

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 производственной площадки по
выпуску осветительного оборудования

Обучающийся

Е.И. Истомин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

О.В. Федяй

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

Консультант

к.филол.н., доцент, С.Ю. Мамушкина

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

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа выполнена на тему «Проектирование системы электроснабжения производственной площадки по выпуску осветительного оборудования».

В работе проведен анализ компании, производящей светильники и уже существующей площадки, выбраны система заземления и молниезащиты, проведены расчеты электрических нагрузок для новой производственной площадки и рабочего тока, показан пример расчета тока короткого замыкания одного из электроприемников в сети 0,4 кВ. Выбрана марка цехового трансформатора и устройство компенсации реактивной нагрузки для внутрицеховой подстанции. Выбрана схема электроснабжения цеха с обоснованием принятого решения. Осуществлен выбор электрооборудования и проводников для каждого электроприемника. На основе вышеперечисленного нарисованы чертежи.

Выпускная квалификационная работа бакалавра выполнена в объеме 45 листов, 4 рисунков и 6 таблиц.

Abstract

The title of the graduation work is "Design of the Power Supply System for a Lighting Equipment Manufacturing Facility."

The graduation work consists of an introduction, three parts, 45 pages, including 4 figures and 6 tables.

The aim of this graduation work is to design a safe, reliable, and efficient electrical power supply system for a lighting equipment production facility.

The object of the graduation work is the electrical infrastructure of a lighting equipment manufacturing plant.

The subject of the graduation work is the design process for the facility's power distribution system, including grounding, protection, load analysis, and equipment selection.

The key issue of the graduation work is selecting optimal solutions for reactive power compensation, transformer specification, and fault protection to ensure operational safety and energy efficiency.

The first part describes in details: Initial facility characteristics; Site infrastructure specifications, and comprehensive lightning protection design.

The second part outlines the results: electrical load calculations, workshop illumination design, transformer configuration analysis, short-circuit current computations for 0.4kV network protection coordination.

The third part consists of: Development of the optimal workshop power scheme; Preliminary selection of switchgear, conductors, and distribution equipment; Validation of equipment withstand ratings against short-circuit stresses.

In conclusion, I would like to emphasize that the designed power supply system complies with all safety standards, ensures operational reliability and optimizes energy efficiency due to reactive power compensation.

The work is of interest for wide circle of readers interested in industrial electrical design, power system engineering for manufacturing facilities, and energy-efficient infrastructure solutions for the lighting industry.

Содержание

Введение	5
1 Исходные данные объекта электроснабжения	6
1.1 Характеристика объекта	6
1.2 Молниезащита	9
2 Расчет электрических нагрузок	11
3 Расчет электрического освещения	19
4 Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов	26
5 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения	30
6 Выбор электрооборудования и проводников	32
7 Расчет токов короткого замыкания	38
Заключение	43
Список используемых источников	44

Введение

В современных условиях развития промышленности, вопросы энергоэффективности и надежности электроснабжения производственных площадок приобретают первостепенное значение. Светодиодная продукция становится все более востребованной благодаря своей энергоэффективности, долговечности и экологичности. Это, в свою очередь, создает необходимость в создании современных производственных мощностей, способных удовлетворить растущий спрос.

Однако многие действующие предприятия сталкиваются с проблемой ограниченности производственных площадей и устаревшей инфраструктурой. Это приводит к снижению эффективности производства, нерациональному использованию ресурсов и увеличению рисков возникновения аварийных ситуаций. Именно поэтому, проектирование новой производственной площадки, которая бы отвечала современным требованиям к энергоснабжению и технологическим процессам, является крайне актуальной задачей.

На данном этапе, производственная площадка, где происходит изготовление светодиодных светильников, страдает от недостатка пространства и невозможности расширения производства из-за ограниченности места. Существующее электроснабжение не рассчитано на увеличение производственных мощностей, что тормозит дальнейшее развитие предприятия и создание более эффективного производственного процесса.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка проекта системы электроснабжения для новой производственной площадки по выпуску осветительного оборудования компании EFLIGHT. Эта цель подразумевает создание комплексного проекта, который обеспечит надежное, экономичное и безопасное электроснабжение для всех производственных и вспомогательных помещений, а также учитывает перспективы дальнейшего расширения предприятия.

1 Исходные данные объекта электроснабжения

Компания EFLIGHT (ООО «ЭфЛайт») – это российский производитель светодиодных светильников и поставщик комплексных решений в области энергоэффективного освещения. Компания создает и внедряет энергоэффективные и энергосберегающие системы освещения для промышленных предприятий, общественных и административных зданий, торговых комплексов, спортивных сооружений, медицинских учреждений, уличного и магистрального освещения.

ЭфЛайт участвовала в крупных проектах для таких крупных компаний как Росатом, Роскосмос, Транснефть, Газпром, Автоваз и др.

Благодаря собственному конструкторскому бюро и производству в г. Тольятти компания не зависит от поставок товара на склад, готова изготовить любую партию изделий в кратчайший срок и с наивысшим качеством. А наличие собственных монтажных бригад позволяет предоставлять услуги «под ключ» от проектирования до монтажа светового оборудования [5].

1.1 Характеристика объекта

В связи с тем, что у ЭфЛайт в планах расширение производства в выпускной квалификационной работе будет представлен план электроснабжения новой производственной площадки по производству светодиодных светильников, но с исправлением недостатков уже существующей производственной площадки. План уже существующего цеха представлен на рисунке 1. Основными недостатками являются неудобное расположения аппаратов и дефицит свободного пространства, что плохо отражается на логистике заготовок между станками и электропотребителями, фигурирующими в производстве. В новом цеху, данные проблемы будут учтены.

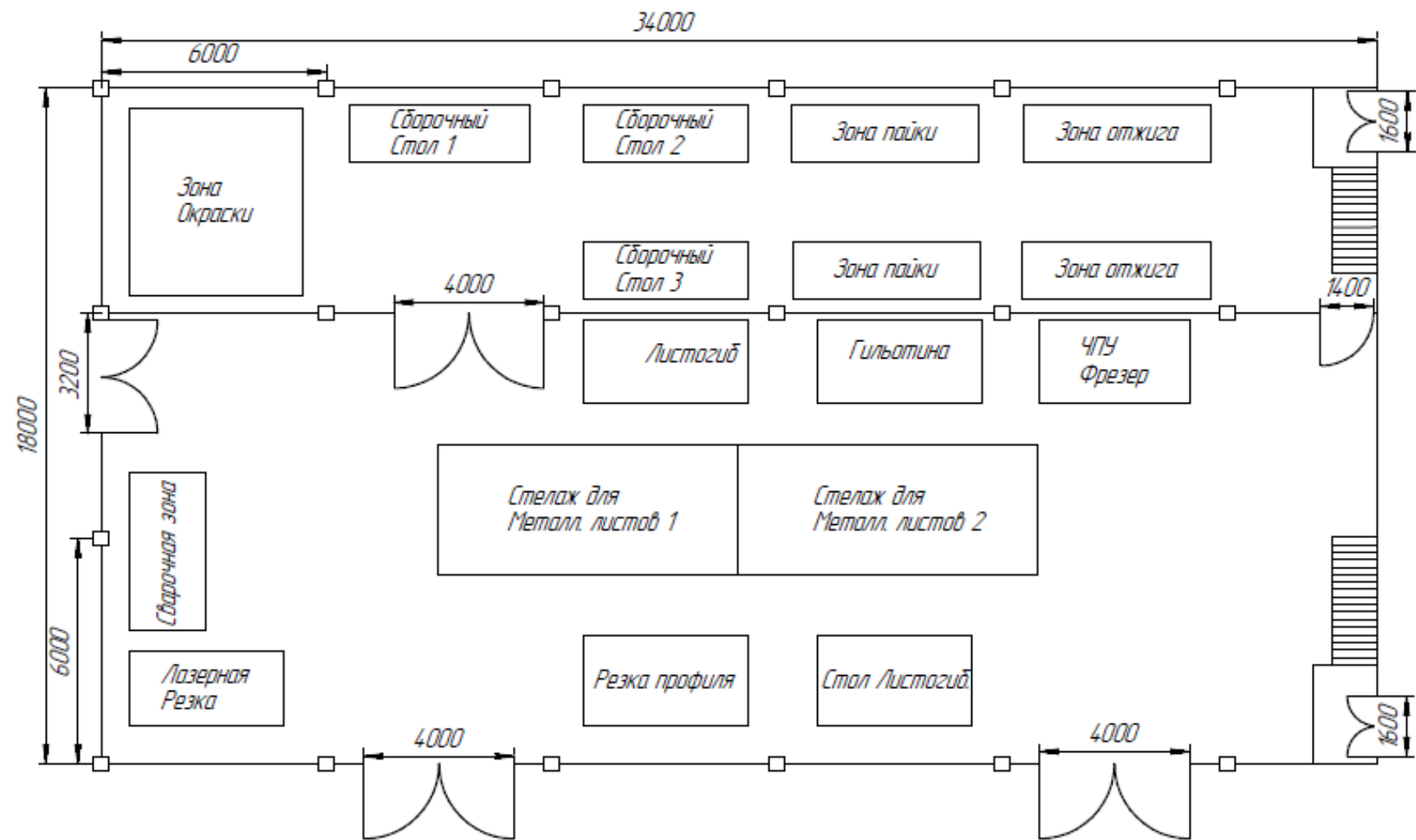


Рисунок 1 – План существующего цеха

Новая производственная площадка питается от сети 6 кВ, является потребителем III категории надежности [1] и предназначена для производства светодиодных светильников [4]. Аппараты в цехе следующие:

- установка лазерной сварки;
- стенд для тестирования светильников;
- печь для пайки SMD компонентов;
- расстановщик LED компонентов;
- станок нанесения пасты;
- автоматизированный комплекс лазерной резки;
- пресс гибочный гидравлический;
- гильотинные ножницы;
- машина контактной сварки;
- аппарат точечной сварки;
- сварочный полуавтомат;
- станок с ЧПУ;
- станок сверлильный;
- ручная окрасочная установка;
- пила маятниковая торцовочная BOSCH;
- пила маятниковая торцовочная DeWALT;
- камера полимеризации;
- вентилятор вытяжной;
- вентилятор приточный.

Производственный процесс происходит следующим образом. Лист металла проходит через лазерную резку, где вырезаются заготовки. Гильотинные ножницы производят резку металла по заданным размерам и проходит через гибочный пресс. На станке с ЧПУ происходит фрезерная обработка, а на сверлильном станке создание отверстий под крепеж и электронику. В то время как обрабатываются металлические листы, на печатные платы наносится паяльная паста, на расстановщике LED

компонентов светодиоды помещаются на платы с пастой и в дальнейшем будут помещены в печь для термообработки и фиксации компонентов. Корпус светильника собирается и фиксируется с помощью лазерной сварки, электронные платы монтируются внутрь корпуса, проводка и разъёмы соединяются лазерной сваркой. Готовые корпуса окрашиваются и помещаются в камеру полимеризации для быстрого затвердевания покрытия. Светильники проверяются на стенде тестирования, и, если производственного брака не обнаружено и светильник работает как нужно, его относят на упаковочный стол. После упаковки, светильники относят на склад [19].

Защита аппаратов реализована в виде автоматических выключателей. На подстанции также предусмотрена установка трансформатора тока для подключения амперметра на 5 А, предназначенного для отслеживания значений тока в цеху.

Система заземления реализована с помощью пятижильных кабелей (3 фазы, нулевая жила и заземление) и провода, уходящего из распределительной шины к заземляющему контуру вне здания [3]. Сам заземляющий контур имеет вид 4 вертикальных электрода диаметром 16 мм по углам здания, на расстоянии 1 метр от стены. Горизонтальные полосы из стали 40×4 мм закопанные на глубине в 1 метр, соединяют электроды между собой, тем самым образуя замкнутый контур.

1.2 Молниезащита

Молниезащита цеха выполнена в виде металлического профилированного настила толщиной 0,5 мм, так как он может служить как естественный молниеприемник. Так же по углам крыши здания установлены молниеприемники в виде 4 стержней из оцинкованной стали, высотой 3 метра и диаметром 10 мм [12]. По периметру крыши и через каждые 10 метров друг от друга расположены молниеотводы. Соединение с заземлением осуществлено с помощью проводников сечением 50 мм² из оцинкованной

стали расположенные под молниеприемниками. Такое решение является типовым для потребителей III категории надежности [15].

Вывод по разделу 1. Проведен анализ компании «ЭфЛайт». В характеристике объекта озвучены недочеты имеющегося цеха и показан его план. Составлен перечень электроприемников для будущей производственной площадки и описан производственный процесс на проектируемом объекте. Как было описано в пункте, защита электроприемников осуществляется автоматическими выключателями. Система заземления реализована с помощью пятижильных кабелей, соединенных с замкнутым контуром через шину. Молниезащита производственной площадки реализована в виде металлической кровли и молниеотводов.

2 Расчет электрических нагрузок

Перед расчетами мощностей и рабочего тока, необходимо найти активную мощность приемников с учетом их продолжительности включения (ПВ) [17]. Это связано с их режимами работы. У аппарата с непрерывным режимом работы значение ПВ будет близко или равно 1, в то время как аппараты с повторно-кратковременным или кратковременным режимом имеют более низкие значения [2]. В таблицу 1 занесены исходные данные по продолжительности включения аппаратов производственной площадки.

Таблица 1 – Перечень аппаратов на проектируемой производственной площадке и их продолжительность включения

№ на схеме	Название аппарата	ПВ
1	Установка лазерной сварки	0,4
2	Стенд для тестирования светильников	0,3
3	Печь для пайки SMD компонентов	1
4	Расстановщик LED компонентов	0,6
5	Станок нанесения пасты	0,5
6	Автоматизированный комплекс лазерной резки	0,5
7	Пресс гибочный гидравлический	0,4
8	Гильотинные ножницы	0,3
9	Машина контактной сварки	0,25
10	Аппарат точечной сварки	0,2
11	Сварочный полуавтомат	0,3
12	Станок с ЧПУ	0,7
13	Станок сверлильный	0,4
14	Ручная окрасочная установка	0,2
15	Пила маятниковая торцовочная BOSCH	0,3
16	Пила маятниковая торцовочная DeWALT	0,3
17	Камера полимеризации	1
18	Вентилятор вытяжной	1
19	Вентилятор приточный	1

Расчетная максимальная мощность, потребляемая электроприемниками всегда меньше суммы номинальной мощности этих приемников [16]. Это обусловлено неполной загрузкой мощностей всех аппаратов и разновременностью их работы [9].

Приведение нагрузки используемых аппаратов к длительному режиму работы происходит с помощью формулы 1:

$$P_n = P_n \cdot \sqrt{PB}, \quad (1)$$

где PB – это продолжительность включения;

P_n – номинальная мощность аппарата;

P_n – паспортная мощность аппарата.

В данной работе вышеупомянутая формула применима к следующим аппаратам:

- установка лазерной сварки;
- стенд для тестирования светильников;
- расстановщик LED компонентов;
- станок нанесения пасты;
- автоматизированный комплекс лазерной резки;
- пресс гибочный гидравлический;
- гильотинные ножницы;
- машина контактной сварки;
- аппарат точечной сварки;
- сварочный полуавтомат;
- станок с ЧПУ;
- станок сверлильный;
- ручная окрасочная установка;
- пила маятниковая торцовочная BOSCH;
- пила маятниковая торцовочная DeWALT.

В качестве примера будет взята машина контактной сварки:

$$P_H = 35 \cdot \sqrt{0,25} = 17,5 \text{ кВт.}$$

Для всех электроприемников приведены коэффициенты мощности и коэффициенты использования (таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициенты мощности и коэффициенты использования аппаратов в цеху

Наименования электроприемников	$\cos\varphi/\text{tg}\varphi$	$K_{\text{и}}$
Установка лазерной сварки	0,75/0,88	0,6
Стенд для тестирования светильников	0,85/0,62	0,4
Печь для пайки SMD компонентов	0,95/0,33	0,8
Расстановщик LED компонентов	0,8/0,75	0,5
Станок нанесения пасты	0,75/0,88	0,5
Автоматизированный комплекс лазерной резки	0,8/0,75	0,7
Пресс гибочный гидравлический	0,75/0,88	0,6
Гильотинные ножницы	0,7/1,02	0,5
Машина контактной сварки	0,6/1,33	0,4
Аппарат точечной сварки	0,5/1,73	0,3
Сварочный полуавтомат	0,65/1,17	0,4
Станок с ЧПУ	0,8/0,75	0,7
Станок сверлильный	0,75/0,88	0,5
Ручная окрасочная установка	0,88/0,62	0,3
Пила маятниковая торцовочная BOSCH	0,75/0,88	0,4
Пила маятниковая торцовочная DeWALT	0,75/0,88	0,4
Камера полимеризации	0,95/0,33	0,9
Вентилятор вытяжной	0,85/0,62	0,8
Вентилятор приточный	0,85/0,62	0,8

Далее будет найдена суммарная активная мощность для каждого электроприемника по формуле:

$$P_{H\Sigma} = P_n \cdot n. \quad (2)$$

Так как все аппараты на данной производственной площадке в единичном экземпляре формула 2 имеет следующий вид:

$$P_{H\Sigma} = P_n. \quad (3)$$

Результаты расчетов занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов суммарной активной мощности аппаратов

Наименования электроприемников	Ном. мощн. одного ЭП, кВт	Общ. ном. мощность, кВт
Установка лазерной сварки	$25 \cdot \sqrt{0,4}$	15,8
Стенд для тестирования светильников	$10 \cdot \sqrt{0,3}$	5,5
Печь для пайки SMD компонентов	50	50
Расстановщик LED компонентов	$7 \cdot \sqrt{0,6}$	5,5
Станок нанесения пасты	$5 \cdot \sqrt{0,5}$	3,54
Автоматизированный комплекс лазерной резки	$40 \cdot \sqrt{0,5}$	28,3
Пресс гибочный гидравлический	$20 \cdot \sqrt{0,4}$	12,65
Гильотинные ножницы	$15 \cdot \sqrt{0,3}$	8,2
Машина контактной сварки	$50 \cdot \sqrt{0,25}$	25
Аппарат точечной сварки	$30 \cdot \sqrt{0,2}$	13,42
Сварочный полуавтомат	$25 \cdot \sqrt{0,3}$	13,7
Станок с ЧПУ	$15 \cdot \sqrt{0,7}$	12,55
Станок сверлильный	$6 \cdot \sqrt{0,4}$	3,8
Ручная окрасочная установка	$8 \cdot \sqrt{0,2}$	3,6

Продолжение таблицы 3

Наименования электроприемников	Ном. мощн. одного ЭП, кВт	Общ. ном. мощность, кВт
Пила маятниковая торцовочная BOSCH	$3 \cdot \sqrt{0,3}$	1,65
Пила маятниковая торцовочная DeWALT	$3 \cdot \sqrt{0,3}$	1,65
Камера полимеризации	40	40
Вентилятор вытяжной	28	28
Вентилятор приточный	50	50

Далее будет рассчитан коэффициент силовой сборки по формуле 4:

$$m = \frac{P_{н.мах}}{P_{н.мин}}, \quad (4)$$

$$m = \frac{50}{1,65} = 30,3,$$

где $P_{н.мах}$ — номинальная мощность аппарата с самой большой мощностью;

$P_{н.мин}$ — номинальная мощность аппарата с самой низкой мощностью [18].

Далее с помощью формул 5 и 6 будет рассчитана средняя активная и средняя реактивная нагрузки для каждой подгруппы электроприемников:

$$P_{ср} = P_{H\Sigma} \cdot K_{и}, \quad (5)$$

$$Q_{ср} = P_{ср} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (6)$$

В качестве примера будет взята печь для пайки SMD компонентов:

$$P_{ср} = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ кВт},$$

$$Q_{ср} = 40 \cdot 0,33 = 13,2 \text{ кВар}.$$

Значения средней активной и средней реактивных нагрузок определены аналогичным способом. Результаты вычислений занесены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты расчетов средней активной и средней реактивной нагрузок для всех электроприемников

Наименования электроприемников	Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВар
Установка лазерной сварки	9,5	8,3
Стенд для тестирования светильников	2,2	1,4
Печь для пайки SMD компонентов	40	13,2
Расстановщик LED компонентов	2,8	2,1
Станок нанесения пасты	1,8	1,6
Автоматизированный комплекс лазерной резки	19,8	14,8
Пресс гибочный гидравлический	7,6	6,7
Гильотинные ножницы	4,1	4,2
Машина контактной сварки	10	13,3
Аппарат точечной сварки	4	7
Сварочный полуавтомат	5,5	6,4
Станок с ЧПУ	8,8	6,6
Станок сверлильный	1,9	1,7
Ручная окрасочная установка	1,1	0,7
Пила маятниковая торцовочная BOSCH	0,7	0,6
Пила маятниковая торцовочная DeWALT	0,7	0,6
Камера полимеризации	36	11,9
Вентилятор вытяжной	22,4	13,9
Вентилятор приточный	40	24,8
Сумма	218,9	139,8

Далее будет произведен расчет среднего коэффициента использования и среднего tgφ с помощью формул 7 и 8:

$$K_{и.ср} = \frac{\sum P_{ср\Sigma}}{\sum P_{н\Sigma}}, \quad (7)$$

$$K_{и.ср} = \frac{218,9}{322,86} = 0,68,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{ср} = \frac{\sum Q_{ср\Sigma}}{\sum P_{ср\Sigma}}, \quad (8)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{ср} = \frac{139,8}{218,9} = 0,64.$$

Расчетные значения взяты из таблицы 4.

Найдем эффективное число электроприемников по формуле 9:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot \sum P_{\text{н}}}{P_{\text{н.макс}}}, \quad (9)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 322,86}{50} = 12,9 \approx 13 \text{ шт.}$$

В соответствии с практикой проектирования коэффициент максимума:

$$K_{\text{м}} = 1, \text{ так как } n_{\text{э}} > 10.$$

В соответствии со справочными данными расчетный коэффициент:

$$K_{\text{р}} = 1,4.$$

Такое значение расчетного коэффициента обоснованно наличием импульсных нагрузок, такие как сварка и прессы [16].

Далее будут рассчитаны расчетные активные и реактивные нагрузки электроприемников по формулам 10 и 11:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \cdot P_{\text{ср}}, \quad (10)$$

$$P_{\text{р}} = 1,4 \cdot 218,9 = 306,46 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р}} = K_{\text{м}} \cdot Q_{\text{ср}}, \quad (11)$$

$$Q_{\text{р}} = 1 \cdot 139,8 = 139,8 \text{ кВар}.$$

Найдем расчетную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (12)$$
$$S_p = \sqrt{306,46^2 + 139,8^2} = 336,84 \text{ кВА.}$$

Определяем расчетный ток для электроприемников узла нагрузки:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (13)$$
$$I_p = \frac{336,84}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 486,2 \text{ А.}$$

Вывод по разделу 2. Были найдены активная, реактивная, полная мощности и рабочий ток проектируемой производственной площадки с учетом продолжительности включения электроприемников (ПВ). Это объясняется тем, что большая часть электроприемников работают в повторно-кратковременном режиме, для которых характерны циклы «работа-пауза». Когда данный коэффициент игнорируется и в расчетах используют номинальные значения, это приводит к завышению расчетных нагрузок и, как следствие, к неоправданному увеличению сечений жил кабелей и мощности трансформаторов. Применение данного решения технически обоснованно, экономически целесообразно и соответствует нормам таких документов как ПУЭ [14].

3 Расчет электрического освещения

Для обеспечения комфортных и безопасных условий работы в различных зонах цеха, было разработано отдельное решение по освещению. Для производственных зон было принято решение использовать промышленные светодиодные светильники, с учетом их высокой эффективности и долговечности. Для складских помещений используются светодиодные светильники, обеспечивающие необходимую освещенность для хранения и перемещения материалов. Расчет освещения проводился в программе DiaLux, что позволило добиться равномерного освещения всех рабочих поверхностей. Так как было задействовано вышеуказанное программное обеспечение, наличие расчетов не указано в связи с тем, что DiaLux сопоставляет характеристики светильников и габариты производственной площадки. Так же с помощью данной программы расстановка светильников на плане цеха произведена автоматически.

Были выбраны следующие коэффициенты отражения потолка, стен и пола: потолок – 70%; стены – 50%; пол – 20%.

Для освещения металлообрабатывающей и сборочной площадок были выбраны светодиодные светильники марки Industry modul m6 имеющие следующие характеристики:

- Световой поток – 26600 лм;
- Мощность – 160 Вт;
- Цветовая температура – 2700 К;
- $\cos\varphi$ – 0,98;
- $\operatorname{tg}\varphi$ – 0,2;
- Линза – 120°.

Рассчитаем активные и реактивные нагрузки освещения производственных площадок с помощью формул 14 и 15:

$$P_{\text{осв}} = n \cdot P_{\text{л}}, \quad (14)$$

$$P_{\text{осв}} = 32 \cdot 160 = 5120 \text{ Вт} = 5,12 \text{ кВт},$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы;

n – количество светильников.

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (15)$$

$$Q_{\text{осв}} = 5,12 \cdot 0,2 = 1,03 \text{ кВар}.$$

Определяем расчетную нагрузку производственных площадок по формуле 16:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (16)$$

$$S_p = \sqrt{5,12^2 + 1,03^2} = 5,22 \text{ кВА}.$$

Для освещения складского помещения были выбраны светодиодные светильники марки Industry L1 120×50 имеющие следующие характеристики:

- Световой поток – 13400 лм;
- Мощность – 120 Вт;
- Цветовая температура – 4000/5000 К;
- $\cos \varphi$ – 0,96;
- $\operatorname{tg} \varphi$ – 0,29;
- Линза – 120°.

Рассчитаем активную нагрузку складского освещения:

$$P_{\text{осв}} = 2 \cdot 120 = 240 \text{ Вт} = 0,24 \text{ кВт}.$$

Далее рассчитаем реактивную нагрузку складского освещения:

$$Q_{\text{осв}} = 0,24 \cdot 0,29 = 0,07 \text{ кВар}.$$

Определяем расчетную нагрузку складского помещения:

$$S_p = \sqrt{0,24^2 + 0,07^2} = 0,25 \text{ кВА.}$$

Для освещения трансформаторной подстанции, вентиляционной и бытового помещения были выбраны светодиодные светильники марки Industry modul m6 имеющие следующие характеристики:

- Световой поток – 26600 лм;
- Мощность – 160 Вт;
- Цветовая температура – 2700 К;
- $\cos\varphi$ – 0,98;
- $\tg\varphi$ – 0,2;
- Линза – 120°.

Рассчитаем активную нагрузку освещения подстанции, вентиляционной и бытовки:

$$P_{\text{осв}} = 3 \cdot 160 = 480 \text{ Вт} = 0,48 \text{ кВт.}$$

Далее рассчитаем реактивную нагрузку освещения выше названных помещений:

$$Q_{\text{осв}} = 0,48 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ кВар.}$$

Определяем расчетную нагрузку складского помещения выше названных помещений:

$$S_p = \sqrt{0,48^2 + 0,1^2} = 0,49 \text{ кВА.}$$

Найдем расчетный ток для освещения цеха по формуле 17:

$$I_p = \frac{\Sigma S_p}{\sqrt{3} \cdot 0,38}, \quad (17)$$

$$I_p = \frac{5,22+0,25+0,49}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 9,1 \text{ A.}$$

Произведем расчет суммарной нагрузки по цеху с учетом освещения.

Расчет суммарной активной и реактивной мощности по формулам 18 и 19:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{осв}} + P_p, \quad (18)$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{осв}} + Q_p, \quad (19)$$

$$P_{\Sigma} = (5,12 + 0,24 + 0,48) + 306,46 = 312,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma} = (1,03 + 0,07 + 0,1) + 139,8 = 141 \text{ кВар}.$$

Определяем полную суммарную мощность по формуле 20:

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{q\Sigma}^2}, \quad (20)$$

$$S_{p\Sigma} = \sqrt{312,3^2 + 141^2} = 342,66 \text{ кВА}.$$

Определим суммарный расчетный ток по формуле 21:

$$I_p = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (21)$$

$$I_p = \frac{342,66}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 549,54 \text{ A}.$$

Используя результаты расчетов, приведенные в предыдущих пунктах, составлена сводная ведомость нагрузок по цеху (таблица 5).

Таблица 5 – Сводная ведомость нагрузок по цеху

Наименование ЭП	п	Ном. мощн., кВт		Ки	cosφ/tgφ	Средн. нагр.		пэ, шт.	Кр	Расчетная нагрузка			Ip, А
		Одного ЭП	Всех ЭП			Рср, кВт	Qср, кВар			Рр, кВт	Qр, кВар	Sp, кВА	
Установка лазерной сварки	1	15,8	15,8	0,6	0,75/0,88	9,5	8,3	-	-	-	-	-	-
Стенд тестирования светильников	1	5,5	5,5	0,4	0,85/0,62	2,2	1,4	-	-	-	-	-	-
Печь для пайки SMD компонентов	1	50	50	0,8	0,95/0,33	40	13,2	-	-	-	-	-	-
Расстановщик LED компонентов	1	5,5	5,5	0,5	0,8/0,75	2,8	2,1	-	-	-	-	-	-
Станок нанесения пасты	1	3,54	3,54	0,5	0,75/0,88	1,8	1,6	-	-	-	-	-	-
Автоматизированный комплекс лазерной резки	1	28,3	28,3	0,7	0,8/0,75	19,8	14,8	-	-	-	-	-	-
Пресс гибочный гидравлический	1	12,65	12,65	0,6	0,75/0,88	7,6	6,7	-	-	-	-	-	-
Гильотинные ножницы	1	8,2	8,2	0,5	0,7/1,02	4,1	4,2	-	-	-	-	-	-
Машина контактной сварки	1	25	25	0,4	0,6/1,33	10	13,3	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 5

Наименование ЭП	п	Ном. мощн., кВт		Ки	cosφ/tgφ	Средн. Нагр.		пэ, шт.	Кр	Расчетная нагрузка			I _p , А
		Одного ЭП	Всех ЭП			Р _{ср} , кВт	Q _{ср} , кВар			Р _р , кВт	Q _р , кВар	S _р , кВА	
Аппарат точечной сварки	1	13,42	13,42	0,3	0,5/1,73	4	7	-	-	-	-	-	-
Сварочный полуавтомат	1	13,7	13,7	0,4	0,65/1,17	5,5	6,4	-	-	-	-	-	-
Станок с ЧПУ	1	12,55	12,55	0,7	0,8/0,75	8,8	6,6	-	-	-	-	-	-
Станок сверлильный	1	3,8	3,8	0,5	0,75/0,88	1,9	1,7	-	-	-	-	-	-
Ручная окрасочная установка	1	3,6	3,6	0,3	0,88/0,62	1,1	0,7	-	-	-	-	-	-
Пила маятниковая BOSCH	1	1,65	1,65	0,4	0,75/0,88	0,7	0,6	-	-	-	-	-	-
Пила маятниковая DeWALT	1	1,65	1,65	0,4	0,75/0,88	0,7	0,6	-	-	-	-	-	-
Камера полимеризации	1	40	40	0,9	0,95/0,33	36	11,9	-	-	-	-	-	-
Вентилятор вытяжной	1	28	28	0,8	0,85/0,62	22,4	13,9	-	-	-	-	-	-
Вентилятор приточный	1	50	50	0,8	0,85/0,62	40	24,8	-	-	-	-	-	-
Сумма	19	322,89	322,89	-	-	218,9	139,8	13	1,4	306,46	139,8	336,84	486,2
Освещение	37	0,12/0,16	5,84	-	0,97/0,25	-	-	-	-	5,84	1,2	5,96	9,06
Итого	-	-	328,73	-	-	-	-	-	-	312,3	141	342,66	549,54

Вывод по разделу 3. В разделе рассчитано освещение всего здания, с учетом специализации помещений с использованием программного обеспечения DiaLux. Для освещения были использованы светодиодные светильники, произведенные компанией ЭфЛайт, то есть собственного производства.

Для трансформаторной подстанции, вентиляционного помещения, металлообрабатывающей и сборочной площадок взяты светильники марки Industry modul m6 предназначенные для промышленных помещений, то есть цехов в целом. Для склада взяты светильники марки Industry L1 120×50 предназначенные для складских помещений.

Часть выбранных светильников будут использоваться для аварийного освещения. В пункте 6 выпускной квалификационной работы будут выбраны аппараты для его реализации, а если быть точным – инвертор, аккумуляторная батарея, блок аварийного питания и зарядно-пусковое устройство для того, чтобы в случае аварийной ситуации цех не остался без освещения. Так же стоит упомянуть, что аппараты были выбраны с расчетом на то, что батарея заряжалась, вовремя функционирования цеха и пусковое устройство срабатывает, когда основное освещение отключается.

4 Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

Количество трансформаторов на подстанции зависит от категории надежности электроснабжения. Так как в цехе установлены электроприемники III категории, будет взята однотрансформаторная подстанция.

Предварительный выбор трансформатора производится по суммарной расчетной активной мощности цеха:

$$P_{\Sigma} = 312,3 \text{ кВт.}$$

В случае одного трансформатора примем

$$K_3 = 0,95.$$

Так как полная мощность 549,54 кВА, целесообразная мощность одного трансформатора будет 1000 кВА (S_H). Будет выбран один трансформатор с большим запасом и возможностью введения дополнительной нагрузки.

Выберем трансформатор марки ТМ – 1000/6/0,4 [13].

$$P_{xx} = 1,15 \text{ кВт; } P_{кз} = 10,8 \text{ кВт; } U_k = 5,5\%; I_{xx} = 1,2\%.$$

Необходимо подсчитать потери трансформатора по формулам 22 и 23

$$\Delta P_T = N_T \cdot (P_{xx} \cdot K_3^2 \cdot P_{кз}), \text{ кВт,} \quad (22)$$

$$\Delta Q_T = N_T \cdot (i_{xx} + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_H}{100}, \text{ кВар,} \quad (23)$$

$$\Delta P_T = 1 \cdot (1,15 \cdot 0,95^2 \cdot 10,8) = 11,21 \text{ кВт,}$$

$$\Delta Q_T = 1 \cdot \left(\frac{1,2}{100} + 0,95^2 \cdot \frac{5,5}{100} \right) \cdot \frac{1000}{100} = 0,62 \text{ кВар.}$$

где N_T – количество трансформаторов;

ΔP_{xx} – потери активной мощности одного трансформатора, кВт;

ΔQ_T – потери реактивной мощности одного трансформатора, кВар.

Суммарная нагрузка с учетом потерь трансформатора по формулам 24 и 25

$$P_p = \Delta P_T + P_\Sigma, \text{ кВт}, \quad (24)$$

$$Q_p = Q_T + Q_\Sigma, \text{ кВар}, \quad (25)$$

$$P_p = 312,3 + 11,21 = 323,51 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 141 + 0,62 = 141,62 \text{ кВар}.$$

Определяем значение реактивной мощности в часы минимума нагрузки. В расчете принимаем минимальное значение $Q_{\text{мин}}$ как 50% от $Q_{\text{расч}}$ по формуле 26:

$$Q_{\text{мин}} = \frac{Q_{\text{расч}}}{2}, \text{ кВар}, \quad (26)$$

$$Q_{\text{мин}} = \frac{141}{2} = 70,5 \text{ кВар}.$$

Рассчитывается экономически обоснованное значение реактивной мощности в часы максимума энергосистемы по формуле 27:

$$\alpha = 0,28,$$

$$Q_{\text{э1}} = P_p \cdot \alpha, \text{ кВар}, \quad (27)$$

$$Q_{\text{э1}} = 323,51 \cdot 0,28 = 90,58 \text{ кВар}.$$

Далее определим экономически обоснованное значение реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q_{\text{э2}} = Q_{\text{мин}} = 70,5 \text{ кВар}.$$

Рассчитаем суммарную мощность компенсирующих устройств по формулам 28 и 29:

$$Q_{\text{ку.макс}} = 1,1 \cdot Q_p - Q_{\text{э1}}, \text{ кВар}, \quad (28)$$

$$Q_{\text{ку.мин}} = Q_{\text{мин}} - Q_{\text{э2}}, \text{ кВар}, \quad (29)$$

$$Q_{\text{ку.макс}} = 1,1 \cdot 141,62 - 90,58 = 65,2 \text{ кВар},$$

$$Q_{\text{ку.мин}} = 70,5 - 70,5 = 0 \text{ кВар}.$$

Следовательно, компенсирующие устройства (КУ) должны быть регулируемые.

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 6 кВ в сеть 0,4 кВ и компенсироваться не должна определяется по формуле 30:

$$Q_{\text{эн}} = Q_{\text{э1}} - (Q_p - Q_{\Sigma}), \text{ кВар}, \quad (30)$$

$$Q_{\text{эн}} = 90,58 - (141,62 - 141) = 89,96 \text{ кВар}.$$

Реактивная мощность, которая может быть передана из сети 6 кВ в сеть 0,4 кВ и будет компенсироваться определяется по формуле 31:

$$Q_T = \sqrt{(K_3 \cdot N_T \cdot S_H)^2 - P_{\Sigma}^2}, \text{ кВар} \quad (31)$$

$$Q_T = \sqrt{(1 \cdot 0,95 \cdot 1000)^2 - 323,51^2} = 893,22 \text{ кВар}.$$

Мощность компенсирующих устройств устанавливаемые на стороне 0,4 кВ по формуле 32:

$$Q_{\text{ку.н}} = Q_p - Q_T, \text{ кВар}, \quad (32)$$

$$Q_{\text{ку.н}} = 141,62 - 893,22 = -751,6 \text{ кВар}.$$

Так как мощность компенсирующих устройств отрицательная, то их установка не целесообразна.

Мощность компенсирующих устройств на стороне 6 кВ по формуле 33:

$$Q_{\text{ку.в}} = Q_{\text{ку.макс}} - Q_{\text{ку.н}}, \text{ кВар}, \quad (33)$$
$$Q_{\text{ку.в}} = 65,2 - (-751,6) = 816,8 \text{ кВар}.$$

Так как результат получился больше 800 кВар, установка компенсирующих устройств целесообразна.

Будет взято компенсирующее устройство АУКРМ – 0,4-900-25 УЗ с автоматическим регулированием с помощью микропроцессорного контроллера.

Вывод по разделу 4. В данном разделе выбраны трансформатор марки ТМ – 1000/6/0,4 и компенсирующее устройство АУКРМ – 0,4-900-25 УЗ. Трансформатор принят в единичном экземпляре в связи с тем, что данный цех является потребителем III категории надежности [20].

5 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения

По характеру распределения нагрузки по площади цеха выбирается магистральная схема [10]. Схема внутрицехового электроснабжения отображена на рисунке 2.

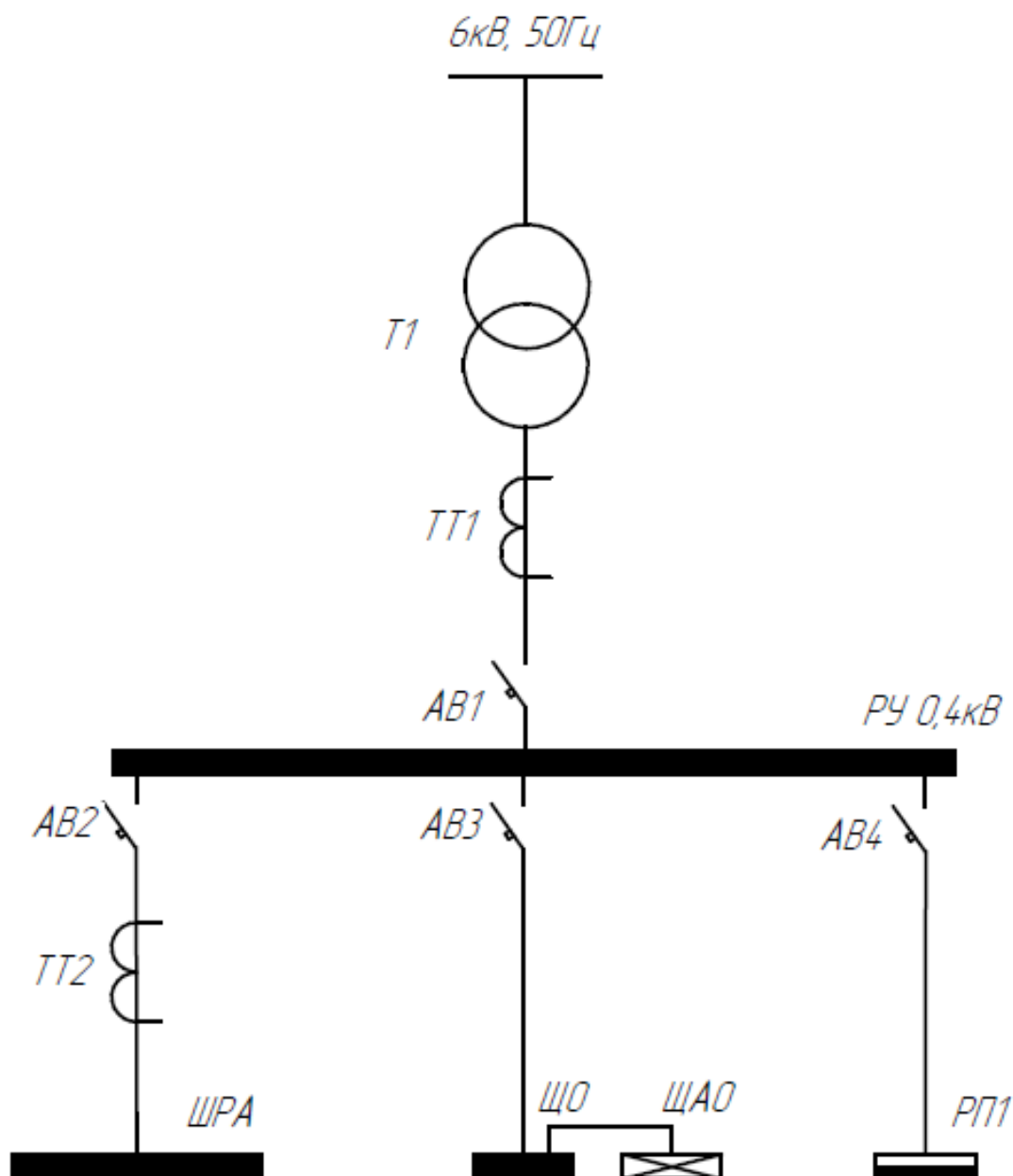


Рисунок 2 – Магистральная схема электроснабжения производственной площадки

Обоснование выбора схемы [7]:

- у современных магистральных шинопроводов надежность достаточно высокая, и не уступает радиальному аналогу;
- в отличие от радиальных схем, магистральные схемы более гибкие – модернизация цеха не требует полного демонтажа сети;
- стоимость магистральных сетей ниже стоимости радиальных.

Результат распределения нагрузки по секциям сведен в таблицу 6.

Таблица 6 – Распределение нагрузки

Секции	Номер ЭП	Суммарная нагрузка, кВт	Расчетный ток, А
ЩО	-	5,84	9,06
РП1	18, 19	78	126,3
ШРА	1 - 17	244,89	257,5

Вывод по разделу 5. В разделе выбрана схема магистральная схема электроснабжения. Выбор обоснован надежностью, удобством в модернизации и финансовой целесообразностью.

6 Выбор электрооборудования и проводников

После распределение нагрузки по шинопроводам и электрощитам, необходимо подобрать проводники и выполнить расчет мощности для групп электроприемников [6].

Сечения кабелей и проводов рассчитанное на напряжение 1 кВ выбирается по длительно допустимому току. Для одного электроприемника применима формула 34:

$$I_p = I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi}, \text{ А.} \quad (34)$$

Расчет будет показан на примере ШРА. На основе результата будут выбраны сечение кабеля и автоматический выключатель. По результату вычисления (формула 34) будет взят ближайший больший результат, что будет соответствовать номинальному значению. По номинальному значению будут выбраны автоматические выключатели, сечения кабелей, и др.

Значение расчетного тока для ШРА (таблица 6):

$$I_p = 257,5 \text{ А} \approx 315 \text{ А.}$$

Будут взяты шинопровод марки ШРА1 – 400 на ток равный 400 А, трансформатор тока марки ТТИ-40 400/5, амперметр марки Legrand 5 А, автоматический выключатель марки АВ3004-3Н (35 кА) и кабель марки ВВГ 5×185.

Значение расчетного тока для ЩО (таблица 6):

$$I_p = 9,06 \text{ А} \approx 10 \text{ А.}$$

Будут взяты автоматический выключатель марки АВ3001-3Н (15 кА) и кабель марки ВВГ 3×2,5.

Значение расчетного тока для ЩАО:

$$I_p = 5,45 \text{ A} \approx 10 \text{ A}.$$

Будут взяты инвертор марки МАП «Энергия» 24/220, аккумуляторная батарея марки Delta DTM 12200, блок аварийного питания ИРБ-1200, зарядно-пусковое устройство марки Вымпел-30, автоматический выключатель АВ3001-3Н (15 кА) и кабель марки ВВГнг(А)-LS 3×2,5.

Расчет номинального тока для установки лазерной сварки:

$$I_H = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,75} = 50,65 \text{ A} \approx 60 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА) и кабель марки ВВГ 5×10.

Расчет для последующих аппаратов будет проводиться аналогичным способом.

Значение номинального тока для стенда тестирования светильников:

$$I_H = 17,87 \text{ A} \approx 20 \text{ A}.$$

Будет выбран автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА) и кабель марки ВВГ 5×2,5.

Значение номинального тока для печи для пайки SMD компонентов:

$$I_H = 89,37 \text{ A} \approx 100 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3002-3Н (25 кА)
и кабель марки ВВГ 5×35.

Значение номинального тока для расстановщика LED компонентов:

$$I_n = 9,5 \text{ A} \approx 10 \text{ A}.$$

Будет выбран автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×2,5.

Значение номинального тока для станка нанесения пасты:

$$I_n = 10,13 \text{ A} \approx 16 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×2,5.

Значение номинального тока для автоматизированного комплекса
лазерной резки:

$$I_n = 75,97 \text{ A} \approx 80 \text{ A}.$$

Будет выбран автоматический выключатель марки АВ 3002-3Н (25 кА)
и кабель марки ВВГ 5×25.

Значение номинального тока для гидравлического гибочного прессы:

$$I_n = 40,5 \text{ A} \approx 50 \text{ A}.$$

Будет выбран автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×10.

Значение номинального тока для гильотинных ножниц:

$$I_n = 32,56 \text{ A} \approx 40 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3001-ЗН (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×6.

Значение номинального тока для машины контактной сварки:

$$I_{\text{н}} = 126,6 \text{ A} \approx 130 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3003-ЗН (25кА)
и кабель марки ВВГ 5×35.

Значение номинального тока для аппарата точечной сварки:

$$I_{\text{н}} = 91,2 \text{ A} \approx 105 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3002-ЗН (25 кА)
и кабель марки ВВГ 5×25.

Значение номинального тока для сварочного полуавтомата:

$$I_{\text{н}} = 58,4 \text{ A} \approx 63 \text{ A}.$$

Будет выбран автоматический выключатель марки АВ 3001-ЗН (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×25.

Значение номинального тока для станка с ЧПУ:

$$I_{\text{н}} = 28,49 \text{ A} \approx 32 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3001-ЗН (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×6.

Значение номинального тока для сверлильного станка:

$$I_{\text{н}} = 12,15 \text{ A} \approx 16 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×2,5.

Значение номинального тока для ручной окрасочной установки:

$$I_n = 13,8 \text{ A} \approx 16 \text{ A}.$$

Будет выбран автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×2,5.

Значение номинального тока для маятниковой пилы BOSCH:

$$I_n = 6 \text{ A} \approx 10 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×2,5.

Значение номинального тока для маятниковой пилы DeWALT:

$$I_n = 6,1 \text{ A} \approx 10 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА)
и кабель марки ВВГ 5×2,5.

Значение номинального тока для камеры полимеризации:

$$I_n = 63,97 \text{ A} \approx 75 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3002-3Н (25 кА)
и кабель марки ВВГ 5×16.

Значение расчетного тока для РП1 (таблица 6):

$$I_p = 126,3 \text{ A} \approx 130 \text{ A}.$$

Будут взяты автоматический выключатель марки АВ 3003-3Н (25 кА) и кабель марки ВВГ 5×35.

Значение номинального тока для вытяжного вентилятора:

$$I_n = 53,2 \text{ A} \approx 60 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3001-3Н (15 кА) и кабель марки ВВГ 5×10.

Значение номинального тока для приточного вентилятора:

$$I_n = 94,9 \text{ A} \approx 105 \text{ A}.$$

Будут выбраны автоматический выключатель марки АВ 3002-3Н (25 кА) и кабель марки ВВГ 5×25.

Так же будут выбраны защитные устройства в цепи силового трансформатора (таблица 5):

$$I_n = 549,54 \text{ A} \approx 630 \text{ A}.$$

Будут выбраны трансформатор тока ТТИ-40 600/5, амперметр Legrand 400/5 А, автоматический выключатель марки АВ 3005-3Н (50 кА) и кабель марки ВВГ 5×300.

Вывод по разделу 6. Для всех электропотребителей выбраны автоматические выключатели и кабели. В случае с шинопроводом ШРА и распределительным устройством предусмотрены трансформаторы тока и амперметр. Для аварийного освещения выбраны инвертор, аккумуляторная батарея, блок аварийного питания и зарядно-пусковое устройство.

7 Расчет токов короткого замыкания

Нужно рассчитать 3-фазный ток КЗ для проверки автоматических выключателей. Проверять будем на самом мощном электроприемнике [11]. Это будет электроприемник №3, он же печь для пайки SMD компонентов.

Изобразим расчетную схему от трансформатора до электроприемника (рисунок 3).

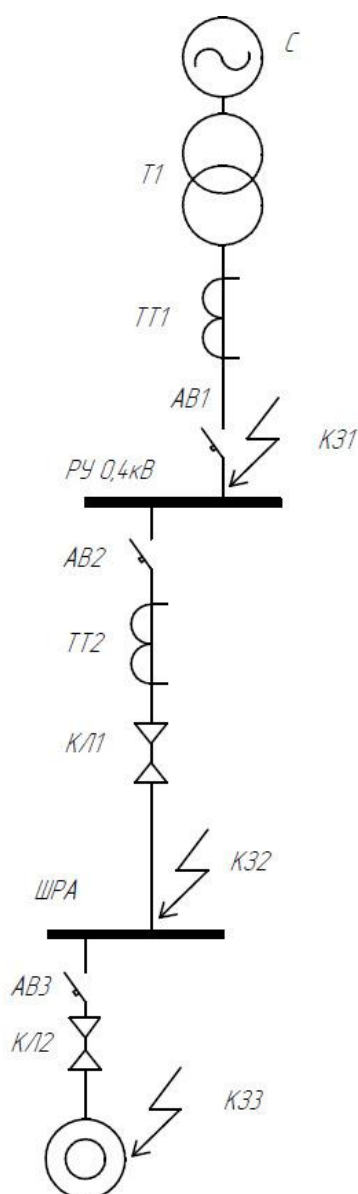


Рисунок 3 – Расчетная схема

Параметры системы рассчитаны по формуле 35:

$$\begin{aligned}
 S_K &= 100 \text{ МВА}, \\
 x_C &= \frac{U_6^2}{S_K} \cdot 10^3, \text{ МОм}, \\
 x_C &= \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ МОм}.
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

Параметры трансформатора ТМ-1000/6/0,4 по формулам 36 и 37:

$$\begin{aligned}
 S_{\text{Т.НОМ}} &= 1000 \text{ кВА}, \\
 \Delta P_{\text{КЗ}} &= 10,8 \text{ кВт}, \\
 U_{\text{КЗ}} &= 5,5 \%, \\
 r_T &= \frac{P_{\text{КЗ.НОМ}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{Т.НОМ}}^2} \cdot 10^6, \text{ МОм}, \\
 r_T &= \frac{10,8 \cdot 0,4^2}{1000^2} \cdot 10^6 = 1,73 \text{ МОм},
 \end{aligned}
 \tag{36}$$

$$\begin{aligned}
 x_T &= \sqrt{\left(U_{\text{КЗ}}^2 - \left(\frac{100 \cdot P_{\text{КЗ.НОМ}}}{S_{\text{Т.НОМ}}} \right)^2 \right)} \cdot \frac{U_{\text{Т.НОМ}}^2}{S_{\text{Т.НОМ}}} \cdot 10^4, \text{ МОм}, \\
 x_T &= \sqrt{\left(5,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,8}{1000} \right)^2 \right)} \cdot \frac{0,4^2}{1000} \cdot 10^4 = 8,63 \text{ МОм}.
 \end{aligned}
 \tag{37}$$

Сопротивления трансформатора тока 600/5:

$$\begin{aligned}
 r_{\text{ТТ1}} &= 0,2 \text{ МОм}, \\
 x_{\text{ТТ1}} &= 0,3 \text{ МОм}.
 \end{aligned}$$

Сопротивления трансформатора тока 400/5:

$$\begin{aligned}
 r_{\text{ТТ2}} &= 0,2 \text{ МОм}, \\
 x_{\text{ТТ2}} &= 0,3 \text{ МОм}.
 \end{aligned}$$

Сопровитвления автоматических выключателей:

$$r_{A1} = 0,65 \text{ мОм},$$

$$x_{A1} = 0,17 \text{ мОм},$$

$$r_{A2} = 0,65 \text{ мОм},$$

$$x_{A2} = 0,17 \text{ мОм},$$

$$r_{A3} = 3,5 \text{ мОм},$$

$$x_{A3} = 2 \text{ мОм}.$$

Сопровитвления кабельной линии 1 по формулам 38 и 39:

$$r_0 = 0,1 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$x_0 = 0,078 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$l = 11,7 \text{ м},$$

$$r = r_0 \cdot l, \text{ мОм}, \quad (38)$$

$$r_{K1} = 0,1 \cdot 11,7 = 1,17 \text{ мОм},$$

$$x = x_0 \cdot l, \text{ мОм}, \quad (39)$$

$$x_{K1} = 0,078 \cdot 11,7 = 0,91 \text{ мОм}.$$

Параметры шинпровода по формулам 38 и 39:

$$r_0 = 0,13 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$x_0 = 0,1 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$l = 22,7 \text{ м},$$

$$r_{ш} = 0,13 \cdot 22,74 = 2,95 \text{ мОм},$$

$$x_{ш} = 0,1 \cdot 22,7 = 2,27 \text{ мОм}.$$

Сопровитвления кабельной линии 2 по формулам 38 и 39:

$$r_0 = 0,21 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$x_0 = 0,069 \frac{\text{Ом}}{\text{км}},$$

$$l = 10,6 \text{ м},$$

$$r_{K2} = 0,21 \cdot 10,6 = 2,23 \text{ мОм},$$

$$x_{K2} = 0,069 \cdot 10,6 = 0,73 \text{ мОм}.$$

Далее составлена схема замещения от трансформатора до аппарата (рисунок 4).

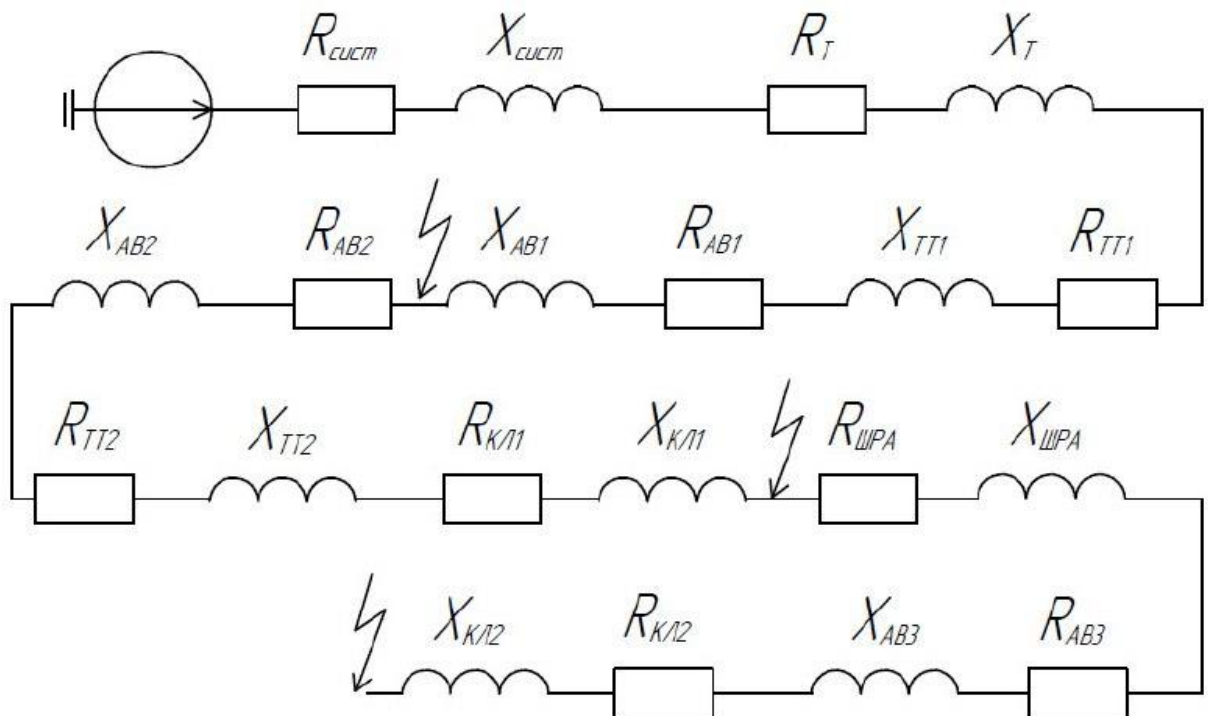


Рисунок 4 – Схема замещения

Суммарное сопротивление для каждой точки КЗ:

$$r_1 = r_T + r_{TT1} + r_{A1} = 1,73 + 0,2 + 0,65 = 2,58 \text{ мОм},$$

$$x_1 = x_C + x_T + x_{TT1} + x_{A1} = 1,6 + 8,63 + 0,3 + 0,17 = 10,7 \text{ мОм},$$

$$z_1 = \sqrt{r_1^2 + x_1^2} = \sqrt{2,58^2 + 10,7^2} = 11,01 \text{ мОм},$$

$$\begin{aligned}
r_2 &= r_1 + r_{A2} + r_{TT2} + r_{K1} = 2,58 + 0,65 + 0,2 + 1,17 = 4,6 \text{ мОм}, \\
x_2 &= x_1 + x_{A2} + x_{TT2} + x_{K1} = 10,7 + 0,17 + 0,3 + 0,91 = 12,08 \text{ мОм}, \\
z_2 &= \sqrt{r_2^2 + x_2^2} = \sqrt{4,6^2 + 12,08^2} = 12,93 \text{ мОм}, \\
r_3 &= r_2 + r_{A3} + r_{III} + r_{K2} = 4,6 + 3,5 + 2,95 + 2,23 = 13,28 \text{ мОм}, \\
x_3 &= x_2 + x_{A3} + x_{III} + x_{K2} = 12,08 + 2 + 2,27 + 0,73 = 17,08 \text{ мОм}, \\
z_3 &= \sqrt{r_3^2 + x_3^2} = \sqrt{13,28^2 + 17,08^2} = 21,63 \text{ мОм}.
\end{aligned}$$

Найдем ток 3-фазного КЗ и сравним с током срабатывания автоматического выключателя по формуле 40 [8]:

$$\begin{aligned}
I_K &= \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_n}, \text{ кА}, \tag{40} \\
I_{K1} &= \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_1} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 11,01} = 20,9 \text{ кА}, \\
50 \text{ кА} &\geq 20,9 \text{ кА}, \\
I_{K2} &= \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_2} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 12,93} = 17,8 \text{ кА}, \\
35 \text{ кА} &\geq 17,8 \text{ кА}, \\
I_{K3} &= \frac{U_6}{\sqrt{3} \cdot Z_3} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 21,63} = 10,7 \text{ кА}, \\
25 \text{ кА} &\geq 10,7 \text{ кА}.
\end{aligned}$$

Вывод по разделу 7. Так как токи КЗ меньше, чем максимальный ток отключения, то выбранные автоматические выключатели выдержат этот ток и разомкнут цепь.

Заключение

Задача выпускной квалификационной работы заключалась в расчете системы электроснабжения производственной площадки по выпуску осветительного оборудования компании ЭфЛайт. Итоговая расчетная нагрузка цеха, с учетом системы освещения, составила 342,66 кВА.

Технико-экономический анализ показал, что оптимальным решением является использование подстанции с одним трансформатором марки ТМ-1000/6/0,4.

Молниезащита производственной площадки реализована в виде металлического настила молниеприемников и молниеотводов соединенных с заземлением. Система заземления реализована с помощью пятижильных кабелей и провода уходящего из распределительной шины к заземляющему контуру вне здания. Сам заземляющий контур имеет четыре вертикальных электрода заглубленные в землю по углам здания. Горизонтальные полосы из стали закопанные на глубине в 1 метр, соединяют электроды между собой, тем самым образуя замкнутый контур.

Для обеспечения защиты оборудования производственной площадки были рассчитаны и выбраны автоматические выключатели. Выбранное оборудование прошло проверку на токи коротких замыканий различных типов при напряжении 0,4 кВ.

Выбраны марки трансформаторов тока, кабелей и шинопровода в соответствии с расчетными токами. Также выбраны аппараты для реализации аварийного освещения.

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что данный цех предусматривает введение дополнительных электроприемников.

Таким образом, расчет системы электроснабжения производственной площадки по производству светильников был выполнен грамотно, и поставленные цели и задачи выпускной квалификационной работы были полностью достигнуты.

Список используемых источников

1. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Проектирование систем электроснабжения: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти: ТГУ, 2016. 78 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976> (дата обращения: 29.03.2025).
2. Вахнина В. В., Черненко А. Н. Системы электроснабжения: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: ТГУ, 2015. 46 с. [Электронный ресурс]: URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943> (дата обращения: 15.04.2025).
3. Воробьев В.А., Технология электромонтажных работ: учебное пособие для вузов. М.: Издательство Юрайт, 2024. 123 с.
4. ООО "ЭфЛайт". Каталог продукции. [Электронный ресурс]: URL: <https://ef-light.com/catalog> (дата обращения: 20.04.2025).
5. ООО «ЭфЛайт». [Электронный ресурс]: URL: <https://ef-light.com> (дата обращения: 20.04.2025).
6. Киреева Э. А., Цырук С. А. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное издание. М.: Академия, 2020. 320 с.
7. Конюхова Е. А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2013. 320 с.
8. Крючков И. П., Старшинов В. А., Гусев Ю. П. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учебное пособие. М.: МЭИ, 2012. 568 с.
9. Лебедев В. А., Пискунов В. М. Основы энергетики: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2023. 140 с.
10. Малафеев С. И. Надежность электроснабжения: учебное пособие для вузов. СПб.: Лань, 2023. 368 с.
11. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» [Электронный ресурс]: URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817179.htm> (дата обращения: 16.04.2025).

12. ООО «Амнис». [Электронный ресурс]: <https://www.amnis.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).
13. ООО «Тольяттинский трансформатор». [Электронный ресурс]: <https://ttransformator.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).
14. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.
15. ООО «Центр молниезащиты». [Электронный ресурс]: URL: <https://c-mz.ru/> (дата обращения: 20.04.2025).
16. Glover J. D., Sarma M. S., Overbye T. J., Birchfield A. S. Power System Analysis and Design. CL Engineering, 2022. 881 pp.
17. Electrical Engineering Portal. [Электронный ресурс]: URL: <https://electrical-engineering-portal.com> (дата обращения: 20.04.2025).
18. El-Hawary M. E. Electrical Power Systems: Design and Analysis. BR: Wiley IEEE Press, 2024. 808 pp.
19. IEEE Industrial Applications Society. [Электронный ресурс]: URL: <https://ias.ieee.org> (дата обращения: 20.04.2025).
20. Khan Shoaib, Khan Sheeba, Ghariani A. Industrial Power Systems. CRC Press, 2008. 484 pp.