

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 Разработка системы электроснабжения производственного предприятия ООО  
«Волжская Картонная Мануфактура»

Студент

В.И. Чаусов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.С. Романов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультант

к.п.н. А.В. Кириллова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## **Аннотация**

В данной выпускной квалификационной работе бакалавра была разработана система электроснабжения производственного предприятия ООО «Волжская Картонная Мануфактура».

Объектом дипломной работы является предприятие ООО «Волжская картонная мануфактура», основной деятельностью которого служит изготовление гофрированного картона, который используют как в промышленности, так и в различных видах бизнеса в качестве упаковочного материала.

В ходе выполнения квалификационной работы были произведены расчёты электрических нагрузок, а также распределительной сети. Выполнены расчёты освещения. Выбраны число и мощность силовых трансформаторов для главной понизительной подстанции. Произвели анализ потребителей и последующие вычисления для внутренних кабельных линий, а также расчёт автоматических выключателей и дифференциальной защиты.

Итогом работы стала полностью функционирующая линия производства гофрированного картона.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки, введения, основной части, которая состоит из 3 разделов и 6 чертежей

## **Abstract**

The title of the graduation work is Development of the power supply system of the production enterprise LLC Volzhskaya Kartonnaya Manufaktura.

The senior paper consists of an introduction, three parts, a conclusion, tables, list of references including foreign sources and the graphic part on 6 A1 sheets.

The key issue of the thesis is the design of the power supply system for the further launch of the enterprise. The work touches upon a problem of a stable and safe electrical network for the new enterprise.

The aim of the senior thesis is to create an electrical network for further installation work on the example of LLC "Volzhskaya Kartonnaya Manufaktura".

The graduation work may be divided into several logically connected parts which are: building analysis; calculation of electrical loads; design of the lighting system; selecting internal cable lines; selection of protective automation and choice of transformer substation.

Finally, we present the work of the power supply system, which is energy-efficient, economically feasible, and safe for people.

In conclusion, we'd like to stress this work is relevant in solving the problem of power supply system development. Moreover, similar technological and constructive solutions can be used for the reconstruction system of the power supply at other production enterprise of the Russian Federation.

## Содержание

Введение .....	3
1 Теоретическая часть .....	4
1.1 Характеристики и описание объекта проектирования .....	4
2 Проектирование системы внутрицехового электроснабжения .....	7
2.1 Расчёт распределительной сети предприятия .....	7
2.2 Расчет электрических нагрузок .....	9
2.3 Система освещения предприятия .....	10
2.4 Расчёт системы освещения .....	12
2.5 Расчёт нагрузки системы освещения .....	15
2.6 Выбор внутренних кабельных линий .....	21
2.7 Выбор защитной автоматики .....	24
3 Проектирование системы внешнего электроснабжения .....	29
3.1 Выбор числа и мощности трансформаторов главной понизительной подстанции .....	29
3.2 Определение внешнего электроснабжения главной понизительной подстанции .....	31
3.3 Технико-экономический выбор номинальной мощности трансформаторов .....	33
3.4 Расчёт токов короткого замыкания.....	35
3.5 Выбор и проверка вакуумного выключателя.....	38
3.6 Расчёт заземления .....	40
Заключение .....	44
Список используемой литературы .....	45

## Введение

Система электроснабжения промышленного предприятия является одной из важнейших в инженерных сетях. Она обеспечивает работу всего оборудования, а также должна защищать персонал от поражения электрическим током.

При проектировании системы электроснабжения, нужно руководствоваться различными факторами. Такими как: особенности строения объекта, условия местности на которой находится объект, а также учитывать потребности самого предприятия. Нужно отметить то, что система должна иметь запас по мощности, на случай расширения производства и внедрения нового оборудования. Обеспечивать бесперебойность работы на производственной линии. И при всём при этом, быть экономически обоснованной.

Вся система электроснабжения выстраивается на основании требований и нормативных актов, таких как: Правила устройства электроустановок (ПУЭ), СН 357-77 – «Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий», СНиП - «Электротехнические устройства», а также ГОСТ.

И так как технический прогресс не стоит на месте, стало появляться всё больше оборудования с улучшенными энергетическими характеристиками, что позволяет увеличить количество производимой продукции, повышает надёжность оборудования, улучшает эксплуатационные качества и значительно уменьшает потребляемую энергию.

## 1 Теоретическая часть

### 1.1 Характеристики и описание объекта проектирования

ООО «Волжская картонная мануфактура», является одним из ключевых Тольяттинских производителей гофрированного картона. Предприятие специализируется на выпуске, как мало габаритного упаковочной продукции (800×600×600 мм), так крупно габаритной (1200×800×1200 мм).

Рабочий цех представлен в виде, одной сплошной производственной линии, проходимой почти по всей длине предприятия. Площадь предприятия составляет  $S = 1764 \text{ м}^2$ , из них: ширина = 12 м, длина = 147 м, высота = 10 м.

Производственную линию можно поделить на 5 частей.

- к первой части относится клееподготовительная система, вместе с электромеханическими раскаточными станками и нагревателем бумаги. На этом этапе большие рулоны бумаги разматываются на промежуточные валики, в то время как клеевая основа готовится к нанесению;
- ко второй части – клеепромазочные машины и гофропресс карданно-вакуумный. Здесь происходит склеивание слоёв бумаги с последующей её опрессовкой. В этой части находятся одни самых крупных потребителей электроэнергии;
- в третьей части находится сушильный стол с главным приводом. На этом этапе почти готовая продукция проходит сушку посредством трубчатых электронагревателей (ТЭН);
- в четвёртой части – продольно и поперечно-резательные машины нарезают пласты гофрированного картона до нужных размеров, далее по листоукладчику продукция движется до места скопления;
- в пятой заключительной части автоматическая линия производства гофрированной тары подготавливает листы для сборки.

здесь и далее см. п. 5.3. Оформление перечислений. оформил для образца, везде сделать так же

Класс помещения по ПУЭ – П–Па. В пожароопасных помещениях монтаж будет вестись согласно ВСН294-79.

Спуски кабельных трасс размещаются в лотках с крышками по колоннам здания. Спуски кабеля к оборудованию с лотковой трассы выполняются в металлических рукавах.

Согласно ГОСТ Р 50571.3-2009 проектом предусматривается система заземления TN-C-S с разделением нулевого рабочего (N) и нулевого защитного (PE) проводников. Разделение выполняется на вводе в главном распределительном щите. N и PE проводники от трансформаторной подстанции будут совмещены в одном проводе. Заземляющее устройство выполняется в соответствии с требованиями действующих ПУЭ и ГОСТ 50571.5.54-2011.

Заземление электрооборудования выполняется жилой PE, входящей в состав питающих кабелей, в соответствии с типовым проектом серии А10.93.

Дополнительных мер по устройству заземления не требуется. Железобетонный фундамент здания и арматура фундаментов колонн являются естественными заземлителями.

По периметру производственного участка и между колонн, согласно плана, будут проложены по полу полосы 5x40 мм в виде сетки для присоединения проводников уравнивания потенциалов и повторного заземления оборудования. Полосы около колонн присоединены к арматуре фундамента колонн или к металлическим колоннам, являющихся естественным заземлителем. Полосы заземления окрашены в зелёно-жёлтый цвет по всей длине.

Заземление лотков в местах соединения секций обеспечивается надёжная металлическая связь, а в разрывах между секциями для создания

непрерывной электрической цепи соединяются перемычкой из стальной полосы 4х25.

Все доступные прикосновению открытые проводящие части стационарных электроустановок, сторонние проводящие части, нормально не находящиеся под напряжением, заземляются нулевой защитой жилой кабеля или провода путём соединения с глухозаземлённой нейтралью трансформатора в соответствии с ПУЭ глава 1.7, пункт 1.7.76 (7-е издание) и СП76.13330.2016.

В одном километре от предприятия находится питающая подстанция напряжением 10 кВ, которая соединяется воздушной линией с главной понизительной подстанцией.

Расчёт нагрузок выполнен в соответствии с РТМ 36.18.32.4-92 с учётом коэффициента расчётной нагрузки, коэффициент спроса оборудования приняты согласно задания.

Распределительный щит поставляется в сборе компанией, имеющей соответствующую лицензию на оборудование марки «IEK» и «КЭАЗ». Щит напольного исполнения IP54.

Ввод и выход кабелей организован сверху. Для герметизации вводов предусмотрены сальники в крыше и с боков главного распределительного щита.

По данному разделу можно сделать следующие выводы:

- в соответствии с ПУЭ, класс помещения цеха – П–Па, так как присутствуют зоны, в которых находятся твердые горючие вещества;
- предложена система заземления TN-C-S с разделением нулевого рабочего (N) и нулевого защитного (PE) проводников. В качестве естественных заземлителей будут использоваться: железобетонный фундамент здания и арматура фундаментов колонн;
- электроснабжение оборудования предприятия будет выполняться от проектируемого главного распределительного щита.



## **2 Проектирование системы внутрицехового электроснабжения**

### **2.1 Расчёт распределительной сети предприятия**

«Правильный и точный расчет нагрузок электрических потребителей является важнейшим фактором при создании проекта электрического снабжения промышленных предприятий, а также их дальнейшего обслуживания и эксплуатации» [1, с. 21].

«В первую очередь, определяются расчетные нагрузки электрических приемников по средней мощности, которая потребляется во время самой загруженной смены, и расчетному коэффициенту (коэффициенту максимума). Данный метод является достаточно точным, его применяют для определения расчетной нагрузки на различных уровнях системы электрического снабжения отдельных цехов и всего промышленного предприятия в целом» [6, с. 37].

«В первую очередь, рассчитываются нагрузки электрических приёмников на напряжении 0,4 кВ» [20, с. 55].

«По предполагаемому к установке электрическому оборудованию цехов промышленного предприятия определяем по данным из справочной литературы коэффициенты мощности и использования, для групп электрических приемников цеха промышленного предприятия. Если в справочной литературе нет достоверной информации по искомому производственному цеху промышленного предприятия, то принимаются данные по схожему цеху» [20, с. 56].

Таблица 1 – Потребители предприятия ООО «Волжская картонная мануфактура»

№	Наименование электроприёмника	Количество электроприёмн. п, шт	Мощность электроприёмника $P_{ном}$ , кВт	Коэф. использ. $K_{и}$	Коэф. мощн. $\cos\varphi$
1	Клееподготовительная система FZ-100	1	4,0	0,85	0,9
2	Электромеханические раскаты для рулонов RS-1500	3	5,2	0,74	0,9
3	Нагреватель (подогреватель) для картона и бумаги PC-600/1/2	4	1,5	0,60	0,7
4	Гофропресс карданно-вакуумный с системой маслянного нагрева SFH-280M	2	118	0,8	0,7
5	Накопительный мост (с транспортерами и вакуумной системой натяжения) PQ-02-1800	1	15,5	0,6	0,7
6	Трёхэтажный нагреватель F400 PC-400/3	1	4,5	0,86	0,9
7	Клеепромазочная машина, 5-GM-80	1	5,7	0,64	0,7
8	Сушильный стол	1	54,0	0,85	0,9
9	Главный привод DF-02-1800	1	42,0	0,8	0,9
10	Продольно-резательная машина серии UFY-100	1	5,5	0,56	0,7
11	Компьютеризированная поперечно-резательная машина	1	32,0	0,60	0,7
12	Сдвоенный листоукладчик 2ST-100	1	6,0	0,67	0,7
13	Автоматическая линия производства гофротары VIKING-S	1	20,0	0,85	0,9
14	Компрессор	1	11,0	0,82	0,9
15	Штепсельный разъём с вилкой	6	7,5	0,4	0,7
16	Розетка силовая	6	2,0	0,4	0,7

Как мы видим, основными потребителями предприятия являются нагревательные станки. Их суммарная мощность составляет почти 400 кВт.

## 2.2 Расчет электрических нагрузок

«Расчёт электрических нагрузок производится для создания сети питания. На основе этих расчётов производится выбор кабелей, релейной защиты и автоматики, а также подбор мощностей трансформаторов и их количество» [19, с. 40].

– Номинальная мощность группы электроприёмников  $P_{ном}$ , кВт:

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

где  $P_{ном}$  – номинальная мощность одного ЭП, кВт;

$n$  – количество электроприёмников, шт.

– Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену. сменная реактивная мощность  $Q_{см}$ , кВАр:

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

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – тангенс потерь соответствующий  $\cos\varphi$  данного оборудования;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности данного оборудования.

– Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену  $P_{см}$ , кВт

$$P_{см} = P_{ном} \cdot K_{и}, \quad (3)$$

где  $K_{и}$  – коэффициент использования электрооборудования.

$K_{и}$  и  $\cos\varphi$  для каждого электроприёмника или группы электроприёмников принимаются по справочным данным.

Произведём расчёты на примере двух электроприёмников, подогревателя картона РС-600/1/2 и сушильного стола.

Коэффициент использования для каждого из оборудования:

$$K_{и \text{ (подогр.)}} = 0,6,$$

$$K_{и \text{ (суш.стол)}} = 0,85.$$

Переведём коэффициент мощности в тангенс потерь мощности:

$$\cos\varphi_{\text{ (подогр.)}} = 0,7, \text{ значит } \operatorname{tg}\varphi = 1,04,$$

$$\cos\varphi_{\text{ (суш.стол)}} = 0,9, \text{ значит } \operatorname{tg}\varphi = 0,49.$$

Активная мощность электроприёмников в период использования (среднесменная):

$$P_{см \text{ (подогр.)}} = 32 \cdot 0,65 = 3,9 \text{ кВт},$$

$$P_{см \text{ (суш.стол)}} = 54 \cdot 0,85 = 45,9 \text{ кВт}.$$

После считаем среднесменную реактивную мощность:

$$Q_{\text{ (подогр.)}} = 3,9 \cdot 1,04 = 4,06 \text{ кВАр},$$

$$Q_{\text{ (суш.стол)}} = 45,9 \cdot 0,49 = 22,49 \text{ кВАр}.$$

Все полученные записываются в таблицу 2.

### **2.3 Система освещения предприятия**

Освещению на промышленных предприятиях уделяют не мало важную часть. Она влияет на эффективность труда, а также обеспечивает безопасность и повышает эффективность труда работников на предприятии.

«Освещение предприятий подразделяют на два вида:

- рабочее освещение, создаётся для всех помещений, а также открытых участков, которые предназначены для работы, прохода людей и движения различного вида транспорта;
- аварийное освещение, это освещение, включаемое при повреждении системы питания рабочего освещения, которое в случае погасания рабочих светильников обеспечивает минимальную для эвакуации освещённость, необходимую для временного продления деятельности персонала и обеспечения безопасного выхода людей из помещения» [5, с. 157].

«Это освещение, включаемое при повреждении системы питания рабочего освещения и предназначено для обеспечения эвакуации людей при отключении энергоснабжения, которое может произойти при пожаре или любой техногенной аварии» [7, с. 296].

«Системы рабочего освещения бывают:

- система общего освещения, предназначенные для освещения площадки в целом;
- система местного освещения, предназначенного для освещения только рабочих мест;
- система комбинированного освещения» [8, с. 296].

«Для аварийного освещения требуется создание самостоятельной электрической сети. В ряде случаев для аварийного освещения требуется независимый источник питания в качестве которого могут служить: аккумуляторные батареи; трансформатор, получающий питание от системы, независимый от системы рабочего освещения; вспомогательные генераторы на подстанциях» [18, с. 60].

«При разбивке светильников на осветительные группы требуется учитывать технические особенности производств следует стремиться к созданию такой системы питания освещения в цехе, при которой случайное

погасание ламп одной из групп давала бы возможность персоналу продолжать работу хотя бы с пониженной интенсивностью в течение времени необходимого для исправления повреждений» [3, с. 90].

## 2.4 Расчёт системы освещения

Расчёт системы освещения будет производиться точечным методом. Данный метод может использоваться при любом расположении поверхностей и размещении источников света.

«При расчете освещения точечным методом определяется освещенность в контрольных точках, освещение в которых обеспечивается близлежащими светильниками. Светильники могут быть расположены в один ряд, в шахматном порядке и в несколько рядов» [12, с. 58].

Высота расположения светильника над освещаемой поверхностью  $H_c$ , м:

$$H_c = H - h_{св} - h_p, \quad (4)$$

где  $H$  – высота помещения, м;

$h_p$  – высота расчётной поверхности, м;

$h_{св}$  – высота свеса светильников, м.

– Расстояние между светильниками, м:

$$L = H_c \cdot \lambda, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – коэффициент оптимального соотношения расстояний между светильниками и высотой их подвеса между рядами.

– Расстояние от стены до первого ряда светильников  $l$ , м:

$$l = (0,25 \cdot 0,5) \cdot L. \quad (6)$$

– Расчетное значение количества светильников по ширине  $N_B$ , рядов:

$$N_B = \frac{B-2 \cdot l}{L} + 1, \quad (7)$$

где  $B$  – ширина предприятия, м.

– Расчетное значение количества светильников в ряду  $N_A$ , штук:

$$N_A = \frac{A-2 \cdot l}{L} + 1, \quad (8)$$

где  $A$  – длина предприятия, м.

– Расчетное значение светового потока одного светильника  $\Phi$ , лм:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_z \cdot A \cdot B \cdot z}{N_A \cdot N_B \cdot \eta}, \quad (9)$$

где  $z$  – коэффициент минимальной освещенности;

$K_z$  – коэффициент запаса;

$\eta$  – коэффициент полезного действия.  $E_n \cdot \Phi_n$ .

– Расчетное значение освещенности  $E_p$ , лк

$$E_p = \frac{E_n \cdot \Phi_n}{\Phi}, \quad (10)$$

где  $\Phi_n$  – нормируемый световой поток, лм.

Расчетное значение освещенности должно быть не меньше нормируемого:

$$E_p > E_n.$$

Размеры предприятия:

- длина – 147 м;
- ширина – 12 м;
- высота – 10 м.

«Норма освещённости  $E_{\text{экс}}$  для помещения предназначенного для производства бумаги, картона составляет 300 люкс» [2, с. 4].

Расчетное значение высоты подвеса светильника над рабочей поверхностью:

$$H_c = 10 - 2 - 1 = 7 \text{ м.}$$

Найдем оптимальное расстояние между рядами светильников:

$$L = 0,7 \cdot 7 = 4,9 - \text{берём значение } 5.$$

Расстояние от стены до первого ряда светильников:

$$l = 0,25 \cdot 5 = 1,25 \text{ м.}$$

Расчетное значение количества светильников по ширине:

$$N_B = \frac{12 - 2 \cdot 1,25}{5} + 1 = 2,9 \approx 3 \text{ ряда.}$$

Расчетное значение количества светильников в ряду:

$$N_A = \frac{147 - 2 \cdot 1,25}{5} + 1 = 29,99 \approx 30 \text{ штук.}$$



Расчетное значение светового потока одного светильника:

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 147 \cdot 12 \cdot 1}{30 \cdot 3 \cdot 0,8} = 9555 \text{ лм.}$$

Расчетное значение освещенности:

$$E_p = \frac{300 \cdot 20000}{9555} = 427 \text{ лк.}$$

Расчётное освещение больше нормируемого:

$$E_p = 427 \text{ лк} > E_n = 300 \text{ лк.}$$

По полученному расчётному значению светового потока следует установить светодиодные светильники производителя «НПК Вирона» VRN-UNE-80 со световым потоком 10000 лм, мощностью 80 Вт.

## 2.5 Расчёт нагрузки системы освещения

Данные расчёты нужны для выбора проводов и кабелей питания и их сечения, нахождения мощности нагрузки освещения, подбором автоматических выключателей. Электрические нагрузки определяются методом коэффициента спроса.

Формула для расчёта активной нагрузки освещения:

$$P_{\text{осв}} = N \cdot n \cdot P_{\text{л}}, \quad (11)$$

где  $N$  – количество светильников;

$n$  – количество ламп в светильнике;

$P_{\text{л}}$  – мощность одного светильника.

Реактивная мощность осветительной нагрузки:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{осв}}. \quad (12)$$

Полная мощность осветительной нагрузки:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2}. \quad (13)$$

Максимальный ток осветительной нагрузки:

$$I_{\text{макс}} = \frac{S_{\text{осв}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi}, \quad (14)$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности светильника.

Ток теплового расцепителя:

$$I_{\text{т.р}} = 1,15 \cdot I_{\text{макс}}. \quad (15)$$

Номинальный ток отходящей линии:

$$I_{\text{лин}} = \frac{I_{\text{макс}}}{N_{\text{В}}}. \quad (16)$$

Ток теплового расцепителя отходящей линии:

$$I_{\text{т.р}} = 1,15 \cdot I_{\text{лин}}. \quad (17)$$

Расчёты.

Найдём активную мощность:

$$P_{\text{осв}} = 90 \cdot 1 \cdot 80 = 7,2 \text{ кВт},$$

Так как  $\cos\varphi = 0,9$ , значит  $\text{tg}\varphi = 0,49$ .

Далее реактивную мощность:

$$Q_{\text{осв}} = 7,2 \cdot 0,49 = 3,528 \text{ кВАр}.$$

Полная мощность:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{7,2^2 + 3,528^2} = 8,02 \text{ кВА}.$$

Максимальный ток осветительной нагрузки:

$$I_{\text{макс}} = \frac{8,02}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 13,53 \text{ А}.$$

Ток теплового расцепителя:

$$I_{\text{т.р}} = 1,15 \cdot 13,53 = 15,60 \text{ А}.$$

В качестве питающего кабеля допускается к установке кабель ВВГнг(а)-LS 5x2,5 с номинальным током 25А.

А в качестве автоматического выключателя следует установить по выключатель марки ВА47-60 С20А фирмы «IEK».

«Светильники следует, как правило, располагать на потолке в зоне, удобной для обслуживания (над продольными краями ванны). Допускается

установка светильников на боковых стенах в зоне 2 по ГОСТ Р 50571.7.702-2013. При отсутствии зоны 2 высота установки нижней части осветительного оборудования должна быть не менее 2 м от нижней границы зоны 1. При установке светильников на стене или на потолке в зоне 1 осветительная сеть должна быть защищена от токов короткого замыкания и перегрузок автоматическим отключением питания и дополнительной защитой УДТ с номинальным дифференциальным отключающим током не более 30 мА» [4, с. 101].

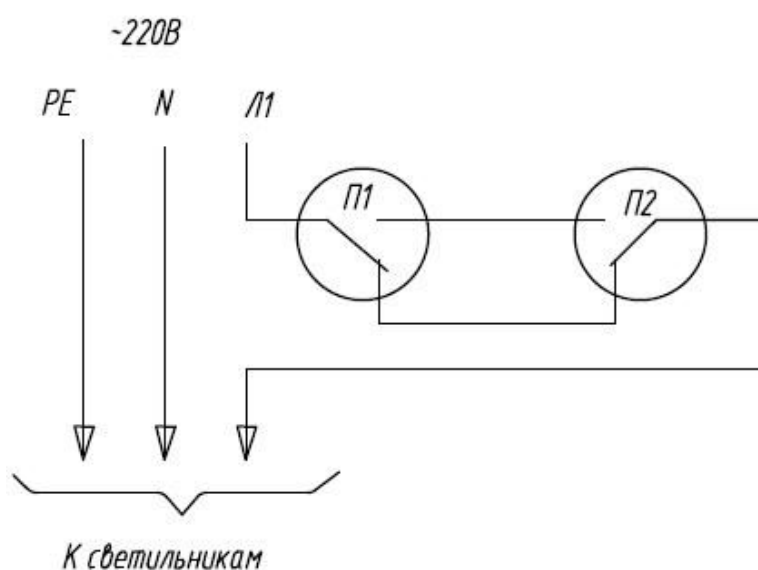


Рисунок 1 – Схема управления освещением с помощью переключателей

«Освещение книго- и архивохранилищ должно выполняться светильниками, установленными по оси проходов между стеллажами. Исполнение светильников в указанных помещениях, а также кладовых непродовольственных магазинов, ателье, в хранилищах учреждений финансирования и кредитования, должно выбираться в соответствии с требованиями к светильникам, установленным в пожароопасных зонах класса П-Па в соответствии с для хранения ценных сгораемых материалов» [8, с. 86].

Таблица 2 – Расчёт электрических нагрузок

№	Наименование электроприёмника	Кол-во ЭП	Установленная мощность		Коэф. исп., $K_n$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число ЭП	Коэф. макс.	Макс. мощность			Макс. ток, А
			Одного ЭП, кВт	Группы ЭП, кВт				Актив. мощн. кВт	Реакт. мощн. кВАр			актив. мощн. кВт	реакт. мощн. кВАр	полн. мощн. кВА	
1	Клееподготовительная система	1	4,0	4,0	0,85	0,9	0,49	3,4	1,96	–	–	–	–	–	–
2	Электромеханические раскаты для рулонов	3	5,2	15,6	0,74	0,9	0,49	11,54	5,65	–	–	–	–	–	–
3	Нагреватель для картона и бумаги	4	1,5	6,0	0,60	0,7	1,04	3,9	4,06	–	–	–	–	–	–
4	Гофропресс карданно-вакуумный	2	118	236	0,80	0,7	1,04	188,8	196,4	–	–	–	–	–	–
5	Накопительный мост	1	15,5	15,5	0,60	0,7	1,04	9,3	9,67	–	–	–	–	–	–
6	Трёхэтажный нагреватель	1	4,5	4,5	0,86	0,9	0,49	3,87	1,89	–	–	–	–	–	–
7	Клеепромазочная машина	1	5,7	5,7	0,64	0,7	1,04	3,65	3,79	–	–	–	–	–	–
8	Сушильный стол	1	54,0	54,0	0,85	0,9	0,49	45,9	22,49	–	–	–	–	–	–
9	Главный привод	1	42,0	42,0	0,80	0,9	0,49	33,6	16,46	–	–	–	–	–	–
10	Продольно-резательная машина	1	5,5	5,5	0,56	0,7	1,04	3,08	3,2	–	–	–	–	–	–
11	Компьютеризированная поперечно-резательная машина	1	32,0	32,0	0,60	0,7	1,04	19,2	19,97	–	–	–	–	–	–

Продолжение таблицы 2

№	Наименование электроприёмника	Кол-во ЭП	Установленная мощность		Коэф. исп., $K_{и}$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	Средняя нагрузка за смену		Эффективное число ЭП	Коэф. макс.	Макс. мощность			Макс. ток, А
			Одного ЭП, кВт	Группы ЭП, кВт				Актив. мощн. кВт	Реакт. мощн. кВАр			актив. мощн. кВт	реакт. мощн. кВАр	полн. мощн. кВА	
12	Сдвоенный листоукладчик	1	6,0	6,0	0,67	0,7	1,04	4,02	4,18	–	–	–	–	–	–
13	Автоматическая линия производства гофротары	1	20,0	20,0	0,85	0,9	0,49	17,0	8,33	–	–	–	–	–	–
14	Компрессор	1	11,0	11,0	0,82	0,9	0,49	9,02	4,41	–	–	–	–	–	–
15	Штепсельный разъём	6	7,5	45	0,40	0,7	1,04	18,0	18,72	–	–	–	–	–	–
16	Розетка силовая	6	2,0	12	0,40	0,7	1,04	4,8	4,99	–	–	–	–	–	–
17	По предприятию без освещения	32	–	–	–	–	–	424,9	321,9	32	1,12	475,9	360,5	597,1	1057
18	Освещение	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	7,2	3,53	8,02	13,53
19	По предприятию с освещением	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	483,1	364,0	605,1	1070,5

На основании расчётов записанных в таблицу 2, можно производить дальнейшие вычисления кабельных линий и защитной автоматики.

## 2.6 Выбор внутренних кабельных линий

«Кабели, питающие трехфазные потребители должны содержать пять проводников:

- фазные проводники (три штуки);
- нулевой рабочий проводник;
- защитный (заземляющий проводник).

Исключением являются кабели, питающие трехфазные потребители без вывода для нулевого рабочего проводника (например, асинхронный двигатель с к. з. ротором). В таких кабелях нулевой рабочий проводник может отсутствовать» [8, с. 188].

«Из всего многообразия кабельной продукции, представленной на современном рынке, жестким требованиям электро и пожаробезопасности соответствуют только два типа кабелей: ВВГ и NYM» [8, с. 189].

«Внутренние силовые сети должны быть выполнены кабелем не распространяющим горение, то есть с индексом «НГ» (СП–110–2003 п. 14.5). Кроме того, электропроводки в полостях над подвесными потолками и в пустотах перегородок, должны быть с пониженным дымовыделением, на что указывает индекс «LS»» [10, с. 145].

«Общая мощность нагрузки групповой линии определяется как сумма мощностей всех потребителей данной группы. То есть для расчета мощности групповой линии освещения или групповой розеточной линии необходимо просто сложить все мощности потребителей данной группы» [16, с. 20].

Формула для выбора кабеля по току:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos\varphi} \quad (18)$$

Рассчитаем кабельные линии для нескольких потребителей.

Гофропресс карданно-вакуумный:

$$I_{\text{макс}} = \frac{\sqrt{118^2 + (118 \cdot 1,04)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 258 \text{ А,}$$

Кабель АВВГнг(а)–LS-2(5x95).

Сушильный стол:

$$I_{\text{макс}} = \frac{\sqrt{54^2 + (54 \cdot 0,49)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 91,36 \text{ А,}$$

Кабель АВВГ(а)–LS-(5x95).

Главный привод DF–02-1800:

$$I_{\text{макс}} = \frac{\sqrt{42^2 + (42 \cdot 0,49)^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 71,1 \text{ А,}$$

Кабель АВВГнг(а)–LS– (5x95).

Расчёты для всех остальных потребителей рассчитываются тем же методом. Данные записываются в таблицу 3.



Таблица 3 – Выбор внутрицеховых кабелей

№	Электроприёмник	Количество электроприёмников, шт	Ном.мощность электроприёмника, кВт	$\Delta U, \%$	Длина кабеля, м	Марка кабеля/провода	Сечение провода, мм <sup>2</sup>
1	Клееподготовительная система	1	4,0	0,759	65	ВВГнг(а)-LS	5x4
2	Гофропресс карданно-вакуумный	2	118	0,45 0,37	2x55 2x45	АВВГнг(а)-LS	5x95
3	Нагреватель для картона и бумаги	4	1,5	0,39 0,35 0,33 0,31	57 55 48 45	ВВГнг(а)-LS	5x2,5
4	Автоматическая линия производства гофротары	1	20,0	1,43	100	ВВГнг(а)-LS	5x16
5	Электромеханические раскаты	3	5,2	0,86 1,19 0,95	58 50 40	ВВГнг(а)-LS	5x2,5
6	Компьютеризированная поперечно-резательная машина	1	32,0	0,8	55	ВВГнг(а)-LS	5x25
7	Компрессор	1	11,0	0,63	30	ВВГнг(а)-LS	5x6
8	Сдвоенный листоукладчик	1	6,0	0,99	58	ВВГнг(а)-LS	5x4
9	Сушильный стол	1	54,0	0,38	35	АВВГнг(а)-LS	5x95
10	Продольно-резательная машина	1	5,5	1,26	50	ВВГнг(а)-LS	5x2,5
11	Главный привод	1	42,0	0,29	47	АВВГнг(а)-LS	5x95
12	Клеепромазочная машина	1	5,7	0,91	35	ВВГнг(а)-LS	5x2,5
13	Трёхэтажный нагреватель	1	4,5	0,78	38	ВВГнг(а)-LS	5x2,5
14	Накопительный мост	1	15,5	0,85	45	ВВГнг(а)-LS	5x10
15	Штепсельный разъем с вилкой	6	7,5	1,13 1,5 1,24	50 95 130	ВВГнг(а)-LS	5x2,5 5x6 5x10
16	Розетка силовая	6	2,0	0,9 1,2 0,99	50 95 130	ВВГнг(а)-LS	3x2,5 3x4 3x6

Расчёты показывают, что принятое сечение удовлетворяет расчетному условию.

## 2.7 Выбор защитной автоматики

«Автоматический выключатель – низковольтный коммутационный аппарат, обеспечивающий защиту электрической цепи от токовых перегрузок, связанных с подключением большого количества приборов (суммарная мощность которых превышает допустимую), неисправностью приборов или тока короткого замыкания (КЗ). Если выключатель не сработает вовремя и не обесточит линию, большая сила тока может вывести из строя бытовые приборы, а также привести к высокому нагреву кабеля с последующим возгоранием изоляции. Поэтому основная задача автоматического выключателя – определить появление чрезмерного тока и отключить сеть раньше, не допуская пожароопасной ситуации или повреждений приборов» [8, с. 254].

В соответствии с требованиями Правил устройств электроустановок (ПУЭ), «эксплуатация сети без автоматов защиты – запрещена. Для того, чтобы правильно подобрать необходимые автоматы защиты, нужно знать основные характеристики автоматических выключателей: это номинальный ток и время-токовая характеристика» [8, с. 254].

Выбор автомата по мощности нагрузки:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi}, \quad (19)$$

где  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность электроприемника, кВт;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное линейное напряжение, В;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности.

Пусковой ток  $I_{\text{пуск}}$ , А

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{ном}} \cdot X_1, \quad (20)$$

где  $X_1$  – коэффициент пускового тока равный 4.

Ток электромагнитного расцепителя  $I_{\text{эм.р}}$ , А.

$$I_{\text{эм.р}} = I_{\text{пуск}} \cdot 1,25. \quad (21)$$

Ток теплового расцепителя теп р  $I_{\text{теп.р}}$ , А.

$$I_{\text{теп.р}} = I_{\text{ном}} \cdot 1,15. \quad (22)$$

Расчёты:

Гофропресс карданно-вакуумный:

$$I_{\text{ном}} = \frac{118}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 256,12 \text{ А.}$$

Пусковой ток:

$$I_{\text{пуск}} = 256,12 \cdot 4 = 1024,5 \text{ А.}$$

Ток электромагнитного расцепителя:

$$I_{\text{эм.р}} = 1024,5 \cdot 1,25 = 1280,63 \text{ А.}$$

Ток теплового расцепителя:

$$I_{\text{теп.р}} = 256,12 \cdot 1,15 = 294,53 \text{ А.}$$

Все дальнейшие расчёты занесены в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбор защитной автоматики

№	Наименование ЭП	Ном. мощн. ЭП, кВт	Ном.ток ЭП, А	Пусково й ток ЭП, А	Номинальный ток теплового расцепителя		Номинальный ток автоматического выключателя, А	Номинальный ток электромагнитного расцепителя		Тип выключате ля
					Расчётное значение, А	Ном.значе ние, А		Расчётное значение, А	Номинальное значение, А	
1	Гофропресс карданно-вакуумный	118	256,12	1024,5	294	300	320	1280,6	1600	ВА51- 35М3-34
2	Компьютеризирован ная поперечно- резательная машина.	32,0	69,43	277,72	79,8	100	100	347,2	1000	ВА47-60 С20А
3	Клееподготовительн ая система	4,0	8,66	34,64	9,9	16	20	43,3	100	ВА47-100
4	Электромеханически е раскаты	5,2	11,26	45,04	12,9	16	20	56,3	100	ВА47-60 С20А
5	Нагреватель для картона и бумаги	1,5	2,53	10,12	2,9	10	10	12,7	63	ВА47-60 С10А
6	Накопительный мост	15,5	33,5	134	38,5	40	50	167,5	400	ВА47-60- С50А
7	Трёхэтажный нагреватель	4,5	7,58	30,32	8,71	16	20	37,9	100	ВА47-60 С20А
8	Клеепромазочная машина	5,7	12,34	49,36	14,2	16	20	61,7	160	ВА47-60 С20А
9	Сушильный стол	54,0	116,9	467,6	134,4	160	160	584,5	1000	ВА51- 35М2-34
10	Главный привод	42,0	90,91	363,4	104,5	160	160	454,3	1000	ВА51- 35М2-34
11	Продольно- резательная машина	5,5	11,9	47,6	13,7	16	20	59,5	100	ВА47-60 С20А
12	Сдвоенный листоукладчик	6,0	12,9	51,6	14,8	16	20	64,5	100	ВА47-60 С20А
13	Автоматическая линия производства гофротары	20,0	43,29	173,16	50,5	63	63	216,5	400	ВА47-60 В63А

Продолжение таблицы 4

№	Наименование ЭП	Ном. мощн. ЭП, кВт	Ном.ток ЭП, А	Пусково й ток ЭП, А	Номинальный ток теплового расцепителя		Номинальный ток автоматического выключателя, А	Номинальный ток электромагнитного расцепителя		Тип выключате ля
					Расчётное значение, А	Ном. значение,		Расчётное значение, А	Номинальное значение, А	
14	Компрессор	11,0	23,8	95,2	27,4	40	40	119	400	ВА47-60 С40А
15	Штепсельный разъём	7,5	13,36	53,44	15,4	20	20	66,8	160	АВДТ 34 С20А
16	Розетка силовая	2,0	10,7	42,8	12,3	16	16	53,5	160	АВДТ 32 С16А

Вывод по 2 разделу.

В данном разделе мы производили расчёты внутрицехового электроснабжения. Расчёт электрических нагрузок выполнен методом коэффициента максимума.

В качестве система освещения была выбрана система общего освещения, предназначенная для освещения площадки в целом, для равномерного распределения светового потока. Для установки допущены светильники производителя «НПК Вирона» VRN-UNE-80 со световым потоком 10000 лм, мощностью 80 Вт. Электрические нагрузки освещения рассчитаны методом коэффициента спроса.

Расчёты внутрицеховых кабельных линий и расчёты автоматики произведены по току электроприёмников. Для данного типа помещения требованиям электро и пожаробезопасности соответствуют кабель марки ВВГ с индексом «НГ». Этот индекс означает, что кабель не распространяет горение при групповой прокладке. Также электропроводка в полостях над подвесными потолками и в пустотах перегородок, должны быть с пониженным дымовыделением, для этого следует устанавливать кабели с индексом «LS».

### **3 Проектирование системы внешнего электроснабжения**

#### **3.1 Выбор числа и мощности трансформаторов главной понизительной подстанции**

Для построения целесообразной схемы электроснабжения ключевым фактором является выбор числа и мощности трансформаторов для главной понизительной подстанции. Количество трансформаторов выбирается в зависимости от категории потребителя. Существуют 3 категории потребителей:

- к первой категории относят наиболее важных потребителей, где отключение электроснабжения может привести к авариям на производстве, несчастным случаям, а также крупным поломкам большого количества производственного оборудования. Перерыв электроснабжения допускается только на время включения автоматики, для включения резервного питания;
- ко второй категории относят потребителей, где перерыв в электроснабжении может привести большому количеству брака на производстве, простоя рабочих, а также выводу из строя оборудования и механизмов;
- к третьей категории все остальные потребители.

В нашем случае, предприятия относятся ко второй категории, так как большинство оборудования работает на высокой температуре и резкий обрыв питания, в то время, когда на нём находится сырьё, может испортить полотна на станках. Примерная стоимость ущерба составляет в районе 1 миллиона рублей. Целесообразно использовать двухтрансформаторную ГПП.

Далее нужно определить мощность трансформаторов. Их мощность определяется с учетом их перегрузочной способности. Выбор мощности трансформаторов допускается рассчитывать по расчетной мощности

производства с учетом коэффициента загрузки трансформатора в нормальном и послеаварийном режимах.

Расчётная нагрузка по предприятию составляет 605 кВ·А. Но существует дополнительная нагрузка в виде соседнего предприятия, которая составляет 400 кВ·А. Суммарная нагрузка составляет 1005 кВ·А. Под данную нагрузку подходят трансформаторы 1000 кВ·А и 1250 кВ·А.

Проверим каждый из трансформаторов по формуле коэффициента загрузки трансформатора в нормальном режиме работы:

$$K_3 = \frac{Sp}{2 \cdot St.ном}, \quad (23)$$

где  $St.ном$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$Sp$  – суммарная расчётная нагрузка на трансформатор, кВА.

$$1) K_3 = \frac{1205}{2 \cdot 1000} = 0,602 \text{ ед.}$$

$$2) K_3 = \frac{1205}{2 \cdot 1250} = 0,482 \text{ ед.}$$

Так как присутствуют потребители 2 категории выбираются 2 трансформатора. Чтобы в случае отключения одного трансформатора второй мог работать в перегрузке до 40%. Коэффициент загрузки трансформатора в послеаварийном режиме равен:

$$K_{3.ав} = \frac{Sp}{St.ном}, \quad (24)$$

$$1) K_{3.ав} = \frac{1205}{1000} = 1,205 \text{ ед.}$$

$$2) K_{3.ав} = \frac{1205}{1250} = 0,964 \text{ ед.}$$



$$K_{з.ав} = 0,964 < 1,205 < 1,4.$$

Выбранные трансформаторы могут обеспечить работу 40% перегрузке, так как они не превышают значения 1,4 по коэффициенту загрузки трансформатора в послеаварийном режиме.

### **3.2 Определение внешнего электроснабжения главной понизительной подстанции**

Для определения рационального напряжения системы внешнего электроснабжения нужны данные о передаваемая предприятию расчетная мощность и расстояние от источника питания  $l$  в километрах. Определяют эту величину по формуле Стилла:

$$U_{рац} = 4,34 \sqrt{L + 0,016P}, \quad (25)$$

где  $L$  – длина питающей линии до ГПП, км;

$P$  – расчетная нагрузка на стороне низшего напряжения, кВ·А.

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{1 + 0,016 \cdot 1005} = 17,93 \text{ кВ.}$$

Для последующих расчётов возьмём трансформаторы ТМГ-1000/10/0,4 и ТМГ-1600/10/0,4.

«В отличии от предшествующей серии трансформаторов ТМ, масляные трансформаторы серии ТМГ изготавливаются в герметичном исполнении (их внутренний объем не имеет сообщения с окружающей средой) [6, с. 12].

«Трансформаторы заполнены трансформаторным маслом. Расширитель или газовая подушка, сообщающаяся с внешней средой, отсутствует, вследствие чего исключается увлажнение и окисление масла, а также шламообразование. Трансформаторное масло не меняет своих свойств в

течение всего срока службы трансформаторов, поэтому проводить отбор пробы масла и его замену не требуется» [13, с. 3].

«Герметичные трансформаторы ТМГ, даже после продолжительного хранения, практически не требуют расходов на предпусковые работы и при правильной эксплуатации не нуждаются в профилактических ремонтах и ревизиях в течении всего срока эксплуатации» [14, с. 5].

Таблица 6 – Каталожные данные силового трансформатора ТМГ-1000/10/0,4

Тип	$S_{\text{НОМ}}$ , кВ·А	$U_{\text{НОМ}}$ обмоток		$u_{\text{к}}$ , %	$\Delta P_{\text{к}}$ кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ кВт	$I_{\text{х}}$ , %
		ВН	НН				
ТМГ- 1000/10/0,4	1000	10	0,4	5,5	11	1,6	1,4

Таблица 7 – Каталожные данные силового трансформатора ТМГ-1250/10/0,4

Тип	$S_{\text{НОМ}}$ , кВ·А	$U_{\text{НОМ}}$ обмоток		$u_{\text{к}}$ , %	$\Delta P_{\text{к}}$ кВт	$\Delta P_{\text{х}}$ кВт	$I_{\text{х}}$ , %
		ВН	НН				
ТМГ- 1250/10/0,4	1250	10	0,4	6,0	14,4	2,0	1,0

«При нагрузках, близких к номинальной мощности, срок службы трансформатора не менее 30 лет. Нормальный срок службы изоляции при номинальном режиме работы – 30 лет. Чем больше перегрузки по току, то есть чем выше температура изоляции, при которой она работает, тем скорее она теряет свои механические и электрические свойства, подвергается большему износу, старению. Срок службы трансформатора сокращается» [11, с. 35].

### 3.3 Технико-экономический выбор номинальной мощности трансформаторов

Для начала найдём  $Q_x$  – потери реактивной мощности на холостом ходу, кВар.

$$Q_x = I_x\% S_{\text{НОМ Т}} / 100, \quad (26)$$

где  $I_x\%$  – ток холостого хода трансформатора, %;

$S_{\text{НОМ Т}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА.

$$Q_{x(\text{ТМГ-1000/10/0,4})} = 1,4 \cdot 1000 / 100 = 14 \text{ кВар.}$$

$$Q_{x(\text{ТМГ-1250/10/0,4})} = 1,0 \cdot 1250 / 100 = 12,5 \text{ кВар.}$$

Находятся приведенные потери мощности в стали трансформатора на холостом ходу (Х.Х.),  $P_x$ , кВт:

$$\Delta P_x = \Delta P_x + K_{\text{ип}} \Delta Q_x, \quad (27)$$

где  $K_{\text{ип}}$  – коэффициент изменения потерь,  $K_{\text{ип}} = 0,05$  кВт/кВар;

$Q_x$  – потери реактивной мощности на холостом ходу, кВар.

$$\Delta P_{x(\text{ТМГ-1000/10/0,4})} = 1,6 + 0,05 \cdot 14 = 2,3 \text{ кВт.}$$

$$\Delta P_{x(\text{ТМГ-1250/10/0,4})} = 2,0 + 0,05 \cdot 12,5 = 2,625 \text{ кВт.}$$

Потери реактивной мощности короткого замыкания, кВар:

$$Q_k = U_{k\%} S_{\text{НОМ Т}} / 100, \quad (28)$$

где  $U_{k\%}$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

$$Q_{k(\text{ТМГ-1000/10/0,4})} = 5,5 \cdot 1000 / 100 = 55 \text{ кВар.}$$

$$Q_{к(ТМГ-1250/10/0,4)} = 6 \cdot 1000 / 100 = 60 \text{ кВАр.}$$

Находятся приведенные нагрузочные потери мощности трансформатора на коротком замыкании (К.З.),  $P_{к}$ , кВт:

$$P_{к} = P_{к} + K_{ип} Q_{к}, \quad (29)$$

$$P_{к(ТМГ-1000/10/0,4)} = 11 + 0,05 \cdot 55 = 13,75 \text{ кВт}$$

$$P_{к(ТМГ-1250/10/0,4)} = 14,4 + 0,05 \cdot 60 = 17,4 \text{ кВт}$$

Приведенные потери мощности трансформатора  $P'_т$ , кВт:

$$P_m = P_x + K_3^2 \cdot P_{к}, \quad (30)$$

$$P_{m(ТМГ-1000/10/0,4)} = 11 + 1,205^2 \cdot 13,75 = 30,96 \text{ кВт.}$$

$$P_{m(ТМГ-1250/10/0,4)} = 14,4 + 0,964^2 \cdot 17,4 = 30,56 \text{ кВт.}$$

Годовые потери энергии одного трансформатора:

$$W_{(ТМГ-1000/10/0,4)} = 2,0 \cdot 8760 = 17520 \text{ кВт·час.}$$

$$W_{(ТМГ-1250/10/0,4)} = 1,6 \cdot 8760 = 14060 \text{ кВт·час.}$$

Капитальные затраты на оборудование ГПП:

$$K_{(ТМГ-1000/10/0,4)} = 2 \cdot 380000 = 760000 \text{ рублей.}$$

$$K_{(ТМГ-1250/10/0,4)} = 2 \cdot 520000 = 1040000 \text{ рублей.}$$

Для главной понизительной подстанции допускаются к установке трансформаторы ТМГ-1000/10/0,4.

### 3.4 Расчёт токов короткого замыкания

«Основной целью расчёта токов короткого замыкания является выбор и дальнейшая проверка электрооборудования, а также проверка релейной защиты и автоматики» [17, с. 190].

«К коротким замыканиям относится всякое не предусмотренное условия работы оборудования, замыкание между фазами или фаз на землю. Короткое замыкание возникает из-за старения или повреждения изоляции, перенапряжении в сетях или ошибочных действиях персонала» [15, с. 19].

При появлении КЗ, в сети резко возрастают токи в фазах, что вызывает снижение напряжения в системе. Особенно велико снижения напряжения вблизи КЗ, поскольку в таком случае все три фазы находятся в одинаковых условиях. Все прочие короткие замыкания относятся к несимметричным.

Составим схему расчётную схему и схему замещения.

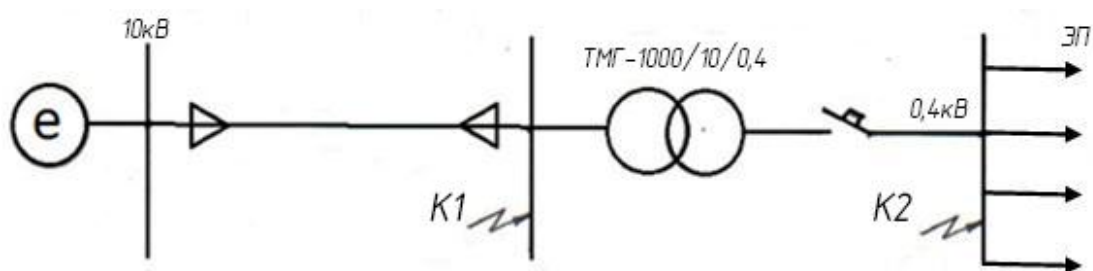


Рисунок 2 – Расчётная схема: K1, K2 – точки К.З.; ЭП – электроприёмники предприятия

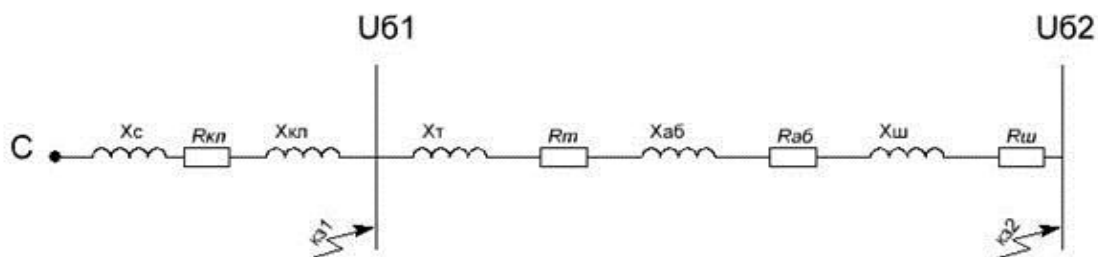


Рисунок 3 – Схема замещения

Рассчитаем токи короткого замыкания в точке К1.

Данные трансформатора:  $u_k = 5,5 \%$ ,  $U_{ном} = 10$  кВ,  $S_H = 1$  МВА.

Данные о системе:  $S_{б} = 800$  МВА,  $S_{к.з} = 600$  МВА.

Данные о линии:  $x_0 = 0,4$  Ом/км,  $L = 1$  км.

Сопротивление системы:

$$X_{с.б} = S_{б}/S_{к.з}, \quad (31)$$

где  $S_{б}$  – базисная мощность, МВА;

$S_{к.з}$  – мощность трёхфазного короткого замыкания питающей энергосистемы.

$$X_{с.б} = 800/600 = 1,33 \text{ о.е.}$$

Относительное сопротивление воздушно-высоковольтной линии:

$$X_{в.л} = (X_0 \cdot L \cdot S_{б})/U_{ном}^2, \quad (32)$$

где  $X_0$  – сопротивление воздушной линии, Ом/км;

$L$  – длина воздушной линии, км;

$U_{ном}$  – номинальное напряжение, кВ.

$$X_{в.л} = (0,4 \cdot 1 \cdot 800) / 10^2 = 3,1 \text{ о.е.}$$

Сопротивление трансформатора:

$$X_m = \frac{U_k\% \cdot S_{б}}{100 \cdot S_H}, \quad (33)$$

где  $S_H$  – номинальная мощность трансформатора, МВА;

$U_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

$$X_m = \frac{5,5 \cdot 800}{100 \cdot 1} = 4,4 \text{ о.е.}$$

Базисный ток:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \quad (34)$$
$$I_{\delta} = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46,18 \text{ кА.}$$

Суммарное сопротивление цепи:

$$X_{сумм KI} = X_{с.в} + X_{в.л}, \quad (35)$$
$$X_{сумм KI} = 3,1 + 1,33 + 4,4 = 8,83 \text{ о.е.}$$

Ток короткого замыкания:

$$I_{к.з} = I_{\delta} / X_{сумм KI}, \quad (36)$$
$$I_{к.з} = 46,18 / 8,83 = 5,22 \text{ кА.}$$

Мощность короткого замыкания:

$$S_{к.з} = \sqrt{3} \cdot I_{к.з} \cdot U_{ном}, \quad (37)$$
$$S_{к.з} = \sqrt{3} \cdot 5,22 \cdot 10 = 90,41 \text{ МВА.}$$

Ударный ток короткого замыкания:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_{к.з} \cdot k_{уд}, \quad (38)$$

где  $k_{уд}$  – ударный коэффициент;

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 5,22 \cdot 1,6 = 11,81 \text{ кА.} \quad (39)$$

Действующие значения полного тока короткого замыкания:

$$I_y = I_{к.з} \cdot \sqrt{1 + 2(Ky - 1)^2}, \quad (40)$$

$$I_y = 5,22 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,6 - 1)^2} = 6,84 \text{ кА.}$$

Полученные данные по точкам сведём в таблицу 8.

Таблица 8 – Результаты расчетов токов К.З.

Точки К.З	$I_k$ , кА	$i_{уд}$ , кА	$I_y$ , кА	$S_{к.з.}$ , МВА
К1	5,22	11,81	6,84	90,41
К2	20,44	20,31	22,78	10,02

Все элементы системы электроснабжения удовлетворяют расчетным условиям защиты. Под понятием «расчётные условия» понимаются наиболее тяжелые условия, в которых могут оказаться электрические аппараты и проводники.

### 3.5 Выбор и проверка вакуумного выключателя

Для установки был выбран вакуумный выключатель ВВУ-СЭЦ-П-10-/1200.

Номинальное напряжение:

$$U_{ном} \leq U_{сет.ном} \quad (41)$$

$$10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ.}$$

Максимальный ток:



$$I_{max} = \frac{1,8 \cdot S_T}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (42)$$

$$I_{max} \leq I_{НОМ}, \quad (43)$$

$$I_{max} = \frac{1,8 \cdot 10000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1070,1 \text{ А},$$

$$1070,1 \text{ А} \leq 1200 \text{ А}.$$

Симметричный ток:

$$I_{п,τ} \leq I_{откл.ном}, \quad (44)$$

$$I_{п,τ} = I_K = 5,22 \text{ кА},$$

$$5,22 \text{ кА} \leq 23 \text{ кА}.$$

Апериодическая составляющая тока:

$$\tau = t_{рз} + t_{с.в.} \quad (45)$$

$$\tau = 0,01 + 0,03 = 0,04 \text{ с}.$$

$$I_{a,τ} = \sqrt{2} \cdot I_{п,τ} \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}. \quad (46)$$

$$I_{a,τ} = \sqrt{2} \cdot 10,68 \cdot e^{-\frac{0,04}{0,03}} = 3,99 \text{ кА}.$$

$$I_{a,ном} = \left( \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_{нор}}{100} \right) \cdot I_{откл.ном}. \quad (47)$$

$$I_{a,ном} = \left( \frac{\sqrt{2} \cdot 40}{100} \right) \cdot 31,5 = 17,82 \text{ кА}.$$

$$I_{a,τ} \leq I_{a,ном}. \quad (48)$$

$$3,99 \text{ кА} \leq 17,82 \text{ кА}.$$

Включающая способность:

$$I_K \leq I_{вкл.ном}. \quad (49)$$

$$I_K = 5,22 \text{ кА} \leq I_{вкл.ном} = 31,5 \text{ кА}.$$

$$i_{уд} \leq i_{вкл.ном} \quad (50)$$

$$i_{уд} = 20,31 \text{ кА} \leq i_{вкл.ном} = 50 \text{ кА.}$$

Термическая стойкость:

$$t_{откл} = t_{рз} + t_{пв.откл} \quad (51)$$

$$t_{откл} = 0,01 + 0,05 = 0,06 \text{ с.}$$

$$B_K = I_{п,0}^2 \cdot (t_{откл} + T_a) \quad (52)$$

$$B_K = (10,68 \cdot 10^3)^2 \cdot (0,06 + 0,03) = 10,26 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с.}$$

Поскольку  $t_{откл} = 0,06 \text{ с} < t_T = 3 \text{ с}$ , то условие проверки на термическую стойкость имеет следующий вид:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_{откл} \quad (53)$$

$$I_T^2 \cdot t_{откл} = (31,5 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,06 = 59,54 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с.}$$

$$10,26 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с} \leq I_T^2 \cdot t_{откл} = 59,54 \cdot 10^6 \text{ A}^2 \cdot \text{с.}$$

Все условия выполняются, а значит, данный выключатель прошел проверку.

### 3.6 Расчёт заземления

Для предотвращения случаев поражения электрическим током, необходимо сооружать заземляющие устройства. Нетоковедущие части оказываются под напряжением вследствие неисправности или пробоя изоляции.

В соответствии с ПУЭ п.1.7.96, 1.7.97 и 1.7.104 «Для электроустановок напряжением выше 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью (35-10 кВ) сопротивление ЗУ не должно превышать 4 Ом. В соответствии с ПУЭ п.

1.7.101 сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора, или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 4 Ом при линейном напряжении 380 В источника трехфазного тока» [9, с. 15].

Для этого рассчитаем защитное заземление главной понизительной подстанции 10/0,4 кВ.

Тип грунта в месте подстанции – сухоглинок.

Удельное сопротивление данного грунта составляет 100 Ом·м.

Габаритные размеры подстанции: длина: 1,9 м, ширина: 1,2 м, высота 1,9 м.

В качестве схемы заземления выбираем глубинное модульное заземление. Для установки вертикальных заземлителей принимаем стальные коррозионностойкие стержни длиной 8 м, объединённые с вертикальным стержнем длиной 6 м.

Произведём расчёты сопротивления заземляющего устройства.

Сопротивление вертикального электрода:

$$R_{\text{верт}} = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{2L}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4T+L}{4T-L} \right), \quad (54)$$

где  $\rho_{\text{экрв}}$  – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м;

T – расстояние от поверхности земли до заземлителя, м;

d – диаметр вертикального электрода, м;

L – длина вертикального электрода, м.

$$R_{\text{верт1}} = \frac{100}{2\pi \cdot 10} \left( \ln \frac{2 \cdot 10}{0,015} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 3,5 + 9}{4 \cdot 3,5 - 9} \right) = 11,36 \text{ Ом.}$$

$$R_{\text{верт2}} = \frac{100}{2\pi \cdot 6} \left( \ln \frac{2 \cdot 6}{0,015} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 9}{4 \cdot 2 - 9} \right) = 13,21 \text{ Ом.}$$

Рассчитаем сопротивление горизонтального электрода:

$$R_{\text{гор}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L_{\text{гор}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{гор}}^2}{bh}, \quad (55)$$

где  $L_{\text{гор}}$  – длина горизонтального электрода, м;

$h$  – глубина заложения горизонтальной сетки, м;

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

$b$  – ширина полосы горизонтального электрода, м.

$$R_{\text{гор}} = \frac{100}{2\pi \cdot 29} \cdot \ln \frac{2 \cdot 29^2}{0,03 \cdot 0,5} = 6,23 \text{ Ом.}$$

Далее произведём расчёты полного сопротивления заземляющего устройства:

$$R_{\text{зу}} = \frac{1}{k_{\text{исп}} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{R_i}}, \quad (56)$$

где  $n$  – количество комплектов;

$k_{\text{исп}}$  – коэффициент использования.

$$R_{\text{зу}} = \frac{1}{0,78 \cdot \left( \frac{1}{11,36} + \frac{1}{13,21} + \frac{1}{6,23} \right)} = 3,95 \text{ Ом.}$$

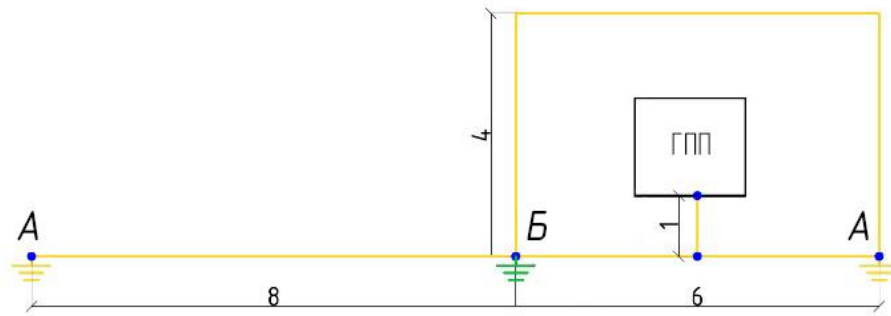


Рисунок 4 – Схема заземления главной понизительной подстанции: А – вертикальный электрод и зажимы для подключения; Б – горизонтальный электрод.

Выводы по 3 разделу.

В данном разделе мы производили расчёты внешнего электроснабжения. внутрицехового электроснабжения. Выбор числа и мощности трансформаторов главной понизительной подстанции. Выбор мощности трансформаторов рассчитали по расчетной мощности производства с учетом коэффициента загрузки трансформатора в нормальном и послеаварийном режимах.

В качестве трансформаторов были выбраны 2 трансформатора ТМГ-1000/10/0,4. Такое решение была принято в связи с тем, что потребитель относится ко второй категории.

Были посчитаны токи короткого замыкания в двух точках, до трансформатора и после. По полученным расчётам, вся защитная автоматика допускается к установке.

Рассчитано заземление для главной понизительной подстанции, в качестве схемы заземления была выбрана схема глубинного модульного заземления. Для установки вертикальных заземлителей были взяты стальные коррозионностойкие стержни длиной.

Для отключения стороны 10 кВ был выбран и проверен вакуумный выключатель ВВУ-СЭЩ-П-10-/1200 производителя «Электрощит».

## Заключение

В данной работе была успешно спроектирована система электроснабжения производственного предприятия ООО «Волжская картонная мануфактура».

В первой части работы мы собирали информацию по нашему объекту. Изучали характеристики оборудования, подбирали удобное расположение главного распределительно щита, а также самого оборудования.

Во второй части производили расчёты системы внутреннего электроснабжения. Произвели расчёты электрических нагрузок, а также рассчитывали освещение всего предприятия для получения правильной освещённости рабочих мест. Подбирали сечения проводов и жил кабелей и рассчитывали защитную автоматику.

В третьей части спроектировали главную понизительную подстанцию. Выбрали число и мощности трансформаторов, а также учли экономические факторы.

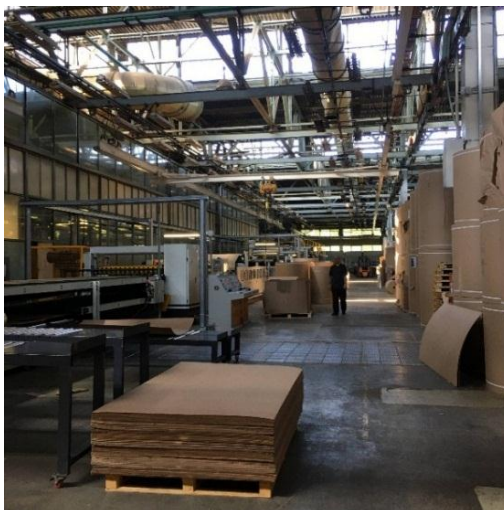


Рисунок 5 – Первый день работы предприятия

Итогом работы стало действующее предприятие по производству гофрированного картона.

## Список используемой литературы

1. Вахнина, В.В. Проектирование системы электроснабжения цеха предприятия: методические указания по курсовому проектированию / В.В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: ТГУ, 2008.
2. Завод электротехнического оборудования: ЗАО «ЗЭТО». [Электронный ресурс] // URL: <http://zeto.ru> (дата обращения 17.04.2021).
3. Кокин, С.Е. Схемы электрических соединений подстанций: учебное пособие/ Кокин С.Е., Дмитриев С.А., Хальясмаа А.И., - 2-е изд., стер. - М.:Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 100 с.
4. Крючков, И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные и методические материалы для выполнения квалификационных работ: учебно-справочное пособие для вузов/И.П. Крючков, М.В. Пираторов, В.А. Старшинов; под ред. И.П. Крюčkова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. 138 с.
5. Немировский, А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Е. Немировский, И.Ю. Сергиевская, Л.Ю. Крепышева. - М: "Инфра-Инженерия", 2018. - 148 с (дата обращения 14.04.2021).
6. ОАО «Электроприбор». [Электронный ресурс] // URL: <https://www.elpribor.ru> (дата обращения 10.04.2021).
7. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М.: Форум; ИНФРА-М, - 2018. – 416 с.
8. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: ИНФРА-М,. 2017. - 262 с.
9. Правила устройств электроустановок (ПУЭ). –7-е изд. 2008.
10. Старшинов В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций: учебное пособие/ В.А. Старшинов, М.В Пираторов, М.А. Козина; под ред. В.А. Старшинова. – М.: Издательский дом МЭИ,2015. 296 с.

11. СТО 34.01-3.1-002-2016 Типовые технические решения подстанций 6-110 кВ [Электронный ресурс] // URL: [https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp\\_atandart/doc/34.01-3.1-002-2016.pdf](https://www.rosseti.ru/investment/standart/corp_atandart/doc/34.01-3.1-002-2016.pdf) (дата обращения 20.04.2021).

12. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению: учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 136 с.

13. Электрощит Самара.: ВВУ–СЭЩ 10 кВ [электронный ресурс] URL: <https://www.electroshield.ru/catalog/vakuumnie-vykluchateli/vvu-seshch-10-kv/> (дата обращения 15.04.2021)

14. Электрощит Самара.: Силовые трансформаторы ТМ(Г)(Ф)-СЭЩ [электронный ресурс] URL: <https://www.electroshield.ru/catalog/transformatory-silovie-raspreditelnie/tm-g-f-seshch-25-2-500-kva-6-10-15-20-35-kv/> (дата обращения 17.04.2021)

15. Эрнест А. Д. Расчет токов короткого замыкания в электрических системах: Учеб. пособие. — Нижневартовск: Изд-во НГГУ, 2012. – 130 с.

16. Goyal, U. Design of low power multiple output power supply forembedded systems / U. Goyal, N. R. Prakash. - Computing, Communications and Networking Technologies (ICCCNT), 2013 Fourth International Conference on, Tiruchengode, 2013. 102 с.

17. Ismail Kasikci. Short Circuits in Power Systems: A Practical Guide to IEC 60909, Second edition. 2017. 298 с.

18. Jianping, G. Power supply reliability analysis and improvement measures of regional power grid / G. Jianping, W. Guopei, L. Zhenhai. - 2008 China International Conference on Electricity Distribution, Guangzhou, 2008. 77 с.

19. Ou S. Y. Analysis and Design of a Novel Single-Stage Switching Power Supply With Half-Bridge Topology / S. Y. Ou, H. P. Hsiao. - IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 26, no. 11, 2011, 154 с.

20. Wang, C. S. An evaluation method for power supply capacity of distribution system / C. S. Wang. - Electric Utility Deregulation and Restructuring



and Power Technologies, 2008, DRPT 2008, Third International Conference on,  
Nanjuing, 2008. 257 c.