно не просто освещать помещение или отдельное рабочее место, а создавать освещение, которое соответствовало бы характеру выполняемой работы» [3].

При расчете освещения используются данные о требуемой освещенности и геометрических параметрах помещения:

- высота свеса светильников от потолка  $h_c = 0,6$  м;
- геометрические размеры помещения 48 х 32 х 6 м.
- средняя нормируемая освещенность на рабочей поверхности  $E_n = 300$  лк;
- принимаемый коэффициент запаса от чистоты помещения  $K_z = 1,5$ ;
- высота, на которой нормируется освещенность  $h_p = 0,8$  м.

Таблица 3 - Определение нагрузок по прочим узлам питания производства

№ ЭП на плане	Электроприемники	N, шт	Номинальная нагрузка		m	K <sub>н</sub>	cosφ / tgφ	Средне-сменная нагрузка		n <sub>э</sub>	K <sub>м</sub>	Максимальная ожидаемая нагрузка			I <sub>макс</sub> , А
			P <sub>ном</sub> , кВт	P <sub>ном.Σ</sub> , кВт				P <sub>см</sub> кВт	Q <sub>см</sub> кВАр			P <sub>макс</sub> кВт	Q <sub>макс</sub> кВАР	S <sub>макс</sub> кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
3	Аккумуляторная установка	1	3	3	-	0,3	0,4/ 2,29	0,9	2	-	-	-	-	-	-
9	Установка для раскладки стекла перед резкой	9	1,2	10,8	-	0,2	0,4/ 2,29	2,16	5	-	-	-	-	-	-
-	Итого по ПР1	10>5	-	13,8	2,5<3	0,22> 0,2	0,4/ 2,29	3,16	7	10	1,84	5,8	7	9	13,7
1	Рельсовая механизированная тележка	1	5	5	-	0,2	0,4/ 2,29	1	2,29	-	-	-	-	-	-
2	Установка по нанесению на стекло аммиачно-мелового раствора	1	3	3	-	0,25	0,52/ 1,64	0,75	1,23	-	-	-	-	-	-
3	Аккумуляторная установка	4	3	12	-	0,3	0,4/ 2,29	3,6	8,2	-	-	-	-	-	-
10	Установка для складирования	4	3	12	-	0,2	0,4/ 2,29	2,4	5,5	-	-	-	-	-	-
11	Установка для разделки	3	5,3	15,9	-	0,25	0,52/ 1,64	4	9,1	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
21	Нагревательная установка	1	40	40	-	0,7	0,35/ 2,67	28	74,8	-	-	-	-	-	-
22	Автоматизированная линия	3	5	15	-	0,5	0,8/ 0,75	7,5	5,7	-	-	-	-	-	-
-	Итого по ШРА1	17>5	-	102,9	13,4>3	0,46>0,2	0,41/ 2,26	47,25	107	5	1,57	74,2	107	138,7	210,7
20	Транспортер	1	37	37	-	0,75	0,85/ 0,61	27,75	17	-	-	-	-	-	-
22	Автоматизированная линия	1	7	7	-	0,5	0,8/ 0,75	3,5	2,7	-	-	-	-	-	-
-	Итого по ПР2	2>5	-	44	5,2>3	0,71>0,2	0,84/ 0,63	31,25	19,7	2	1,29	40,3	21,67	44,8	68,2
3	Аккумуляторная установка	3	3	9	-	0,3	0,4/ 2,29	2,7	6,2	-	-	-	-	-	-
4	Установка металлопокрытия	1	50	50	-	0,2	0,65/ 1,16	10	11,6	-	-	-	-	-	-
6	Система промежуточной обработки стекла	2	2	4	-	0,25	0,4/ 2,29	1	2,29	-	-	-	-	-	-
8	Сушильная камера BG Holztechnik	1	47,2	47,2	-	0,6	0,95/ 0,32	28,32	9	-	-	-	-	-	-
12	Устройство шлифовки торцов	2	5	10	-	0,25	0,52/ 1,64	2,5	4,1	-	-	-	-	-	-
13	Установка сушильная	2	13	26	-	0,25	0,4/ 2,29	6,5	14,8	-	-	-	-	-	-
14	Устройство для работы с кромками изделия	1	10,3	10,3	-	0,25	0,52/ 1,64	2,57	4,2	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
15	Вертикально-сверлильный станок BELMASH DP250-16J	1	4	4	-	0,4	0,65/ 1,16	1,6	1,85	-	-	-	-	-	-
16	Установка для складирования готового стекла	5	1,2	6	-	0,25	0,4/ 2,29	1,5	3,4	-	-	-	-	-	-
17	Установка по финишной обработке изделий	5	1,2	6	-	0,25	0,4/ 2,29	1,5	3,4	-	-	-	-	-	-
19	Упаковочная установка	2	3	6	-	0,25	0,52/ 1,64	1,5	2,5	-	-	-	-	-	-
22	Автоматизированная линия	2	5	10	-	0,5	0,8/ 0,75	5	3,75	-	-	-	-	-	-
-	Итого по ШРА2	27>5	-	118,5	42>3	0,34>0,2	0,69/ 1,03	64,69	67,1	8	1,72	111,2	67,1	133,5	202,8
3	Аккумуляторная установка	1	3	3	-	0,3	0,4/ 2,29	0,9	2,1	-	-	-	-	-	-
4	Установка металлопокрытия	1	50	50	-	0,25	0,65/ 1,16	12,5	14,5	-	-	-	-	-	-
5	Высоковакуумная насосная установка	2	17	34	-	0,25	0,65/ 1,16	8,5	9,8	-	-	-	-	-	-
7	Летах оберточно-упаковочная машина	1	3	3	-	0,25	0,4/ 2,29	0,75	1,7	-	-	-	-	-	-
17	Установка по финишной обработке изделий	10	1,2	12	-	0,2	0,4/ 2,29	2,4	5,5	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
18	Аппарат для пескоструйной обработки стекла Sabbiare	1	53	53	-	0,3	0,52/ 1,64	15,9	26	-	-	-	-	-	-
21	Нагревательная установка	1	40	40	-	0,7	0,35/2,67	28	75	-	-	-	-	-	-
-	Итого по ШРАЗ	17>5	-	195	44>3	0,35>0,2	0,45/ 1,95	69	134,6	7	1,8	124,2	134	193,2	293,5
-	Итого по ШМА	73>5	-	544,2	44>3	0,39>0,2	0,54/ 1,55	215,35	335,4	21	1,24	267	335,4	428,7	651,4
-	Система иск. освещения	176	0,039	8	-	0,95	0,9/ 0,48	7,6	3,7	-	-	-	-	-	-
-	Всего с осветит. уст.	73>5	-	552,2	44>3	0,4>0,2	0,55/ 1,5	227,35	342,7	7	1,24	282	342,7	443,7	674,2
-	Устройства КРМ	-	-	-	-	-	-	-	-200	-	-	-	-	-	-
-	Всего с учетом КРМ	73>5	-	552,2	44>3	0,4>0,2	089/0,53	227,35	122,7	7	1,24	282	122,7	307,5	467,2

Находим расстояние от светильников до рабочей поверхности:

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (24)$$

$$H_p = 6 - 0,6 - 0,8 = 4,4 \text{ м.}$$

Определим расстояние между соседними рядами осветительных установок:

$$L = \lambda \cdot H_p, \quad (25)$$

$$L = 4,4 \cdot 0,7 = 3,08 \approx 3 \text{ м.}$$

Найдем расстояние от стены до первой осветительной установки:

$$\ell = 0,5 \cdot L, \quad (26)$$

$$\ell = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ м.}$$

Количество рядов:

$$N_A = \frac{A - 2\ell}{L} + 1, \quad (27)$$

$$N_A = \frac{48 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 16 \text{ шт.}$$

Число штук в одном ряду:

$$N_B = \frac{B - 2 \cdot \ell}{L} + 1, \quad (28)$$

$$N_B = \frac{32 - 2 \cdot 1,5}{3} + 1 = 11 \text{ шт.}$$

Суммарно количество осветительных установок:

$$N_{об} = N_A \cdot N_B, \quad (29)$$

$$N_{об} = 16 \cdot 11 = 176 \text{шт.}$$

Определяем расчетное значение светового потока одного светильника:

$$\Phi_p = \frac{A \cdot B \cdot E \cdot K_3 \cdot Z}{N_{об} \cdot \eta}, \quad (30)$$

где «S – площадь помещения;

$E_n$  – нормируемая освещенность;

$K_3$  – коэффициент запаса;

$Z$  – коэффициент усредняющий среднюю минимальную освещенность;

$\eta$  - КПД ламп светильника» [4];

$$\Phi_p = \frac{300 \cdot 48 \cdot 32 \cdot 1,5 \cdot 1,15}{2 \cdot (16 \cdot 11) \cdot 0,8} = 2822,5 \text{лм.}$$

Значение нормируемой освещенности составит:

$$E_p = \frac{\Phi_n \cdot E_n}{\Phi_p}, \quad (31)$$

$$E_p = \frac{5200 \cdot 300}{2822,5} = 552 \text{лк.}$$

Находим значение коэффициента запаса:

$$K_3 = \frac{E_p}{E_n}, \quad (32)$$

$$K_3 = \frac{552}{300} = 1,84.$$

По результатам проведенных расчетов принимаем светодиодные светильники типа LED LL-DVO-041-M с мощностью одного светильника 39 Вт и световым потоком светильника равным 5200 лм.

## 2.4 Электрический расчет осветительной сети объекта

Произведем расчет нагрузок от системы освещения для выбора проводников и защитных аппаратов, устанавливаемых в сети освещения.

Определим активную нагрузку системы освещения:

$$P_{осв} = N \cdot P_l \cdot K_{И} \cdot K_{пра}, \quad (33)$$

где « $K_{И}$  - коэффициент использования;

$K_{пра}$  - коэффициент пускорегулирующей аппаратуры» [3];

$$P_{осв} = 16 \cdot 11 \cdot 0,039 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 8 \text{ кВт}.$$

Определим реактивную нагрузку системы освещения:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \text{tg} \phi, \quad (34)$$

$$Q_{осв} = 8 \cdot 0,48 = 4 \text{ кВАр}.$$

Определим полную нагрузку системы освещения:

$$S_{осв} = \sqrt{P_{осв}^2 + Q_{осв}^2}, \quad (35)$$

$$S_{осв} = \sqrt{8^2 + 4^2} = 10.$$

Найдем значение максимального тока:

$$I_{осв} = \frac{S_{осв} \cdot K_{пуск}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (36)$$
$$I_{осв} = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 380} = 21,2 A.$$

Найдем ток теплового расцепителя для вводного автоматического выключателя:

$$I_{TP} = 1,15 \cdot I_{осв}, \quad (37)$$
$$I_{TP} = 1,15 \cdot 21,2 = 25 A.$$

Определим номинальный ток, протекающий по отходящей линии:

$$I_n = I_{осв} / N_{A(B)}, \quad (38)$$
$$I_n = 25 / 16 = 1,5.$$

Найдем ток теплового расцепителя автоматического выключателя для двухрядной отходящей линии [2]:

$$I_{TP.л} = 2 \cdot 1,15 \cdot I_n, \quad (39)$$
$$I_{TP.л} = 2 \cdot 1,15 \cdot 2,1 = 4,8 A.$$

Для защиты осветительной сети от токов КЗ выбираем 8 автоматов производства Schneider electric типа IC60N с номинальным током 6А и током теплового расцепителя 6А. В качестве проводников используем специальный осветительный шинопровод E-line КАМ-0205-В-STD с длительно допустимым током 25 А , который превышает расчетное значение  $I_{осв}=1,5$  А.

Принимаем щит освещения ОЩВ-9 УЛ4 для подключения 9 отходящих линий с вводным автоматом Schneider electric IC60N с номинальным током 50 А и током теплового расцепителя 50 А, и на 8 линейных автоматов Schneider electric IC60N, выбранных ранее. Питание щита освещения от РУ 0,4 кВ осуществляется по кабелю марки ВВГнг LS 4×16 с длительно допустимым значением тока равным 60 А, что превышает суммарное расчетное значение 21,2 А.

## 2.5 Определение мощности компенсирующих устройств

«Компенсация реактивной мощности в настоящее время является немаловажным фактором, позволяющим решить вопрос энергосбережения практически на любом предприятии. По оценкам ведущих специалистов доля энергоресурсов, в частности электроэнергии, составляет порядка 30-40 % от стоимости продукции. Это достаточно веский аргумент, чтобы со всей серьезностью подойти к анализу энергопотребления и выработке методики компенсации реактивной мощности промышленного предприятия» [3].

Найдем расчетное значения необходимой КУ:

$$Q_K = a \cdot P_{cm} \cdot (tg\varphi - tg\phi_K), \quad (40)$$

где « $a$  – коэффициент, учитывающий изменение среднегодового потребления электрической энергии;

$tg\varphi_1$  - значение тангенса угла сдвига фаз, соответствующее среднегодовому коэффициенту мощности  $\cos\varphi_1$  до компенсации;

$tg\varphi_2$  - рекомендуемое значение  $tg\varphi$  энергосистемы;

$P_{cm}$  - среднесменная активная мощность участка» [6];

$$Q_K = 0,8 \cdot 227,35 \cdot (1,5 - 0,42) = 196,4 \text{ кВАр}.$$

Выбираем по полученному значению стандартно выпускаемое значение КУ [4]:

$$Q_{CTK} = 220 \text{кВАр} .$$

Определяем фактическое значение  $\text{tg}\phi$  и соответствующего ему  $\cos\phi$

$$\text{tg}\phi = \text{tg}\varphi - \frac{Q_{CTK}}{P_{cm} \cdot a} \quad (41)$$

$$\text{tg}\phi = 1,5 - \frac{220}{227,35 \cdot 0,8} = 0,36 \rightarrow \cos\phi = 0,94$$

Принимаем к установке на КТП две автоматические установки АУКРМ-0.4-110-10 с номинальной мощностью компенсации каждой по 110 кВАр и номинальным напряжением 0,4 кВ.

## 2.6 Выбор числа и мощности трансформаторов

«Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанциях определяется величиной и характером электрических нагрузок (требуемой надежностью электроснабжения и характером потребления электроэнергии), территориальным размещением нагрузок, их перспективным изменением и при необходимости обосновывается технико-экономическими расчетами» [3].

Исходными данными для выбора трансформаторов служат результаты расчета нагрузок и выбора мощности КУ:

- необходимые напряжения обмоток ВН и НН 10 и 0,4 кВ соответственно;
- значение  $\cos\phi$  после установки КУ равно 0,89
- значение средней за смену активной нагрузки  $P_{cm} = 227,35$  кВт;
- значение средней за смену реактивной нагрузки  $Q_{cm} = 122,7$  кВАр;
- значение средней за смену полной нагрузки  $S_{max} = 307,5$  кВАр.

Условие выбора номинальной мощности трансформатора:

$$S_{TP} \geq S_{max.pac} \cdot \quad (42)$$

где « $S_{TP}$  – мощность трансформатора;

$S_{max}$  - расчетное значение полной максимальной мощности после компенсации с учетом потерь трансформатора» [5].

Определим величину потерь активной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_{TP} = 0,02 \cdot S_{max}, \quad (43)$$

$$\Delta P_{TP} = 0,02 \cdot 307,5 = 6,15 \text{ кВт}.$$

Определим величину потерь реактивной мощности в трансформаторе:

$$\Delta Q_{TP} = 0,1 \cdot S_{max}, \quad (44)$$

$$\Delta Q_{TP} = 0,1 \cdot 307,5 = 3,1 \text{ кВт}.$$

Определим величину потерь полной мощности в трансформаторе [5]:

$$\Delta S_{TP} = \sqrt{\Delta P_{TP}^2 + \Delta Q_{TP}^2}, \quad (45)$$

$$\Delta S_{TP} = \sqrt{6,15^2 + 3,1^2} = 6,9 \text{ кВА}.$$

Приводим расчетное значение мощности к стороне ВН путем учета потерь в СТ:

$$S_{TP.BH} = S_{max} + \Delta S_{TP}, \quad (46)$$

$$S_{TP.BH} = 307,5 + 6,9 = 314,4 \text{ кВА}.$$

Рассмотрим два варианта.

### 2.6.1 Первый вариант

В качестве первого варианта рассмотрим установку на КТП 2х СТ мощностью по 250 кВА каждый.

Определим значение коэффициента загрузки СТ:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{S_T}, \quad (47)$$

$$K_3 = \frac{314,4}{2 \cdot 250} = 0,64.$$

Проверим на допустимость режима при отключении одного из трансформаторов:

$$1,4 \cdot 250 = 350 \text{кВА} \geq 0,75 \cdot 314,4 = 235,8 \text{кВА}.$$

Определи время максимальных потерь мощности в СТ:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_p, \quad (48)$$

где « $\tau$  – время максимальных потерь;

$T_M$  – время использования максимальной нагрузки предприятия за год;

$T_p$  – время работы трансформатора за год» [7].

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2450.$$

Стоимость потерь электрической энергии [1]:

$$C_0 = \left(\frac{a}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_p, \quad (49)$$

где « $C_0$  – удельная стоимость потерь холостого хода;

$\beta$  – плата за 1 кВт час потребляемой электроэнергии» [9];

$$C_0 = \left( \frac{105}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 8760 = 422,6 \text{ руб} / \text{кВт год},$$

$$C = \left( \frac{a}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2} \right) \cdot \tau, \quad (50)$$

$$C = \left( \frac{105}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2} \right) \cdot 2405 = 116 \text{ руб} / \text{кВт год}.$$

Стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах за год:

$$C \cdot \Delta P = C_0 \cdot P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} \quad (51)$$

$$C \cdot \Delta P = 422,6 \cdot 0,74 + 116 \cdot 0,64 \cdot 3,7 = 587,4$$

Находим приведенные затраты, учитывающие стоимость трансформаторов и потерь в них:

$$Z_T = E \cdot C_{ТЗ} + C \cdot \Delta P_T \quad (52)$$

$$Z_T = 0,223 \cdot (210000 \cdot 2) + 587,4 \cdot 2 = 94834,8 \text{ рублей}.$$

Перейдем ко второму варианту.

### 2.6.2 Второй вариант

В качестве второго варианта рассмотрим установку на КТП одного СТ мощностью 400 кВА.

Определим значение коэффициента загрузки СТ [6]:

$$K_3 = \frac{S_{max}}{S_T} \quad (53)$$

$$K_3 = \frac{314,4}{400} = 0,79$$

Определи время максимальных потерь мощности в СТ:

$$\tau = \left(0,124 + \frac{T_M}{10000}\right)^2 \cdot T_p \quad (54)$$

$$\tau = \left(0,124 + \frac{4000}{10000}\right)^2 \cdot 8760 = 2450$$

Стоимость потерь электрической энергии:

$$C_0 = \left(\frac{a}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot T_p \quad (55)$$

$$C_0 = \left(\frac{105}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 8760 = 422,6 \text{ руб} / \text{кВт год}$$

$$C = \left(\frac{a}{T_M} + \beta \cdot 10^{-2}\right) \cdot \tau \quad (56)$$

$$C = \left(\frac{105}{4000} + 0,9 \cdot 10^{-2}\right) \cdot 2405 = 116 \text{ руб} / \text{кВт год}$$

Стоимость потерь электроэнергии в трансформаторах за год:

$$C \cdot \Delta P = C_0 \cdot P_{xx} + C \cdot K_3^2 \cdot \Delta P_{кз} \quad (57)$$

$$C \cdot \Delta P = 422,6 \cdot 0,74 + 116 \cdot 0,64 \cdot 3,7 = 587,4$$

Находим приведенные затраты, учитывающие стоимость трансформаторов и потерь в них [9]:

$$Z_T = E \cdot C_{T3} + C \cdot \Delta P_T \quad (58)$$

$$Z_T = 0,223 \cdot 430000 + 587,4 \cdot 2 = 97064 \text{ рублей.}$$

По наименьшему значению приведенных затрат выбираем установку на КТП двух силовых трансформаторов мощностью по 250 кВА каждый.

## 2.7 Расчет и выбор аппаратов защиты

«Вопрос выбора защитного устройства является актуальным. Защищаемое оборудование становится все дороже и поэтому любая авария в электроустановке вызывает трудности в устранении поломки, связанные с поиском комплектующих, времени устранения поломки и стоимостью. Поэтому необходимо на стадии проектирования выбрать правильное защитное устройство исходя из многих критериев:

- доступность;
- надежность;
- экономичность изделия;
- комплексная экономичность» [3].

Расчеты по выбору номинальных токов и токов расцепителей для защиты остальных ЭП производим аналогичным образом, а полученные результаты выбора заносим в таблицу 4.

Выполним расчет параметров автоматического выключателя для защиты устройства шлифовки торцов.

Определяем номинальный ток ЭП [8]:

$$I_{ном012} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot \eta} \quad (59)$$

$$I_{ном012} = \frac{5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,52 \cdot 0,75} = 19,5$$

Находим значение тока теплового расцепителя автомата:

$$I_{TP012} = 1,15 \cdot I_{ном012} \quad (60)$$

$$I_{TP012} = 1,15 \cdot 19,5 = 22,4 A$$

Таблица 4 - Расчеты по выбору номинальных токов и токов расцепителей для защиты остальных ЭП

№ ЭП на плане	Наименование потребителя	Количество, п	Номинальная мощность $P_{ном}$ , кВт	$I_{ном}$ , А	$I_{пуск}$ , А	$I_{т.р.}$ , А		$I_{эмр}$ , А		$I_{ном.авт.}$ , А	Модификация выбранного аппарата	Номинальный допустимый ток $I_{доп}$ , А	Сечение провода $S$ мм <sup>2</sup>
						Расчётное значение	Стандартное значение	Расчётное значение	Стандартное значение				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	Аккумуляторная установка	1	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	3П 20А	25	4×2,5
9	Установка для раскладки стекла перед резкой	9	1,2	6	23,5	7	10	35	100	10	3П 10А	19	4×1,5
ПП1 выбран ПР11-1045-21У3 с $I_{ном} = 100А$ , 3П 25А, $I_{ном.авт} = 25А$													
1	Рельсовая механизированная тележка	1	5	25,3	126	29,1	40	158	400	40	3П 40А	35	4×4

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2	Установка по нанесению на стекло аммиачно-мелового раствора	1	3	11,5	58,4	13,4	20	73,1	200	20	3П 20А	19	4×1,5
3	Аккумуляторная установка	4	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	3П 20А	25	4×2,5
10	Установка для складирования	4	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	3П 20А	25	4×2,5
11	Установка для разделки	3	5,3	20,6	103	23,7	32	128,75	320	32	3П 32А	35	4×4
21	Нагревательная установка	1	40	180,2	540,6	207,23	250	675,7	2500	250	EasyPact 250А	305	4×150
22	Автоматизированная линия	3	5	11,8	59,3	13,6	20	74,1	200	20	3П 20А	25	4×2,5
ШРА1 «Басбар» E-Line КО, I <sub>НОМ</sub> = 400А, Schneider Electric EasyPact, I <sub>НОМ.АВТ.</sub> = 400А													
20	Транспортер	1	37	88,2	401,2	89,8	100	507,5	1000	100	3П 100А	95	4×25
22	Автоматизированная линия	3	5	11,8	59,3	13,6	20	74,1	200	20	3П 20А	25	4×2,5
ПР2 выбран ПР11-1045-21У3 с I <sub>НОМ</sub> = 100А, Schneider electric C120N 3П I <sub>НОМ.АВТ.</sub> = 100А													
3	Аккумуляторная установка	3	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	3П 20А	25	4×2,5
4	Установка металлопокрытия	1	50	155,8	780,2	179,2	200	970,3	2000	200	EasyPact 200А	180	4×70

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
6	Система промежуточной обработки стекла	2	2	10,1	50,5	11,6	20	63,3	200	20	3П 20А	25	4×2,5
8	Сушильная камера BG Holztechnik	1	47,2	80	397	91,3	100	495,5	1000	100	С120N 3П 100А	95	4×25
12	Устройство шлифовки торцов	2	5	19,4	97,3	22,4	25	121,7	250	25	3П 25А	35	4×4
13	Установка сушильная	2	13	65,8	329,1	75,7	80	411,4	1000	80	С120N 3П 80А	75	4×16
14	Устройство для работы с кромками изделия	1	10,3	40,1	200,7	46,1	63	250,7	630	63	3П 63А	55	4×10
15	Вертикально-сверлильный станок BELMASH DP250-16J	1	4	12,4	62,5	14,4	20	78,2	200	20	3П 20А	25	4×25
16	Установка для складирования готового стекла	5	1,2	6	30,4	6,8	20	38,1	200	20	3П 20А	25	4×2,5
17	Установка по финишной обработке изделий	5	1,2	6	30,4	6,8	20	38,1	200	20	3П 20А	25	4×2,5
19	Упаковочная установка	2	3	11,7	58,5	13,5	20	73,2	200	20	3П 20А	25	4×2,5

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
22	Автоматизированная линия	3	5	11,8	59,3	13,6	20	74,1	200	20	3П 20А	25	4×2,5
ШРА2 «Басбар» E-Line KO, I <sub>НОМ</sub> = 400А, Schneider Electric EasyPact, I <sub>НОМ.АВТ.</sub> = 400А													
3	Аккумуляторная установка	3	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	3П 20А	25	4×2,5
4	Установка металлопокрытия	1	50	155,8	780,2	179,2	200	970,3	2000	200	EasyPact 200А	180	4×70
5	Высоковакуумная насосная установка	2	17	52,8	265,1	60,9	80	331,2	1000	100	C120N 3П 100А	75	4×16
7	Лемах оберточно-упаковочная машина	1	3	15,1	75,8	17,4	20	94,8	200	20	3П 20А	25	4×2,5
17	Установка по финишной обработке изделий	10	1,2	6	30,4	6,8	20	38,1	25	20	3П 20А	25	4×2,5
18	Аппарат для пескоструйной обработки стекла Sabbiare	1	53	206	619,4	236,9	250	774,2	2500	250	EasyPact 250А	260	4×120
21	Нагревательная установка	1	40	180,2	540,6	207,23	250	675,7	2500	250	EasyPact 250А	305	4×150
ШРА3 «Басбар» E-Line KO, I <sub>НОМ</sub> = 400А, Schneider Electric EasyPac, I <sub>НОМ.АВТ.</sub> = 400А													
ШМА «Басбар» E-Line KO, I <sub>НОМ</sub> = 1000А Schneider Electric EasyPact, I <sub>НОМ.АВТ.</sub> = 1000А													

Определяем значение пускового тока:

$$I_{\text{пуск}012} = I_n \cdot K \quad (61)$$

$$I_{\text{пуск}012} = 19,5 \cdot 5 = 97,5 A$$

Находим ток электромагнитного расцепителя [10]:

$$I_{\text{эм.р.}012} = I_{\text{пуск}012} \cdot 1,25 \quad (62)$$

$$I_{\text{эм.р.}012} = 97,5 \cdot 1,25 = 121,9 A$$

По полученным данным принимаем к установке автомат производства Schneider electric серии IC60N с  $I_{\text{ном}} = 25A$  и  $I_{\text{т.р.}} = 25A$ ,  $I_{\text{эм.р.}} = 250A$ . Для питания ЭП принимаем кабель типа ВВГнг LS 4×2,5 с длительно допустимым током 25А.

Для защиты всех ЭП выбираем автоматы Schneider electric IC60N если не указано иное, а питание осуществляем по кабелям типа ВВГнг LS.

## 2.8 Определение токов КЗ

«Для выбора типов и параметров срабатывания устройств защиты трансформаторов необходимо определить максимальное и минимальное значение токов при КЗ на выводах НН понижающего трансформатора, или, как чаще говорят, при КЗ за трансформатором. Максимальное значение тока соответствует трехфазному металлическому КЗ за трансформатором» [12].

Для определения токов КЗ собираются необходимые данные:

- принимаем значение базисной мощности  $S_6 = 100 \text{ МВА}$ ;
- за базисное напряжение принимаем  $U_6 = 115 \text{ кВ}$ ;
- исходя из известной мощности КЗ системы определяем ее эквивалентное сопротивление  $x_c = 0,4$ ;

- протяженность питающей ЛЭП  $L_1 = 80$  км;
- протяженность КЛ  $L_2 = 1,5$  км;
- номинальная мощность трансформатора на ГПП 40 МВА;
- напряжение КЗ СТ ГПП  $u_{к.3.1} = 10,5\%$ ;
- номинальная мощность трансформатора на КТП 2x250 кВА;
- напряжение КЗ СТ КТП  $u_{к.3.2} = 4,5\%$ ;

На рисунке 3 приведена расчетная схема и построенная по ней схема замещения.

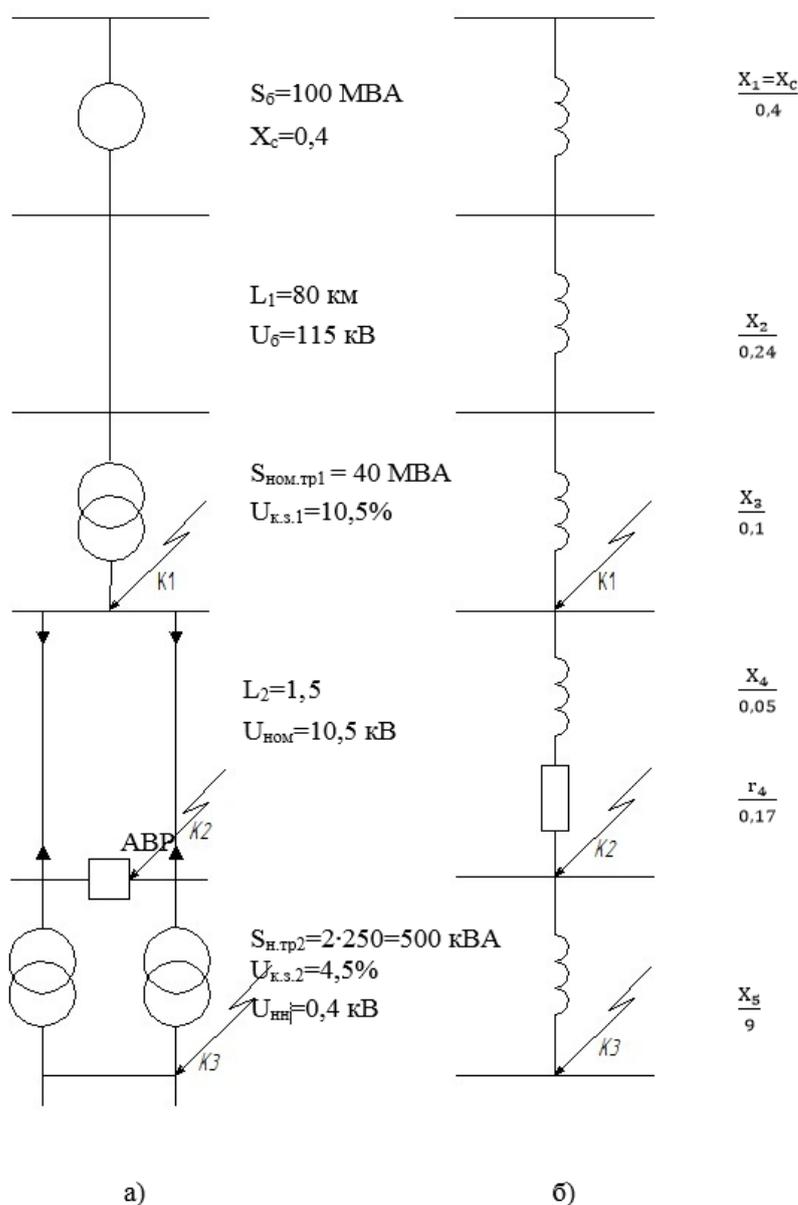


Рисунок 3 – Расчетная схема (а) и построенная по ней схема замещения (б)

Определяем сопротивление системы:

$$x_1 = x_c = 0,4$$

Находим индуктивное сопротивление высоковольтной ЛЭП:

$$x_2 = \frac{x_0 \cdot L_1 \cdot S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2} \quad (63)$$

где « $L_1$  – длина воздушной линии;

$S_{\bar{6}}$  – базисная мощность;

$U_{\bar{6}}$  – базисное напряжение;

$x_0$  – сопротивление воздушной линии» [11].

$$x_2 = \frac{0,4 \cdot 80 \cdot 100}{115^2} = 0,24.$$

Находим сопротивление головного трансформатора:

$$x_3 = \frac{U_{к.з.} \cdot S_{\bar{6}}}{100 \cdot S_{ном.тр}}, \quad (64)$$

$$x_3 = \frac{10,5 \cdot 100}{100 \cdot 100} = 0,1.$$

Определяем индуктивное сопротивление кабельной линии [13]:

$$x_4 = \frac{x_0 \cdot L_2 \cdot S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2}, \quad (65)$$

$$x_4 = \frac{0,08 \cdot 1,5 \cdot 100}{2 \cdot 10,5^2} = 0,05.$$

Находим активное сопротивление кабельной линии:

$$r_4 = \frac{r_0 \cdot L_2 \cdot S_{\sigma}}{U_{\sigma}^2}, \quad (66)$$

$$r_4 = \frac{0,25 \cdot 1,5 \cdot 100}{(2 \cdot 10,5)^2} = 0,17.$$

Определяем сопротивление трансформатора:

$$x_5 = \frac{U_{к.з.} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{ном.тр2}}, \quad (67)$$

$$x_5 = \frac{4,5 \cdot 100}{100 \cdot 2 \cdot 0,25} = 9.$$

Выполним расчет токов КЗ в расчетной точке К<sub>1</sub>

Находим суммарное сопротивление [14]:

$$X_{\sum \kappa 1} = x_1 + x_2 + x_3, \quad (68)$$

$$X_{\sum \kappa 1} = 0,4 + 0,24 + 0,1 = 0,74.$$

Определяем базисный ток:

$$I_{\sigma 1} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma}}, \quad (69)$$

$$I_{\sigma 1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 115} = 0,5 \text{ кА}.$$

Находим ток короткого замыкания:

$$I_{кз1} = \frac{I_6}{X_{\Sigma_{к1}}}, \quad (70)$$

$$I_{кз1} = \frac{0,5}{0,74} = 0,67 \text{ кА}.$$

Определяем ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{кз},$$

где « $k_y$  – ударный коэффициент для сетей высокого напряжения» [7],

$$i_{y1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,67 = 1,7 \text{ кА}.$$

Выполним расчет токов КЗ в расчетной точке  $K_2$

Находим суммарное сопротивление:

$$X_{\Sigma_{к2}} = X_{\Sigma_{к1}} + x_4, \quad (71)$$

$$X_{\Sigma_{к2}} = 0,74 + 0,05 = 0,79.$$

Определяем полное сопротивление:

$$z_{к2} = \sqrt{r_4^2 + X_{\Sigma_{к2}}^2}, \quad (72)$$

$$z_{к2} = \sqrt{0,17^2 + 0,79^2} = 0,83.$$

Необходимость учета в расчетах активного сопротивления КЛ возникает если его величина превышает 1/3 индуктивного сопротивления.

$$r_4 \leq \frac{1}{3} \cdot X_{X_{\Sigma_{к2}}}, \quad (73)$$

$$0,17 \leq \frac{1}{3} \cdot 0,79 = 0,27.$$

Находим базисный ток:

$$I_{\delta 2} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}, \quad (74)$$

$$I_{\delta 2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ кА}.$$

Определяем ток короткого замыкания:

$$I_{\text{кз}2} = \frac{I_{\delta}}{X_{\Sigma \text{к}2}}, \quad (75)$$

$$I_{\text{кз}2} = \frac{5,5}{0,79} = 6,8 \text{ кА}.$$

Находим ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\text{кз}}, \quad (76)$$

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 0,68 = 11,5 \text{ кА}.$$

Определяем мощность короткого замыкания:

$$S_{\text{кз}2} = \frac{S_{\delta}}{x_{\Sigma \text{к}2}}, \quad (77)$$

$$S_{\text{кз}2} = \frac{100}{0,79} = 125,5.$$

Выполним расчет токов КЗ в расчетной точке К<sub>3</sub>

Находим суммарное сопротивление:

$$X_{\Sigma \kappa 3} = X_{\Sigma \kappa 2} + x_5, \quad (78)$$
$$X_{\Sigma \kappa 2} = 0,79 + 9 = 9,79.$$

Определяем базисный ток:

$$I_{\delta 3} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{HH}}, \quad (79)$$
$$I_{\delta 2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,33 \text{ кА}.$$

Находим ток короткого замыкания:

$$I_{\kappa 3} = \frac{I_{\delta}}{X_{\Sigma \kappa 3}}, \quad (80)$$
$$I_{\kappa 2} = \frac{144,33}{9,79} = 14,7 \text{ кА}.$$

Определяем ударный ток короткого замыкания:

$$i_{y3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa 3}, \quad (81)$$

где « $k_y$  – ударный коэффициент» [15];

$$i_{y2} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 14,7 = 25 \text{ кА}.$$

Находим мощность короткого замыкания:

$$S_{\kappa 3} = \frac{S_{\delta}}{x_{\Sigma \kappa 3}}, \quad (82)$$

$$S_{кз2} = \frac{100}{9,79} = 10,2 \text{ МВА}.$$

Полученные значения токов КЗ используем при выборе электрооборудования.

## 2.9 Выбор типа и сечения питающего высоковольтного кабеля

«Для передачи электроэнергии большой мощности и на напряжении свыше 6 кВ служат высоковольтные (силовые) кабели. Такие кабели содержат в своей конструкции элементы, обеспечивающие надежность, долговечность использования. Кроме того, высоковольтные кабели обладают хорошими механическими и диэлектрическими свойствами. Толщина изоляции в таких кабелях составляет 4-6 мм, может быть бумажно-масляной, но чаще всего из сшитого полиэтилена» [3]. Одним из преимуществ кабелей СПЭ изоляцией является их лучшая устойчивость к токам короткого замыкания по сравнению с традиционными типами изоляции. Кроме того, данные кабели имеют меньшую массу при одинаковом сечении кабеля, меньший радиус изгиба и меньшую толщину, что повышает удобство их монтажа. «Токопроводящая жила может быть алюминиевой или медной. Также высоковольтные кабели обладают низкой горючестью с отсутствием галогенов. Допустимая температура окружающей среды при эксплуатации высоковольтных кабелей колеблется от -50 градусов до +60 градусов, при коротком замыкании – до +250 градусов. Срок службы современных высоковольтных кабелей составляет минимум 30 лет» [17].

Определяем номинальный ток трансформатора:

$$I_{н.тр} = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (83)$$

где « $S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение трансформатора» [14];

$$I_{H.TP} = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 13,7 \text{ A}.$$

Находим предварительное сечение кабеля:

$$S_9 = \frac{I_{ном}}{\gamma_9}, \quad (84)$$

$$S_9 = \frac{13,7}{1,9} = 7,2 \text{ мм}^2.$$

Предварительно выбираем кабельную линию с алюминиевыми проводниками сечением 16 мм<sup>2</sup>.

Выполним проверку сечения на термическую устойчивость:

$$S_{мин} = \frac{I_{к.з.к.2} \cdot \sqrt{t_{пр}}}{c}, \quad (85)$$

$$S_{мин} = \frac{6,8 \cdot \sqrt{0,4}}{85} = 50,6 \text{ мм}^2.$$

По результатам выбора и проверки окончательно принимаем кабель марки А-CREOLON 3x70 RM/10 6/10 кВ с  $I_{д.доп.} = 190 \text{ A}$

## **2.10 Выбор высоковольтных выключателей, разъединителей, трансформаторов тока**

Результаты выбора и проверки высоковольтного электрооборудования сводим в таблицу 5.

«Все виды аппаратов должны выбираться в соответствии с вычисленными максимальными расчетными величинами (тока, напряжения, мощностью отключения) для нормального режима короткого замыкания.

Таблица 5 - Результаты выбора и проверки высоковольтного электрооборудования

Высоковольтный вакуумный выключатель типа ВВПЭ-10-20/630 УЗ		Разъединитель типа РВ-10/400 УХЛ2		Измерительный трансформатор тока ТОЛ 10	
Рез. расчета	Данные производ.	Рез. расчета	Данные произв.	Рез. расчета	Данные производ.
$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 630 \text{ А}$	$I_H = 34,65 \text{ А}$	$I_H = 75 \text{ А}$
$i_y = 11,5 \text{ кА}$	$I_{откл\ сл} = 52 \text{ кА}$	$i_y = 11,5 \text{ кА}$	$I_{откл\ сл} = 52 \text{ кА}$	-	-
$I_{к.3.2} = 6,8 \text{ кА}$	$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	-	-	-	-
$I_{к.3.2}^2 \cdot t_{пр} =$ $6,8^2 \cdot 0,4 = 18,5$	$I_5^2 \cdot t_5 = 20^2 \cdot 5$ $= 2000 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$I_{к.3.2}^2 \cdot t_{пр} =$ $= 6,8^2 \cdot 0,4 =$ $= 18,5$	$I_{10}^2 \cdot t_{10} =$ $= 10^2 \cdot 10 =$ $= 1000 \text{ кА} \cdot \text{с}$	$K_d = \frac{i_y}{\sqrt{2}} \cdot I_H$ $= \frac{11,52}{\sqrt{2}} \cdot 0,075$ $= 108,61$	$K_d = 250$
$S_K = 123,46 \text{ МВА}$	$S_{откл} = 350 \text{ МВА}$	-	-	$K_T = I_{к.3.1} \cdot \frac{\sqrt{t_{пр}}}{I_H}$ $= 6,8 \cdot \frac{\sqrt{0,4}}{0,075}$ $= 57,34$	$K_T = 90$

Разъединитель – это контактный коммутационный аппарат, предназначенный для отключения и включения электрической цепи без тока или с незначительным током, и который для обеспечения безопасности имеет между контактами в отключённом положении изоляционный промежуток» [18].

Основным назначением измерительного трансформатора тока является преобразование первичной величины тока во вторичную, пригодную для средств измерений, технического и коммерческого учета, а также средств защиты.

«Для их выбора сравнивают указанные расчетные величины с допустимыми значениями для высоковольтного оборудования.

Составляют таблицу сравнения указанных расчетных и допустимых величин. При этом, для обеспечения надежной безаварийной работы расчетные величины должны быть меньше допустимых значений.

Разъединители – аппараты, не предназначенные для отключения токов короткого замыкания, поэтому на отключающую способность их не проверяют» [3].

## **2.11 Расчет заземления на ТП**

«Произведём расчёт заземления для цеха, для того чтобы определить сопротивление сооружаемого контура заземления при эксплуатации, его размеры и форму. Как известно, контур заземления состоит из вертикальных заземлителей, горизонтальных заземлителей и заземляющего проводника. Вертикальные заземлители вбиваются в почву на определенную глубину. Горизонтальные заземлители соединяют между собой вертикальные заземлители. Заземляющий проводник соединяет контур заземления непосредственно с электрощитом» [3]. На всей территории предприятия на глубину до 4,4 м основным слоем является чернозём с незначительными включениями супеси  $\rho_{гр} = \rho_э = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ .

При выполнении заземляющего устройства выбираем вертикальное

расположение заземлителей по контуру таким образом, чтобы расстояние от поверхности земли до верхнего наконечника заземлителя составляло 0,5-0,8 м. Расстояние между соседними вертикальными ЗУ находится в пределах 2,5-3м.

Итоговое сопротивление сложного заземляющего устройства не должно превышать нормативного значения в 4 Ом.

«Определим допустимое сопротивление заземляющего устройства, с учетом удельного сопротивления грунта» [20]:

$$R_{з.см} = \frac{P_{гр}}{l_{ст}} \cdot 0,9, \quad (86)$$

где « $P_{гр}$  - удельное сопротивление грунта,

$l_{ст}$  - длина вертикального заземляющего стержня» [16];

$$R_{з.см} = \frac{50}{2,5} \cdot 0,9 = 18 \text{ Ом}.$$

Найдем количество вертикальных заземлителей:

$$n_г = \frac{R_{з.см}}{n_г \cdot R_з}, \quad (87)$$

где « $n_г$  - коэффициент использования заземлителей, расположенных по контуру» [21];

$$n_г = \frac{18}{0,7 \cdot 4} = 6,5.$$

Определим длину горизонтального заземлителя:

$$l_г = a \cdot n_г, \quad (88)$$

где « $a$  - расстояние между вертикальными заземлителями» [16];

$$l_г = 2,5 \cdot 6,5 = 17,5 \text{ м}.$$

Найдем сопротивление растекания горизонтального заземлителя:

$$R_2 = 2,1 \cdot \frac{P}{l_2}, \quad (89)$$

где «P – периметр цеха» [16];

$$R_2 = 2,1 \cdot \frac{160}{175} = 1,92.$$

Определим сопротивление растекания тока:

$$R_2 = \frac{R_{3.cm} \cdot R_2}{h_n \cdot R_{3.cm} + h_m \cdot R_2 \cdot n_6}, \quad (90)$$

где « $h_m$  – коэффициент экранирования» [19];

$$R_2 = \frac{18 \cdot 1,92}{0,36 \cdot 18 + 1 \cdot 1,92 \cdot 6,5} = 1,8.$$

Полученное значение сопротивления заземления равно 1,92 Ом удовлетворяет нормативному значению  $< 4$  Ом.

Выводы по разделу.

В разделе произведен расчет ожидаемых электрических нагрузок по производству с учетом мощности системы электрического освещения и реактивной мощности компенсирующих устройств.

Выбраны в результате технико-экономического сравнения двух вариантов трансформаторы на КТП.

Произведен расчет токов короткого замыкания, выбраны и проверены аппараты защиты.

Определены параметры системы заземления производственного помещения, полученное значение сопротивления заземления удовлетворяет нормативному значению.

## Заключение

Выпускная квалификационная работа на тему: «Проектирование системы электроснабжения предприятия по выпуску стекломатериалов» направлена на разработку надежной системы электроснабжения предприятия.

Приведены габаритные характеристики производственного цеха, номинальные нагрузки планируемых к установке технологических электроприемников. Выполнен обзор используемых в сегодняшней практике схем внутрицехового промышленного электроснабжения.

В соответствии с расположением электроприемников производства и требованиями к надежности выбрана смешанная схема электроснабжения.

Произведен расчёт ожидаемых нагрузок от силовых электроприемников по методу коэффициента максимума. Определены нагрузки по отдельным узлам питания. Произведен расчет системы освещения, выбран тип светильников и определено их количество.

По результатам проведенных расчетов приняты светодиодные светильники типа LED LL-DVO-041-M с мощностью одного светильника 39 Вт и световым потоком светильника равным 5200 лм.

По наименьшему значению приведенных затрат выбрана установка на КТП двух силовых трансформаторов мощностью по 250 кВА каждый. Приняты к установке на КТП две автоматические установки АУКРМ-0.4-110-10 с номинальной мощностью компенсации каждой по 110 кВАр и номинальным напряжением 0,4 кВ.

Произведен расчет токов короткого замыкания, выбраны и проверены аппараты защиты и кабели.

Произведен выбор и проверка высоковольтного питающего КТП кабеля и аппаратов, установленных в ячейке ГПП.

Выполнены расчеты системы искусственного заземления с установкой вертикальных заземлителей по контуру объекта.

## Список используемых источников

1. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения. /Электронное учебно- методическое пособие. М. : Тольятти, 2016.
2. Внутрицеховое электроснабжение [Электронный ресурс] : – Режим доступа: [https://studopedia.ru/4\\_114193\\_vnutritsehovoe-elektrosnabzhenie.html](https://studopedia.ru/4_114193_vnutritsehovoe-elektrosnabzhenie.html) - Заглавие с экрана (дата обращения 05.03.2023).
3. Карманова Т.Е. Приемники и потребители электрической энергии систем электроснабжения: Учебное пособие/Учреждение образования «Северный Арктический федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 2015.
4. Киреева Э. А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий. М. : КноРус, 2016. 368 с.
5. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие. М. : Academia, 2013. 320 с.
6. Кудрин Б. И. Электроснабжение: Учебник. М. : Academia, 2015. – 352 с. 52
7. ПУЭ 7. Правила устройства электроустановок. Издание 7 нормы [Текст]. – Введ. 2003 – 01 – 01. – М. : ЗАО «Энергосервис», 1998. – 980 с.
8. РФ. Росстандарт. ГОСТ Р 50786-2012. Станки металлообрабатывающие малогабаритные. Требования безопасности : Введ. 2013-03-02. М., Стандартинформ, 2013.
9. Сибикин Ю. Д. Техническое обслуживание, ремонт электрооборудования и сетей промышленных предприятий: учебное пособие. М. : 2014. 414 с.
10. Сибкин Ю. Д., Сибикин М. Ю., Яшков В. А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебное пособие. М. : Форум : Инфра-М, 2015. 368 с.

11. Сивков А. А., Сайгаш А. С., Герасимов Д. Ю. Основы электроснабжения: Учебное пособие. М. : Юрайт, 2016. 174 с.
12. Суворин А. В. Электрические схемы электроустановок. Составление и монтаж: Практическое пособие. М. : Феникс, 2015. 544 с.
13. Хорольский В. Я., Таранов М. А. Надежность электроснабжения: Учебное пособие. М. : ДРОФА, 2013. 128 с.
14. Шеховцов В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. М.: ФОРУМ : ИНФРА – М, 2014. 214 с.
15. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: Учебное пособие. М. : Форму ; ИнфраМ, 2014. 596 с.
16. Энергосбережение в системах промышленного электроснабжения – Теплоэнергетик. М. : Интехэнерго-Издат, 2014. 304 с.
17. Bob Everett, Stephen Peake, Janet Ramage, Energy Systems and Sustainability: Power for a Sustainable Future/OUP Oxford; 2 edition, 2013. – 672 pages.
18. Fernando Pacheco-Torgal Claes Granqvist Bjorn Jelle, Cost-Effective Energy Efficient Building Retrofitting 1st Edition/ Woodhead Publishing, 2017. – 632 pages
19. Godfrey Boyle, Renewable Energy: Power for a Sustainable Future/ OUP Oxford; 3 edition, 13 Sept. 2012. - 584 pages.
20. Khan S., Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016.
21. Method for determining quality indicators of electrical power, authors: Ion S. Antoniu, Ion N. Chiuta, Dan D. Gheorghide // Annals: Series on engineering sciences. –2017. – p. 14.