

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 Реконструкция системы электроснабжения здания НТП «Поиск»

Обучающийся

А. А. Карасев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, доцент М. Н. Третьякова

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

Консультант

к.п.н., доцент, доцент А. В. Егорова

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В данной бакалаврской работе проведена разработка проекта реконструкции системы электроснабжения производственной базы научно-технического предприятия (НТП) «Поиск».

Ключевым вопросом бакалаврской работы является разработка системы электроснабжения, с оптимизированными параметрами и требуемой надежностью.

Целью бакалаврской работы является разработка проекта системы электроснабжения предприятия по разработке и мелкосерийному выпуску сельскохозяйственной техники. Для этого «необходимо проанализировать электроприемники исследуемого предприятия, выполнить расчет электрических нагрузок, рассчитать и выбрать силовые трансформаторы, электрооборудование высокого и низкого уровней напряжения, оценить необходимость проведения мероприятий по компенсации реактивной мощности, определить основные параметры главной понижающей подстанции, определиться со схемой электроснабжения, рассчитать токи короткого замыкания, подобрать электрооборудование и проверить его на электродинамическую стойкость» [3].

Данная работа актуальна не только для предприятия по разработке и мелкосерийному выпуску сельскохозяйственной техники, но и других аналогичных по назначению объектов.

Данная бакалаврская работа содержит пояснительную записку объемом 69 страниц, дополняемую 19 таблицами, 13 рисунком, а также 6 чертежами формата А1.

## **Abstract**

In this bachelor's thesis, a project was developed for the reconstruction of the power supply system of the production base of the scientific and technical enterprise (NTP) «Poisk».

The key issue of the bachelor's work is the development of a power supply system with optimized parameters and the required reliability.

The purpose of the bachelor's thesis is to develop a project for a power supply system for an enterprise for the development and small-scale production of agricultural machinery. To do this, «it is necessary to analyze the electrical receivers of the enterprise under study, calculate electrical loads, calculate and select power transformers, electrical equipment of high and low voltage levels, assess the need for measures to compensate for reactive power, determine the main parameters of the main step-down substation, determine the power supply circuit, calculate currents short circuit, select electrical equipment and check it for electrodynamic resistance» [3].

This work is relevant not only for an enterprise for the development and small-scale production of agricultural machinery, but also for other objects similar in purpose.

This bachelor's thesis contains an explanatory note of 69 pages, supplemented by 19 tables, 13 figure, and 6 drawings in A1 format.

## Содержание

Введение.....	6
1 Анализ состояния системы электроснабжения здания НТП «Поиск» и разработка плана реконструкции.....	8
1.1 Область деятельности предприятия .....	8
1.2 Существующая система электроснабжения .....	9
2 Расчет электрических нагрузок .....	11
3 Расчет освещения .....	15
3.1 Расчет системы общего освещения .....	15
3.2 Расчет системы эвакуационного освещения .....	18
3.3 Расчет осветительной сети и выбор защитных аппаратов.....	20
4 Расчет и выбор силовых трансформаторов .....	31
5 Расчет и выбор электрооборудования.....	35
5.1 Расчет и выбор защитной аппаратуры .....	35
5.2 Расчет и выбор проводов и кабелей .....	36
5.3 Расчет и выбор распределительных шкафов.....	38
5.4 Релейная защита и автоматика .....	40
5.5 Система уравнивания потенциалов здания .....	45
5.6 Смета затрат и оценка экономической эффективности реконструкции системы электроснабжения.....	47
6 Разработка автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии..	52
6.1 Разработка структурной схемы.....	52
6.2 Расчет вторичных цепей учета контрольных кабелей для .....	53
вводов 10 кВ.....	53
6.3 Выбор типов электросчетчиков и устройства сбора и передачи .....	54
данных .....	54
6.4 Выбор поставщика программного обеспечения «верхнего .....	62

уровня» АИИС КУЭ .....	62
Заключение .....	64
Список используемых источников.....	66

## Введение

Энергетический сектор нашей страны «обеспечивает надежное электроснабжение для удовлетворения нужд народного хозяйства и бытовых потребителей электрической энергии, обеспечивая стабильную и непрерывную подачу энергии для всех категорий пользователей. Основными потребителями электроэнергии являются промышленные предприятия, сельское хозяйство, транспорт и коммунальное хозяйство, которые потребляют значительные объемы энергии для обеспечения своих повседневных операций. Более 70% всей вырабатываемой электроэнергии расходуется на технологические процессы промышленных предприятий, что делает их главными потребителями энергетических ресурсов» [26].

«Электроэнергия используется практически во всех отраслях народного хозяйства, играя ключевую роль в обеспечении их эффективного функционирования, и особенно важна она для привода различных механизмов, необходимых для производственных и эксплуатационных нужд. В последнее время её активно применяют в электротехнологических установках, таких как электротермические и электросварочные установки, электролизные системы, а также для электроискровой и электроразрушающей обработки материалов» [26] и других высокотехнологичных процессов, что расширяет спектр её использования.

Энергопотребители обладают специфическими характеристиками, которые необходимо учитывать при проектировании систем электроснабжения. Эти характеристики предъявляют строгие и специфические требования к электроснабжению, включая надежность подачи, качество электроэнергии, а также резервирование и защиту отдельных компонентов системы. Все эти аспекты необходимы для обеспечения непрерывности и стабильности работы.

При проектировании, строительстве и эксплуатации систем электроснабжения промышленных объектов необходимо учитывать разнообразные технико-экономические факторы. К этим факторам относится оптимальный выбор напряжения, который требует тщательного анализа. Также необходимо точно определить электрические нагрузки для эффективной работы системы. Следует правильно подобрать типы, количество и мощность трансформаторных подстанций, что требует глубоких технических знаний. Необходимо также выбрать и внедрить эффективные методы защиты трансформаторных подстанций. При выборе напряжения питающих линий и сетей следует учитывать усовершенствования технологического процесса, а также необходимо предусмотреть увеличение мощностей при номинальном напряжении для удовлетворения будущих потребностей.

ООО НТП «Поиск» является обществом с ограниченной ответственностью. Предприятие обладает правами юридического лица и осуществляет свою деятельность в соответствии с уставом.

Предметом деятельности предприятия является разработка, производство, ремонт и техническое обслуживание машин и оборудования, используемого в сельском хозяйстве.

В состав предприятия входят следующие цеха:

- токарный цех;
- механический цех;
- цех по ремонту комбайнов;
- столярный цех и другие электропотребители.

# **1 Анализ состояния системы электроснабжения здания НТП «Поиск» и разработка плана реконструкции**

## **1.1 Область деятельности предприятия**

ООО НТП «Поиск» имеет следующие области деятельности:

- ремонт и техническое обслуживание машин и оборудования, используемого в сельском хозяйстве;
- производство сельскохозяйственных машин и оборудования;
- техническое обслуживание и ремонт автомобилей;
- деятельность автомобильного грузового автотранспорта, организация перевозки грузов;
- электромонтажные и пусконаладочные работы;
- оптовая и розничная торговля средствами химизации и защиты растений;
- сдача в наем собственного недвижимого имущества;
- оптовая и розничная торговля зерном.

Наиболее массово выпускаемая продукция:

- косилка–плющилка навесная КПН–2,6: предназначена для скашивания кормовых бобовых культур с одновременным плющением;
- разравниватель сенажной массы РСМ–2,18: предназначен для равномерного разравнивания сенажной и силосной массы в траншеях;
- культиватор КШП–9,7 – предназначен для предпосевной обработки почвы.

В состав предприятия входят несколько цехов, оснащенных различными станками и оборудованием:

- станки: токарный, фрезерный, сверлильный, заточной;

- кузнечный горн;
- штамповочный пресс;
- вспомогательное оборудование: дозатор воды, водяной насос, компрессор, вентиляторы;
- кран–балка.

Токарный и механический цех находятся в одном производственном здании. План здания с размещением электрооборудования показан на листе №1 графической части проекта.

## **1.2 Существующая система электроснабжения**

Существующая система электроснабжения соответствует III категории надежности, так как большинство потребителей электроэнергии относились именно к данной категории. Однолинейная электрическая схема электроснабжения до реконструкции показана на листе №2 графической части проекта. Однако в связи с закупкой нового технологического оборудования, увеличением объема выпуска было принято решение о переходе на II категорию надежности электроснабжения. В данном случае это вызвано тем, что «перерыв электроснабжения приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и оборудования» [7].

Электроснабжение ООО НТП «Поиск» осуществляется «на напряжении 10 кВ по кабельной линии ААШВу–10 (3×95) от ПС Зельва 110/10 кВ. Низковольтные потребители шин получают электроэнергию напряжением 380/220 В от цеховых трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ. На территории предприятия имеется 2 трансформаторных подстанций. Установленная суммарная мощность трансформаторов на 2022 год составляет 1600 кВА. Используются трансформаторы марки: 2хТМ–1000» [7]. Показатели энергоснабжения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели электроснабжения предприятия

Наименование показателей	Единицы измерения	Показатели
Суммарная установленная мощность трансформаторов	кВА	2000
Время работы трансформаторов	час/г	8760
Среднегодовой коэффициент загрузки трансформаторов, $K_3$	–	0,4

Внутризаводская система электроснабжения выполнена по «радиальной» схеме, в которой используются различные кабельные линии для обеспечения эффективной передачи электроэнергии. В состав схемы входят ячейки с выключателями ВМГ-10, которые предназначены для обеспечения защиты и отключения электрических цепей при необходимости, что значительно повышает надежность системы. Также в схему включены ячейки трансформаторов напряжения, которые оснащены трансформаторами НТМИ-10, что позволяет поддерживать стабильное напряжение в сети и предотвращает колебания напряжения. Питание отдельных электроприемников осуществляется от распределительных устройств 0,4 кВ (РУ-0,4 кВ), что обеспечивается через автоматические выключатели серии ВА-53» [7], специально разработанные для этого. Для подключения используется кабель АВВГ различного сечения, что обеспечивает необходимую гибкость и адаптивность системы электроснабжения к различным условиям.

Выводы по разделу 1.

Анализ системы электроснабжения ООО НТП «Поиск» позволяет сделать вывод, что для обеспечения требуемого II уровня показателя надежности электроснабжения необходимо провести ее модернизацию, применить два независимых источника электропитания, заменить устаревшее оборудование на современное.

## 2 Расчет электрических нагрузок

«Расчеты выполняются в следующей последовательности методом упорядоченных диаграмм» [17].

Определяем «номинальную мощность группы электроприемников» [17]:

$$P_{\text{ном}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ном}i}$  – «номинальная активная мощность  $i$ -го электроприёмника, кВт» [17].

«Определяем групповой коэффициент использования» [17]:

$$K_{\text{И}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \cdot K_{\text{И}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i}}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{И}i}$  – «коэффициент использования  $i$ -го электроприемника» [7].

«Определяем эффективное число электроприемников» [17]:

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{\text{ном.}i})^2}. \quad (3)$$

«Путем линейной интерполяции определяем коэффициент расчетной нагрузки» [7]:

$$K_{\text{р}} = f(n_{\text{Э}}, K_{\text{И}}). \quad (4)$$

«Определяем расчетную активную нагрузку» [17] по выражению:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{И}} \cdot K_{\text{р}} \cdot P_{\text{ном}}. \quad (5)$$

«Определяем расчетную реактивную нагрузку» [17]:

$$Q_p = \begin{cases} 1.1 \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \cdot K_{\text{ки}} \cdot \text{tg}\varphi, & \text{при } n_3 \leq 10; \\ \sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \cdot K_{\text{ки}} \cdot \text{tg}\varphi, & \text{при } n_3 > 1. \end{cases} \quad (6)$$

«Определяем расчетную полную мощность группы электроприемников» [17]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

Определяем расчетный ток группы:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}. \quad (8)$$

Определяем пиковый ток группы электроприемников:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{н.мах}} + (I_p - k_{\text{и}} \cdot I_{\text{н.мах}}), \quad (9)$$

где « $I_{\text{п.мах}}$  – наибольший пусковой ток электродвигателя в группе, А;

$I_p$  – расчетный ток группы электроприемников, А;

$k_{\text{и}}$  – коэффициент использования приемника с наибольшим пусковым током в группе;

$I_{\text{н.мах}}$  – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током, А» [17].

«В методе упорядоченных диаграмм установлена допустимая погрешность, приемлемая для инженерных расчетов, составляющая 10%. Однако на практике применение этого метода может вызывать значительные погрешности в диапазоне от 20% до 40%, что подчеркивает важность анализа

исходных данных и результатов расчетов» [24]. Прежде чем делать выводы о применимости метода в конкретной задаче, необходимо изучить данные из таблицы 2.

Таблица 2 – Распределение электроприемников по группам

Параметры электрооборудования							Группы потребителей			I <sub>расч гр</sub> , А	I <sub>пик гр</sub> , А
Наименование	Количество	P <sub>ном</sub> , кВт	K <sub>и</sub>	cosφ	I <sub>ном</sub> , А	I <sub>п</sub> /I <sub>н</sub>	Наименование	Электрические приемники			
								с	по		
Фрезерный станок с ЧПУ	1	22	0,85	0,87	39	7,5	1 группа	1	5	64,3	324
Заточной станок	1	2,2	0,3	0,5	5,03	7,5					
Сверлильный станок	1	2,2	0,3	0,5	5,03	7,5					
Штамповочный пресс	1	11	0,83	0,8	22	7,5					
Компрессор	1	7,5	0,83	0,8	14,6	7,5					
Фрезерный станок с ЧПУ	1	22	0,85	0,87	39	7,5	2 группа	6	10	64,3	324
Кузнечный горн	1	2,2	0,3	0,5	5,03	7,5					
Сверлильный станок	1	2,2	0,3	0,5	5,03	7,5					
Кран–балка	1	7,5	0,83	0,8	5,34	7,5					
Штамповочный пресс	1	11	0,83	0,8	22	7,5					
Фрезерный станок с ЧПУ	1	22	0,85	0,87	39	7,5	3 группа	11	15	61,2	321
Заточной станок	1	2,2	0,3	0,5	5,03	7,5					
Дозатор воды	1	1,1	0,3	0,5	2,75	7,5					
Кран–балка	1	7,5	0,83	0,8	14,6	7,5					
Водяной насос	1	3	0,83	0,8	5,33	7,5					
Токарный станок	1	11	0,8	0,8	22	7,5	4 группа	16	20	29	151
Вентилятор	4	1,1	0,3	0,5	8,5	7,5					
Итого	20	137	–	–	259	–	–	–	–	218	–

В качестве примера рассмотрим определение расчетной нагрузки для электроприемников первой группы из таблицы 2:

$$P_{ном} = 22 + 2,2 + 2,2 + 11 + 7,5 = 44,9 \text{ кВт},$$

$$K_u = \frac{0,85 \cdot 22 + 0,3 \cdot 2,2 + 0,3 \cdot 2,2 + 0,83 \cdot 11 + 0,83 \cdot 7,5}{22 + 2,2 + 2,2 + 11 + 7,5} = 0,79,$$

$$n_э = \frac{(22 + 2,2 + 2,2 + 11 + 7,5)^2}{22^2 + 2,2^2 + 2,2^2 + 11^2 + 7,5^2} = 3.$$

Принимаем коэффициент расчетной нагрузки:  $K_p = 1$ . Считаем далее:

$$P_p = 0,79 \cdot 1 \cdot 44,9 = 35,5 \text{ кВт},$$

$$Q_p = 1,1 \cdot (0,85 \cdot 22 \cdot 0,56 + 0,3 \cdot 2,2 \cdot 1,73 + 0,3 \cdot 2,2 \cdot 1,73 + 0,83 \cdot 11 \cdot 0,75 + 5) = 23 \text{ квар},$$

$$I_p = \frac{\sqrt{35,5^2 + 23^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 64,3 \text{ А},$$

$$I_{тик} = 293 + (64,3 - 0,85 \cdot 39) = 324 \text{ А}.$$

Выводы по разделу 2.

Электрические потребители рассматриваемого помещения объединены в 4 группы. Для каждой группы определены токи расцепителей. Суммарная номинальная мощность потребителей составляет 137 кВт.

## 3 Расчет освещения

### 3.1 Расчет системы общего освещения

Рабочее освещение предназначено для «обеспечения достаточного уровня освещенности на рабочих местах, учитывая зрительные задачи, требования безопасности и комфорта труда, а также соответствие эргономическим нормам и стандартам» [30]. Основная задача расчета освещенности заключается в определении оптимального количества и мощности ламп светильников, которые необходимы для достижения требуемого уровня освещенности в соответствии с установленными стандартами, рекомендациями и техническими требованиями.

В условиях производственной базы отсутствуют ограничения по цветопередаче, что позволяет использовать более широкий спектр осветительных решений. Высота помещения превышает 6 метров, что требует применения светильников с высокой мощностью. Было принято решение использовать светодиодный светильник «Индустрия» ССП01-60-250, учитывая его технические характеристики и эффективность светового потока. Этот выбор сделан в качестве альтернативы светильнику РСП 05-250 с лампой ДРЛ-250, основываясь на анализе их световых параметров и эксплуатационных преимуществ.

В процессе эксплуатации источники света подвержены процессу старения, что приводит к постепенному снижению светового потока, а также могут возникать загрязнения, влияющие на эффективность освещения.

Для учета указанных факторов используется коэффициент запаса  $K_z$ , который учитывает потери светового потока и изменения яркости светильников на протяжении периода эксплуатации.

«Одним из важных параметров для расчета искусственного освещения является нормируемая освещенность  $E_{min}$ , определяемая в соответствии с

требованиями нормативных документов и нормативно–технических документов» [30].

В связи с этим выбираем для дальнейшего расчета  $K_3=1,5$  и  $E_{\min}=200$  лк для цеха. «Высота подвеса светильника над освещаемой поверхностью  $H_p$  – расчетная высота подвеса светильников в значительной степени определяет характеристику и технико–экономические показатели проектируемой осветительной установки. Высота подвеса светильников равна высоте помещения  $H$ . Расчетная высота подвеса светильников определяется по следующему выражению» [2]:

$$H_p = H - (h_c + h_p), \quad (10)$$

где « $H$  – высота помещения, м;

$h_c$  – высота подвеса светильников, м;

$h_p$  – высота рабочей поверхности, м» [2].

Из [19] определяем «коэффициент  $L/H_p$  для выбранных светильников и определяем расстояние между соседними светильниками или их рядами по формуле» [19]:

$$L = (L/H_p) \cdot H_p, \quad (11)$$

где « $L/H_p$  – наивыгоднейшее расстояние между светильниками» [22].

Принимаем  $L/H_p = 1,4$ .

Приведем «расчет светильников для цеха» [22]:

$$H_p = 7,5 - (0,4 + 0,6) = 6,5 \text{ м};$$

$$H_p = 1,4 \cdot 6,5 = 9 \text{ м}.$$

«Для расчета общего равномерного освещения основного помещения воспользуемся методом коэффициента использования светового потока.

Индекс помещения определяем по формуле» [22]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A+B)}, \quad (12)$$

где «А– длина помещения, м. Принимаем А=42 м;

В – ширина помещения, м. Принимаем В=18 м;

$H_p$  – расчетная высота подвеса, м. Принимаем  $H_p=6,5$  м» [22];

$$i = \frac{42 \cdot 18}{6,5 \cdot (42+18)} = 2.$$

По [22], для «светильников коэффициенты отражения стен, потолка и рабочей поверхности приняты равными  $\rho_c=50\%$ ,  $\rho_n=50\%$ ,  $\rho_p=30\%$ , нормируемая освещенность для основного помещения  $E_{\min}=300$  лк,  $K_3=1,5$ » [22].

Тогда «общий коэффициент использования определяется по следующей формуле» [22]:

$$\eta = \eta_c \cdot \eta_n, \quad (13)$$

где « $\eta_c$  – КПД светильника, о.е. Принимаем для светильника  $\eta_c = 0,95$ ;

$\eta_n$  – КПД помещения, о.е. Принимаем для данного помещения

$\eta_n=0,74$ » [22].

$$\eta = 0,95 \cdot 0,74 = 0,7 \text{ о.е.}$$

«Световой поток источника света определяется по формуле» [22]:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (14)$$

где «Е – нормируемая освещенность, лк;

$k$  – коэффициент запаса;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$z$  – коэффициент неравномерности распределения светового потока, принимаем  $z=1,15$ ;

$N$  – количество светильников» [22].

«Принимаем для светильников ССП01–60–250 полный световой поток  $\Phi=12000$  лм. Из формулы (14) выводим формулу для определения необходимого количества светильников» [22]:

$$N = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{\Phi \cdot \eta},$$
$$N = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 756 \cdot 1,15}{12000 \cdot 0,7} = 30,9.$$

Принимаем 30 светильников.

### **3.2 Расчет системы эвакуационного освещения**

«В случае аварийного отключения рабочего освещения, которое предназначено для нормальной работы, в производственных условиях применяется эвакуационное освещение, которое обеспечивает безопасную эвакуацию людей из помещения» [27].

Эвакуационное освещение должно обеспечивать минимальную освещенность на полу основных проходов в помещении, которая составляет не менее 0,5 лк в соответствии с установленными нормативными требованиями.

«Для проведения расчета аварийного освещения на производственной базе применяется точечный метод, который базируется на использовании

пространственных изолюкс, представляющих собой пространственные кривые условной горизонтальной освещенности. Пространственные изолюксы разработаны для стандартных светильников при световом потоке условной лампы мощностью 1000 лм, что обеспечивает их эффективное использование в расчетах для достижения требуемого уровня освещенности» [27].

«Изолюксы представлены в прямоугольной системе координат и зависят от расчетной высоты установки светильника, а также от расстояния проекции светильника на горизонтальную поверхность для каждой контрольной точки.

Условная освещенность в контрольной точке определяется как сумма условных освещенностей от ближайших светильников, что учитывается в специальной формуле для повышения точности расчетов, учитывающей влияние каждого светильника на общую освещенность в контрольной точке» [27]:

$$\sum e = e_1 + e_2 + \dots + e_n, \quad (15)$$

где  $e_1, e_2, \dots, e_n$  – условная освещенность в контрольной точке от отдельных источников света.

Световой поток одной лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E \cdot k}{\mu \cdot \sum e}, \quad (16)$$

где « $E$  – нормируемая наименьшая освещенность, лк;

$k$  – коэффициент запаса, принимаемый в зависимости от загрязнения воздушной среды, для ламп накаливания  $k=1,3$ ;

$\mu$  – коэффициент добавочной освещенности за счет отражения от потолка и удаленных светильников» [22].

«Сумма условных освещенностей от ближайших светильников» [22]:

$$\sum e A = 0,4 + 0,1 + 0,5 = 1 \text{ лк.}$$

После подстановки значений в формулу (16) получаем:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 0,5 \cdot 1,3}{1,1 \cdot 1} = 590,91 \text{ лм.}$$

Выбираем лампу светодиодную с  $\Phi=730$  лм и светильник НСП 0,1–60. Расположение светильников на плане помещения показано на рисунке 1.

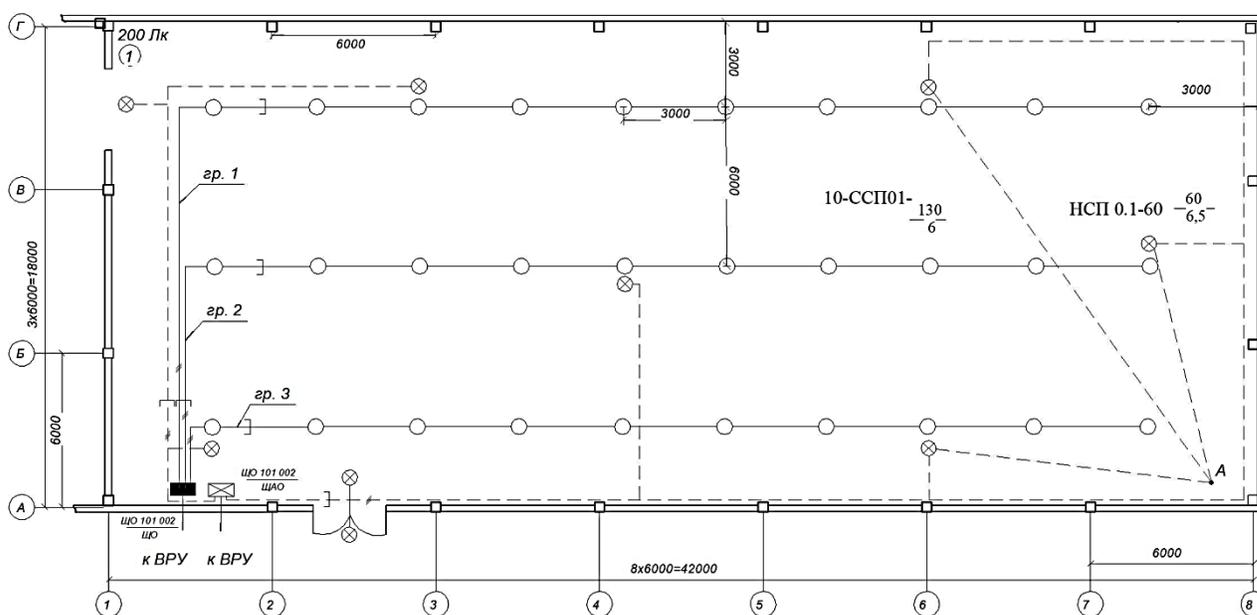


Рисунок 1 – План освещения

### 3.3 Расчет осветительной сети и выбор защитных аппаратов

Расчетная схема осветительной сети предоставлена на рисунке 2.

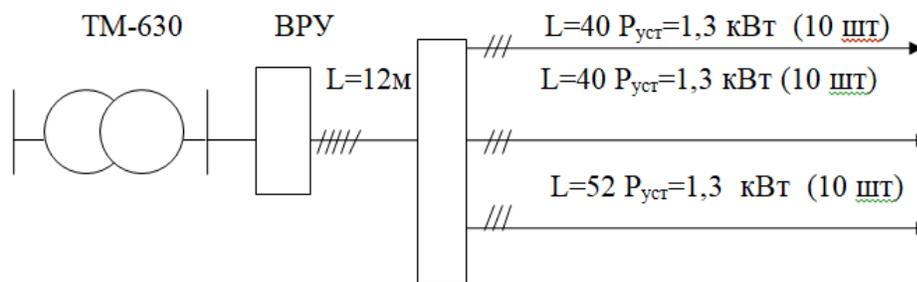


Рисунок 2 – Схема питания осветительной сети

«Установленная мощность ( $P_{уст}$ ) состоит из мощности ламп, выбранных для освещения помещений. Для получения расчетной мощности вводится поправочный коэффициент спроса ( $K_c$ ) к установленной мощности, так как в зависимости от характера производства и назначения помещений часть ламп по разным причинам может быть не включена» [9]:

$$P_{р.дл.} = 1,2 \cdot \sum P_{дл.} \cdot K_c. \quad (17)$$

По [9] принимаем коэффициенты:

- $K_c = 1,0$  – для мелких производственных зданий;
- $K_c = 0,95$  – для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;
- $K_c = 0,85$  – для зданий, состоящих из малых отдельных помещений;
- $K_c = 0,8$  – для административно–бытовых и лабораторных зданий промышленных предприятий» [9].

«Коэффициент спроса для расчета сети освещения аварийного и эвакуационного освещения равен 1,0. Такое же значение  $K_c$  принимают для групповых линий осветительной сети» [9].

Например, для группы 1:

$$P_{уст} = \sum P_{лд}; \quad (18)$$

$$P_{уст} = 1,3 \text{ кВт};$$

$$P_p = \sum P_{лд} \cdot K_c; \quad (19)$$

$$P_p = 1,3 \cdot 0,95 = 1,235 \text{ кВт}.$$

Для остальных групп расчет аналогичен, результаты занесем в таблицу 3.

Таблица 3 – Установленные и расчетные нагрузки групп

№ группы	Число светильников	P <sub>л</sub> , кВт	P <sub>уст</sub> , кВт	к <sub>с</sub>	P <sub>р</sub> , кВт
1	10	0,13	1,3	0,95	1,235
2	8	0,09	1,09	0,88	1,044
3	9	0,08	1,12	0,88	1,107
Итого	–	–	–	–	3,386

«Выбор сечений проводников производится по трем условиям: по механической прочности, по допустимому нагреву и по потере напряжения» [9].

«По допустимому нагреву сечение жил кабелей можно определить по условию» [25]:

$$I_{доп} \geq I_p / k_n, \quad (20)$$

где «I<sub>доп</sub> – допустимый ток стандартного сечения провода, А;

I<sub>р</sub> – расчетное значение длительного тока нагрузки, А;

k<sub>п</sub> – поправочный коэффициент на условия прокладки» [25].

«Принимаем для светодиодов cosφ=0,96. Тогда расчетные максимальные токовые нагрузки, для однофазной сети, определяют по формуле» [25]:

$$I_p = \frac{P_p}{U_{ном} \cdot \cos \varphi}. \quad (21)$$

Результаты расчета токовых нагрузок сводим в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчет токовых нагрузок по группам

№ группы	cosφ	I <sub>p</sub> , А
1	0,96	7
2	0,96	4
3	0,96	5

«Расчетная токовая нагрузка для линии, отходящей от распределительного шкафа переменного тока, будет находиться по формуле» [22]:

$$I_{P.ШР.ЩО} = \frac{P_{PPЩ.ЩО}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ} \cdot \cos \varphi_{ср.ВЗВ}}, \quad (22)$$

где «cosφ<sub>ср.взв.</sub> – средневзвешенный (cosφ) для каждой линии» [12].

$$\cos \varphi_{ср.ВЗВ} = \frac{\sum P_{P.ij} \cdot \cos \varphi_j}{\sum P_{pij}}, \quad (23)$$

где «P<sub>pij</sub> – расчетная нагрузка группы j» [12].

Результаты расчета заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – Расчетные токовые нагрузки для линий ВРУ–ЩО1

№ линии	P <sub>p</sub> , кВт	cosφ <sub>ср.взв.</sub>	I <sub>p</sub> , А
ВРУ–ЩО1	4,116	0,96	5,89

«Допустимая потеря напряжения в осветительной сети определяется» [22]:

$$\Delta U_{\text{д}} = U_{\text{ХХ}} - U_{\text{MIN}} - \Delta U_{\text{T}}, \quad (24)$$

где « $U_{\text{ХХ}}$  – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора (105%);

$U_{\text{MIN}}$  – минимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп (95%);

$\Delta U_{\text{T}}$  – потеря напряжения в трансформаторе, %» [22].

$$\Delta U_m = \beta \cdot (U_a \cdot \cos \varphi + U_p \cdot \sin \varphi), \quad (25)$$

где « $\beta$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$U_a$  – активная составляющая напряжения КЗ трансформатора;

$U_p$  – реактивная составляющая напряжения КЗ трансформатора» [22]

$$\beta = \frac{S_p}{S_{\text{н.т}}}, \quad (26)$$

$$U_a = \frac{100 \cdot \Delta P_k}{S_{\text{н.т}}}, \quad (27)$$

$$\Delta U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}, \quad (28)$$

где « $\Delta P_k$  – номинальные потери мощности КЗ трансформатора;

$S_{\text{н.т}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки трансформатора» [22].

«Задаемся следующими параметрами ТП:  $S_{\text{нт}} = 1000$  кВ·А,  $\beta = 0,93$ ,  $\cos \varphi = 0,9$ ,  $\Delta P_k = 8$  кВт,  $U_k = 5,5\%$  (паспортная характеристика)» [23].

По формулам (27) и (28) определим «активную и реактивную составляющую напряжения КЗ» [22]:

$$U_a = \frac{100 \cdot 8}{630} = 1.27\%,$$

$$U_p = \sqrt{5,5^2 - 1,27^2} = 5,35\%.$$

По формуле (25) определим «потери напряжения в трансформаторе» [22]:

$$\Delta U_m = 0,9 \cdot (1,27 \cdot 0,9 + 5,35 \cdot 0,43) = 3,1\%.$$

Тогда «допустимая потеря напряжения в осветительной сети составит» [22]:

$$\Delta U_d = 105 - 95 - 3,1 = 6,9\%.$$

Для определения необходимого сечения провода при установленном значении допустимой потери напряжения необходимо предварительно выполнить расчет момента нагрузки, что представляет собой ключевой этап в процессе проектирования электрических сетей. Методика, применяемая для определения момента нагрузки, должна быть выбрана с учетом специфики конкретной конфигурации сети освещения, ее геометрических особенностей и характеристик потребляемой электроэнергии.

При общем подходе к расчету момента нагрузки следует принять во внимание следующие этапы. Определение активной мощности всех потребителей, включенных в электрическую сеть, включая осветительные приборы, электроприемники и другие устройства.

Учет коэффициента мощности и числа одновременно работающих потребителей, что необходимо для корректного определения общей нагрузки на сеть. Выбор наиболее подходящего и эффективного метода расчета момента нагрузки, который удовлетворяет требованиям энергоэффективности и надежности работы электрической сети:

$$M = Pp1 \cdot L + Pp2 \cdot (L + L_1) + \dots + Ppn \cdot (L + L_1 + \dots + L_n), \quad (29)$$

где «L – расстояние от щитка до первого светильника;

L<sub>1</sub>, L<sub>n</sub> – расстояние между светильниками» [5].

«При расчете разветвленной осветительной сети на минимум сечения провода для участка сети до разветвления равно» [5]:

$$S = \frac{M_{пр}}{c \cdot \Delta U_d}, \quad (30)$$

где «M<sub>пр</sub> – приведенный момент нагрузки, кВт·м;

c – коэффициент, определяемый в зависимости от системы напряжения, системы сети и материала проводника, c = 7,4 – алюминиевый кабель, однофазная с нулем сеть» [5].

Приведенный момент определяется по формуле:

$$M_{пр} = \sum M + \sum \alpha \cdot m, \quad (31)$$

где « $\sum M$  – сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов линии, что и на данном участке, кВт·м;

$\sum \alpha \cdot m$  – сумма приведенных моментов участков с другим числом проводов, кВт·м;

$\alpha$  – коэффициент приведения моментов,  $\alpha = 1,85$  – однофазное ответвление» [5].

Далее «определяется действительное значение потери напряжения на участке» [22]:

$$\Delta U_{\Phi} = \frac{M}{c \cdot S}. \quad (32)$$

Последующие участки рассчитываются аналогично по оставшейся потере напряжения:

$$\Delta U_p = \Delta U_d - \Delta U_T. \quad (33)$$

Для рассматриваемого помещения в процессе разработки проектируется детальная расчетная схема осветительной сети, которая полностью представлена на рисунке 2. «Для обеспечения равномерного распределения осветительной нагрузки по фазам в этой схеме светильники подключаются к фазам в определенном порядке: сначала к фазе А, затем к фазе В, далее к фазе С, снова к фазе С, после этого к фазе В, и затем к фазе А, и так далее» [22]. Этот порядок подключения начинается с конца линии осветительной сети. Это позволяет достичь равномерности распределения нагрузки. В качестве примера будет проведен детальный расчет осветительной сети для группы 1, чтобы продемонстрировать методику. Приведенный момент определяется с использованием формулы (31), которая применяется для точного вычисления нагрузок:

$$M_{np} = M = 0,22 \cdot 23 + 0,22 \cdot (9 + 4,11) + \dots + P_{pn}(L_1 + \dots + L_n) = 39,71 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Сечение провода по (11):

$$s = \frac{41,84}{7,4 \cdot 6,9} = 0,82 \text{ мм}.$$

«Выбираем кабель АВВГ (3×2,5) мм<sup>2</sup>, с I<sub>доп</sub>=19 А» [22].

По формулам (29...33) расчет кабеля:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{39,77}{8,2 \cdot 1,74} = 2,23\%,$$

$$\Delta U_p = 7,1 - 2,23 = 4,77\%,$$

$$M = 4,116 \cdot 9,78 + 2,25 \cdot 98,74 = 336,17 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$S = \frac{336,17}{39 \cdot 7,1} = 0,98 \text{ мм}^2,$$

$$\Delta U_{\phi} = \frac{336,17}{39,77 \cdot 1,74} = 2,97\% < \Delta U_p = 7,5\%.$$

Расчеты сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Расчет рабочего освещения

Участок		I <sub>p</sub> , А	M <sub>собств</sub> , кВт·м	Сечение по ΔU, мм <sup>2</sup>	Сечение по нагреву, мм <sup>2</sup>	ΔU <sub>ф</sub> , %	Окончательно выбранное сечение, мм <sup>2</sup>	I <sub>доп</sub> , А
Начало	Конец							
РП	ЩО	5	336,17	2,5	2,5	2,97	АВВГ (3×2,5)	19
ЩО	Р1	5	42,77	2,5	2,5	1,86	АВВГ (3×2,5)	19
ЩО	Р2	5	36,88	2,5	2,5	1,97	АВВГ (3×2,5)	19
ЩО	Р3	5	30,04	2,5	2,5	2,08	АВВГ (3×2,5)	19

Проверяем кабель АВВГ по условию:

$$I_{доп} > \frac{K_3 \cdot I_3}{Kn}, \quad (34)$$

где «K<sub>3</sub> – кратность длительно допустимого тока проводника по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата, K<sub>3</sub> принимаем 1;

I<sub>3</sub> – номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент прокладки принимаем 1» [14].

$$19\text{А} > \frac{1,9}{1} = 1,9 \text{ А.}$$

Условие выполняется.

Условие выбора аппаратов защиты:

$$I_{\text{н.р.}} \geq I_{\text{р}}, \quad (35)$$

где  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток рассматриваемого участка сети, А.

Из [14] выбираем автоматические выключатели серии ВА.

Для примера, при рассмотрении линии 1 с током нагрузки  $I_{\text{р}} = 5 \text{ А}$ , мы выбираем ВА 51–25 с током  $I_{\text{н.в.}} = 20 \text{ А}$  и током расцепителя  $I_{\text{н.р.}} = 10 \text{ А}$ .

Производим проверку следующего условия:  $25 \text{ А} > 6 \text{ А}$ . Это условие оказывается удовлетворенным в данном случае.

Затем проводим проверку согласования выбранного защитного аппарата с проводником по соответствующей формуле (34):  $28,4 \text{ А} > (1 \cdot 19) / 1 = 19 \text{ А}$ . Условие также оказывается выполненным.

Далее производится аналогичный расчет аппаратов защиты для остальных групп проводов, и полученные результаты записываются в таблицу 7 для последующего анализа.

Таблица 7 – Расчет аппаратов защиты по группам

№ группы	$I_{\text{р}}$ , А	$K_{\text{з}}$	$I_{\text{н.в.}}$ , А	$I_{\text{н.р.}}$ , А	$I_{\text{доп}}$ , А	$I_{\text{рКз}}$ , А	Модель
1	5	0,9	20	10	22	7	ВА51–25
2	5	0,9	20	10	22	7	ВА51–25
3	5	0,9	20	10	22	7	ВА51–25
ЩО	5,12	0,9	20	15	22	7,22	ВА51–25

Выводы по разделу 3.

В процессе выполнения данного раздела осуществлена разработка системы освещения, произведен подбор светильников и расчет оптимального их количества, составляющего 30 единиц. Также выполнена детализированная планировка расположения светильников на плане помещения. Были выбраны необходимые сечение и марка проводов для обеспечения эффективного функционирования системы. Помимо этого, произведен выбор типа и определение защитных характеристик автоматических выключателей модели ВА51–25, которые установлены в цепи питания светильников.

Было выбрано светодиодное освещение, так как оно по сравнению с предыдущими поколениями светильников обладает множеством достоинств:

- значительно более длительная эксплуатация светодиодного освещения по сравнению с люминесцентным;
- значительно более низкие затраты электроэнергии при том же световом потоке.

## 4 Расчет и выбор силовых трансформаторов

Находим активную мощность по формуле (36), реактивную мощность по формуле (37) и полную мощность по формуле (38):

$$P_p = K_c \cdot P_{\text{ном}}, \quad (36)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (37)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (38)$$

где « $K_c$  – коэффициент спроса, справочная величина;

$\operatorname{tg} \varphi$  определяется от  $\cos \varphi$ , справочная величина» [15].

Результат расчета по группам потребителей (смотреть данные из таблицы 2) токарного и механического цеха сведен в таблицу 8.

Таблица 8 – Групповые нагрузки

№ группы потребителей	$P_{\text{ном}}$ , кВт	$K_c$	$P_p$ , кВт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
1	44,9	0,5	22,45	0,85	0,62	13,92	26,41
2	44,9	0,5	22,45	0,85	0,62	13,92	26,41
3	35,8	0,3	10,74	0,83	0,67	7,2	12,9
4	15,4	0,8	9,8	0,8	0,75	7,4	12,3

При переходе от двухтрансформаторной схемы с двумя трансформаторами ТМ–1000, на четырехтрансформаторную схему, принимаем к установке четыре трансформатора марки ТМ–630, изготовленные компанией «Электро–Щит» в городе Самара. Трансформаторы будут установлены в двух трансформаторных подстанциях ТП1 и ТП2.

Токарный и механический цех подключены к ТП1, к которой кроме них, подключены столярный цех, офисное здание и автозаправочная станция. Данные по ТП сведены в таблицу 9.

Таблица 9 – Данные по ТП–1 и ТП–2

№ ТП	$P_{ном}$ , кВт	$K_c$	$P_p$ , кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВА
ТП 1	520	0,75	390	0,85	0,62	241	458
ТП 2	460	0,75	345	0,8	0,75	258	431

Рассмотрим процесс компенсации реактивной мощности, возникающей на стороне низкого напряжения. Определение общей мощности конденсаторных установок осуществляется при напряжении, не превышающем 1000 В. Для этого используется упрощенный метод компенсации реактивной мощности (КРМ), который позволяет упростить вычисления. Формулы для расчета необходимых параметров приведены ниже. Суммарная реактивная мощность  $Q_{н.к.}$ , квар, определяется следующим образом:

$$Q_{н.к} = Q_{н.к1} + Q_{н.к2} \quad (39)$$

где « $Q_{н.к1}$  – расчетная мощность конденсаторной батареи (КБ), квар (формула 40);

$Q_{н.к2}$  – дополнительная принятая мощность КБ для оптимизации трансформаторных потерь (формула 19)» [18].

$$Q_{н.к1} = Q_{0,4кВ} - Q_T, \quad (40)$$

где « $Q_{0,4кВ}$  – реактивная расчетная нагрузка (таблица 9);

$Q_T$  – наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передавать через трансформаторы на стороне 0,4 кВ» [18]:

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot \beta_T \cdot S_T)^2 - P_{0,4}^2}, \quad (41)$$

где « $N_T$ – общее число силовых трансформаторов на цеховой подстанции;  
 $\beta_T$ –коэффициент загрузки трансформаторов;  
 $S_T$ – паспортная номинальная мощность силового трансформатора;  
 $P_{0,4}$ – активная расчетная нагрузка» [18].

$$Q_{Н.К2} = Q_{0,4кВ} - Q_{Н.К1} - \gamma \cdot N_T \cdot S_T, \quad (42)$$

где « $\gamma$  – расчетный коэффициент в зависимости от класса напряжения трансформатора» [18].

В таблице 10 результаты расчета КУ, в таблице 11 – параметры КУ.

Таблица 10 – Расчет мощности КУ

№ ТП	$P_P$ , кВт	$Q_p$ , квар	$\operatorname{tg}\varphi$ о.е.	$Q_{нк}$ квар	$Q_{нк.ном}$ квар	Кол., шт.	$Q_{P-ном}$ , квар
1	390	241	0,35	136	125	2	116
2	345	258		120	125	2	133

Таблица 11 – Данные выбранных КУ на 0,4 кВ

Тип	$U_{ном}$ В	Мощность, квар	Количество ступеней, шт.	Конденсаторные модули, квар	Ток вводного рубильника, А
УКРМ-0,4-125-7,5-У3	400	125	17	7.5-15-22.5-30-52.5	400

Выводы по разделу 4.

Для электроснабжения ООО НТП «Поиск» выбраны четыре трансформатора марки ТМ-630, изготовленные компанией "Электро-Щит" в городе Самара. Трансформаторы будут установлены в двух трансформаторных

подстанциях ТП1 и ТП2, по два трансформатора в каждой КТП. Высокое расчетное значение реактивной мощности показало рациональность использования компенсатора реактивной мощности. В результате расчета для потребителей с рабочим напряжением 0,4 кВ была выбрана конденсаторная установка типа УКРМ–0,4–125–7,5–У3, которая соответствует необходимым параметрам. Эта установка, произведенная компанией ООО НПО «Промэлектроавтоматика», обладает всеми требуемыми характеристиками. Эти установки автоматически включаются и выключаются посредством контакторов, которые играют ключевую роль в обеспечении стабильности работы всей системы. Контакторы оборудованы специальным устройством для ограничения пикового тока включения, что соответствует требованиям по емкостной реактивной мощности и значительно снижает нагрузку на электрическую сеть. Конденсаторы, входящие в состав конденсаторных батарей, используют металлизированный пластмассовый регенерируемый диэлектрик, что значительно повышает их долговечность и надежность в эксплуатации. В дополнение к этому конденсаторы оснащены разрядными резисторами и разъединителем, что способствует защите от избыточного давления и обеспечивает дополнительный уровень безопасности при эксплуатации системы

## 5 Расчет и выбор электрооборудования

### 5.1 Расчет и выбор защитной аппаратуры

В данном исследовании для защиты электроприёмников от коротких замыканий и перегрузок применяются автоматические выключатели, обладающие рядом преимуществ. «Эти устройства представляют собой усовершенствованные защитные аппараты, способные функционировать с повышенной надёжностью. Они обладают возможностью быстрого повторного включения после срабатывания» [1].

«Выбор автоматических выключателей выполняют по двум условиям» [1]:

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_p, \quad (43)$$

$$I_{\text{н.р}} \geq I_p, \quad (44)$$

где « $I_{\text{ном.а}}$  – номинальный ток автоматических выключателей, А;

$I_{\text{н.р}}$  – номинальный ток расцепителя, А;

$I_p$  – расчетный ток защищаемой цепи, А» [1].

$$I_{\text{ср.р}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}}, \quad (45)$$

где « $I_{\text{ср.р}}$  – ток срабатывания расцепителя, А;

$I_{\text{пик}}$  – пиковый ток защищаемой цепи, А» [1].

Расчетное значение кратности тока отсечки может быть найдено по выражению:

$$K_{\text{ТО}} \geq 1,25 \cdot \frac{I_{\text{пик}}}{I_{\text{ном}}}. \quad (46)$$

Например, выберем автомат токарного станка.

Номинальный ток токарного станка:

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta_{\text{НОМ}}}, \quad (47)$$

где « $P_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность электроприемника, Вт;

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

$\cos \varphi$  – номинальный коэффициент мощности;

$\eta_{\text{н}}$  – номинальный КПД приемника» [1].

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{11}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,87 \cdot 0,875} = 22 \text{ А.}$$

Определим ток кратковременной перегрузки:

$$I_{\text{ПИК}} = I_{\text{НОМ}} \cdot K_{\text{П}}, \quad (48)$$

где « $I_{\text{НОМ}}$  – номинальный ток двигателя, А;

$K_{\text{П}}$  – кратность пускового тока» [1].

$$I_{\text{ПИК}} = 22 \cdot 7,5 = 165 \text{ А.}$$

Расчет остальных автоматических выключателей выполняется аналогично.

## 5.2 Расчет и выбор проводов и кабелей

Чтобы обеспечить стабильность работы электрической сети потери напряжения не должна превышать допустимых значений. Допустимый ток проводов и кабелей должен соответствовать току защитного устройства, которое используется для предотвращения повреждений проводника. Это необходимо для обеспечения защиты проводника от перегрузок и коротких

замыканий, что может значительно увеличить безопасность эксплуатации. «Минимальное сечение жил проводов и кабелей определяется с учетом их механической прочности, что критично для долговечности и безопасности. Оно не должно быть меньше значений, указанных в документации на электротехнические изделия, к которым подключаются проводники, чтобы соответствовать техническим требованиям. Эти значения должны быть соблюдены для обеспечения надежного подключения проводников. По требованиям механической прочности минимальное сечение алюминиевых жил проводов и кабелей для неподвижных электроприемников внутри помещений должно быть не менее 4 мм<sup>2</sup> при прокладке на изоляторах, что важно для обеспечения надежного соединения. При других способах прокладки минимальное сечение должно быть не менее 2 мм<sup>2</sup>, что также критично для безопасности и надежности эксплуатации» [1].

«Выбор сечений проводников выполняется по двум условиям» [1]:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{k_{\text{пр}}}, \quad (49)$$

$$I_{\text{доп}} \geq I_3 \frac{k_3}{k_{\text{пр}}}, \quad (50)$$

где « $I_{\text{доп}}$  – длительно допустимый ток, А;

$I_p$  – расчетный ток линии, А;

$k_3$  – кратность длительно допустимого тока по отношению к номинальному току срабатывания защитного аппарата;

$k_{\text{пр}}$  – поправочный коэффициент на фактические условия прокладки»

[1].

Например, для фрезерного станка с ЧПУ:

$$I_{\text{доп}} = \frac{39}{1} = 39 \text{ А},$$

$$I_{\text{доп}} = \frac{40 \cdot 1,25}{1} = 50 \text{ А.}$$

Выбираем кабель марки АВВГ 5х10 с  $I_{\text{доп}} = 60 \text{ А}$ . Для остальных электроприемников выбор кабелей аналогичен.

### 5.3 Расчет и выбор распределительных шкафов

Произведем выбор распределительных шкафов в строгом соответствии с предписаниями, рекомендуемыми для условий их эксплуатации и допустимыми параметрами, учитывая все технические нормативы и стандарты.

Для группировки электроприемников, предполагаемых к подключению, мы осуществляем выбор подходящих распределительных шкафов.

Этот выбор проводится на основании следующих критериев и условий, которые учитывают все технические требования и нормативы:

$$I_p \geq I_{\text{ном}}, \quad (51)$$

где «  $I_p$  – расчетный ток группы электроприемников, А;

$I_{\text{ном}}$  – номинальный ток распределительного шкафа, А» [8].

$$n_{\text{эп}} \geq n_{\text{ш}}, \quad (52)$$

где « $n_{\text{эп}}$  – количество электроприемников в группе;

$n_{\text{ш}}$  – количество возможных присоединений к распределительному шкафу» [8].

Для питания группы 1 с  $I_p = 64,3 \text{ А}$  выбираем распределительный пункт ШРС11-400024WhТТ-54 с  $I_{\text{ном}} = 100 \text{ А}$  [15] и количеством присоединений

$n_{ш} = 5$  шт. Результаты выбора шкафов и автоматических выключателей для других групп заносим в таблицу 12 и 13.

Таблица 12 – Выбор распределительных шкафов

Группа	Расчетный ток группы, А	Модель	$I_{ном}, А$	Число линий
1	64,3	ШРС11-400024WhTT-54	75	8
2	65,22	ШРС11-400024WhTT-54	75	8
3	59,87	ШРС11-400024WhTT-54	75	8
4	30,07	ШРС11-400024WhTT-54	75	5

Таблица 13 – Выбор вводных автоматов

Группа	$I_p, А$	$I_{ном.а}, А$	$I_p, А$	Кратность токовой отсечки	Модель
1	64,3	75	75	12	АЕ 2066
2	65,22	75	75	12	АЕ 2066
3	59,87	75	75	12	АЕ 2066
4	30,07	75	32	12	АЕ 2066
5 (освещение)	5,98	30	16	12	АЕ 2043
6 (освещение)	2,07	30	5	12	АЕ 2036
Ввод от ТП1	230	700	285	12	АК50Б

При этом обязательно необходимо учитывать условия селективности срабатывания защитных устройств, чтобы эффективно предотвратить избыточные отключения и обеспечить надежность работы системы. Питание распределительных шкафов осуществляется посредством кабеля, который проложен в специально предусмотренных для этого лотках, что обеспечивает защиту и удобство обслуживания. Для питания используется пятижильный кабель марки АВВГ, обладающий необходимыми характеристиками для безопасной и стабильной работы.

## 5.4 Релейная защита и автоматика

Релейная защита линий напряжением 10 кВ осуществляется с использованием многоступенчатых токовых защитных устройств. Первая ступень представляет собой токовую отсечку без выдержки времени, которая обеспечивает мгновенное срабатывание. Вторая ступень — это токовая отсечка с незначительным замедлением, обеспечивающая дополнительную защиту. Третья, наиболее чувствительная ступень, представляет собой максимальную токовую защиту (МТЗ) с выдержкой времени, предназначенную для детектирования и устранения остаточных токовых аномалий.

«На коротких линиях часто невозможно реализовать трехступенчатую защиту из-за недостаточной чувствительности первой или второй ступени, что требует использования либо двух ступеней защиты — токовая отсечка без выдержки времени и максимальная токовая защита (МТЗ), либо одной ступени, ограничиваясь только МТЗ.

Обязательным требованием для всех линий с напряжением до 35 кВ является использование максимальной токовой защиты (МТЗ). Для обеспечения защиты отходящих линий будут установлены соответствующие уставки для токовой отсечки и максимальной токовой защиты, а также защиты от перегрузки и замыкания на землю. Каждый выключатель будет оснащен микропроцессорным устройством УЗА–10А.2, что повышает надежность всей системы» [10].

В отличие от воздушных, кабельные линии имеют меньшую длину и низкое удельное сопротивление, что обуславливает незначительные различия в токе короткого замыкания на начале и конце линии. Эти особенности снижают эффективность защитных устройств с зависимой характеристикой, за исключением случаев, когда требуется согласование защиты линии с предохранителями ПК на всем диапазоне токов короткого замыкания.

«Выбор тока срабатывания МТЗ осуществляется в амперах с учетом трех основных условий:

- отсутствие срабатывания защиты при сверхтоках после аварийных перегрузок, т.е. после отключения КЗ на предыдущем элементе;
- согласование чувствительности защит последующего и предыдущего элементов для обеспечения надежной работы системы;
- обеспечение достаточной чувствительности при КЗ в конце защищаемого элемента (основная зона) и в конце каждого из предшествующих элементов (зона дальнего резервирования)» [10].

Расчёт МТЗ.

«Ток срабатывания МТЗ выбирается по наиболее тяжёлому условию несрабатывания защиты при АВР на стороне 0,4 кВ» [10]:

$$I_{cз} \geq \frac{K_n}{K_g} \cdot (K_{cз} \cdot I_{pm1} + K'_n \cdot I_{pm2}), \quad (53)$$

где « $K_n$  – коэффициент надёжности,  $K_n=1,1 \dots 1,2$ ;

$K_{cз}=2$  – коэффициент самозапуска;

$K'_n=1,5$  – коэффициент, учитывающий увеличение тока через трансформатор Т1 из-за понижения напряжения на шинах 0,4 кВ при АВР секционного автомата;

$K_b$  – коэффициент возврата для цифровых реле,  $K_b=0,95$ ;

$I_{рт1}$ ,  $I_{рт2}$  – максимальные рабочие токи трансформаторов Т1 и Т2, которые принимаются равными 0,7 от их номинального тока. Коэффициент 0,7 учитывает фактическую загрузку каждого из трансформаторов» [10].

$$I_{cз} \geq \frac{1,1}{0,8} \cdot (2 \cdot 0,7 \cdot 58 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 58) = 194,4 \text{ А.}$$

Ток срабатывания реле (уставка):

$$I_{cp} = \frac{K_{cx} \cdot I_{cз}}{n_m}, \quad (54)$$

где « $K_{cx}$  – коэффициент схемы;

$n_m$  – коэффициент трансформации трансформаторов тока» [10].

$$I_{cp} = \frac{1 \cdot 194,4}{100 / 5} = 9,77 \text{ A.}$$

Выбираем реле УЗА–10А.2.

Коэффициент чувствительности:

$$K_u^{(2)} = \frac{I_{кз \min}^{(2)}}{I_{cз}}, \quad (55)$$

$$K_u^{(2)} = \frac{0,86 \cdot 425}{194,4} = 1,87 > 1,5.$$

Время срабатывания минимальной тепловой защиты ( $t_{сзМТЗ}$ ) определяется двумя основными критериями, включая необходимость обеспечения высокой степени селективности, «которая учитывает не только работу предыдущих и последующих защитных элементов, но и обеспечение эффективной защиты в широком диапазоне условий эксплуатации трансформатора, включая различные режимы нагрузки и переменные температурные условия» [16].

«В соответствии с принципами селективности, установленными в данном контексте, время срабатывания предыдущей защиты  $t_{сзпред}$ , которое составляет 0,1 секунды, и установленная ступень  $\Delta t$ , равная 0,5 секунды, играют ключевую роль в обеспечении точности и надежности защитных мероприятий,

направленных на минимизацию воздействия нежелательных термических процессов на оборудование» [16]:

$$t_{сзМТЗ} = t_{сзпред} + \Delta t, \quad (56)$$

$$t_{сзМТЗ} = 0,1 + 0,2 = 0,3с.$$

«Расчёт токовой отсечки.

Ток срабатывания отсечки выбирается по условию её не действия при трёхфазном КЗ за трансформатором блока (точка КЗ)» [16]:

$$I_{сзотс} = K_n \cdot I_{кз \max}^{(3)}, \quad (57)$$

$$I_{сзотс} = 1,3 \cdot 425 = 552,5А.$$

Ток срабатывания отсечки:

$$I_{сротс} = \frac{K_{сх} \cdot I_{сзотс}}{n_m}, \quad (58)$$

$$I_{сротс} = \frac{1 \cdot 552,5}{100 / 5} = 27,63А.$$

Выбираем реле тока УЗА–10А.2.

Коэффициент чувствительности отсечки при двухфазном КЗ на выводах 10кВ трансформатора:

$$K_u^{(2)} = \frac{I_{кз \min}}{I_{сзотс}}, \quad (59)$$

$$K_u^{(2)} = \frac{0,866 \cdot 7,14 \cdot 10^3}{552,5} = 11,19 > 2.$$

«В сетях напряжением 10 кВ используется специализированная методика для защиты от однофазных замыканий на землю, которая включает в себя применение трансформатора тока нулевой последовательности» [4] в кабельных системах для обеспечения надежной и эффективной защиты от потенциальных аварийных ситуаций.

При выборе первичного тока срабатывания защиты необходимо учитывать условия, при которых исключается «возможность случайного срабатывания защиты в результате временного броска тока линии, вызванного ее собственным емкостным эффектом при внешнем замыкании на землю» [4]:

$$I_{сзрасч} \geq K_{отс} \cdot K_{б} \cdot I_c, \quad (60)$$

где « $K_{отс}=1,1 \dots 1,2$  – коэффициент отстройки;

$K_{б}=2 \dots 2,5$  – коэффициент, учитывающий бросок собственного ёмкостного тока;

$I_c$  – ёмкостной ток сети, получаемый питание по замыкаемой линии» [4].

Для линий:

$$I_c = I_{co} \cdot L \cdot m, \quad (61)$$

где « $I_{co}$  – ёмкостной ток 1 км кабеля, принимаемый по справочника.  $I_{co}=$

0,87 А/км – для сечения жилы 50мм<sup>2</sup>;

$L$  – длина линии. Принимаем  $L=0,015$ км;

$m = 1$  – число кабелей в линии» [4].

$$I_c = 0,87 \cdot 0,015 \cdot 1 = 0,013 \text{ А},$$

$$I_{сзрасч} = 1,2 \cdot 2,5 \cdot 0,013 = 0,04 \text{ А}.$$

Принимаем  $I_{c3}=5A$ .

Чувствительность защиты:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{cmin}} - I_c - I_1}{I_{\text{c3}}}, \quad (62)$$

где  $I_1=0$ ;

$I_{\text{cmin}}$  – наименьшее значение суммарного тока замыкания на землю

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{cmin}} - I_c - I_1}{I_{\text{c3}}} = \frac{9,5 - 0,04}{5} = 1,89 > 1,25.$$

## 5.5 Система уравнивания потенциалов здания

«Для уравнивания потенциалов в электрощитовой устанавливается главная заземляющая шина (ГЗШ), которая служит центральным элементом системы заземления. В техподполье прокладывается магистраль, являющаяся продолжением ГЗШ» [21], обеспечивая надежное соединение всех элементов системы. К этой магистрали подсоединяются все металлические трубопроводы, входящие в здание, что способствует эффективному распределению потенциалов. Также к ней подсоединяется «заземлитель устройства повторного заземления нулевого провода, что увеличивает надежность системы. Соединения осуществляются стальной полосой сечением 25×4 мм, что обеспечивает достаточную проводимость. ГЗШ и магистраль изготавливаются из стали сечением 8×50 мм» [21], что гарантирует долговечность и устойчивость системы. Схема уравнивания потенциалов представлена на рисунке 3, что наглядно демонстрирует все подключенные элементы.

«В помещениях с повышенной влажностью предусмотрена дополнительная система уравнивания потенциалов для повышения

безопасности эксплуатации. К ней присоединяются все сторонние проводящие части, что минимизирует риск электрического удара» [21].

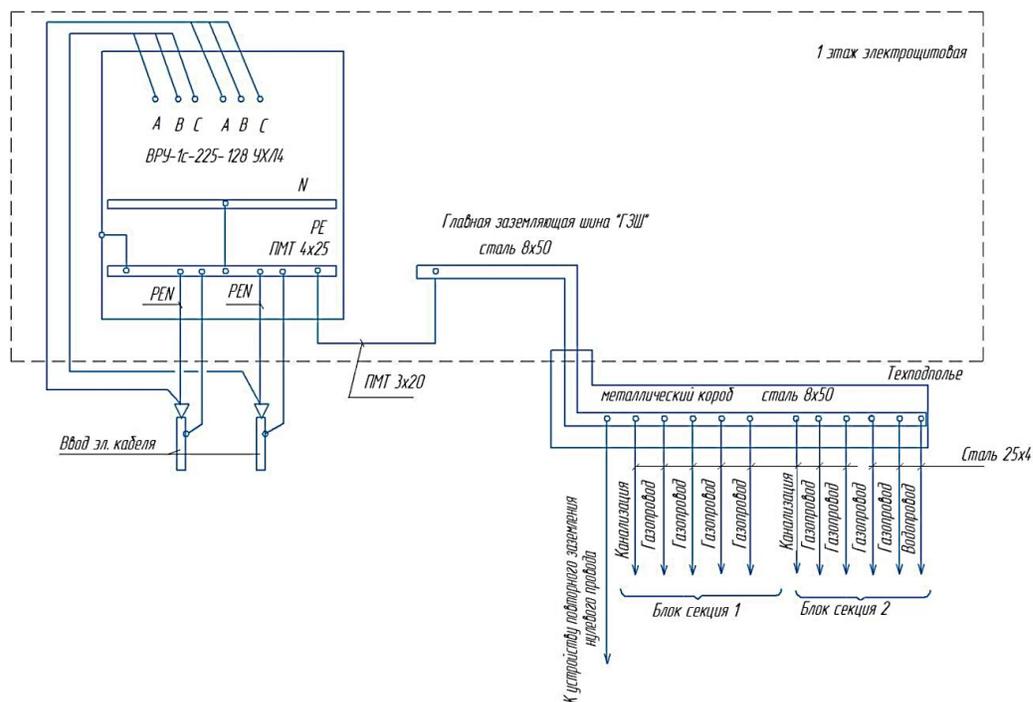


Рисунок 3 – Схема основной системы уравнивания потенциалов

Это показано на рисунках 4 и 5, где детализировано расположение и подключение всех элементов.

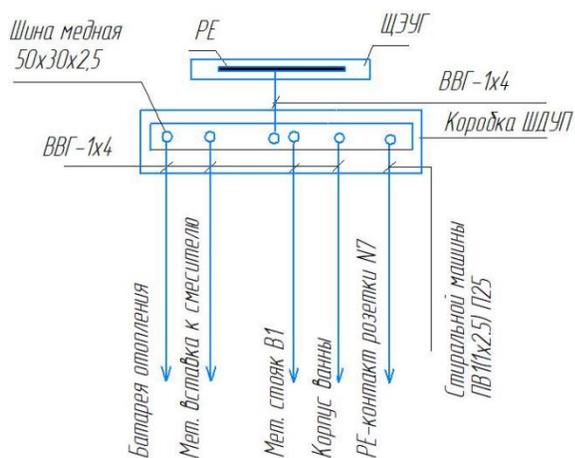


Рисунок 4 – Схема №1 дополнительной системы уравнивания потенциалов помещений с повышенной влажностью

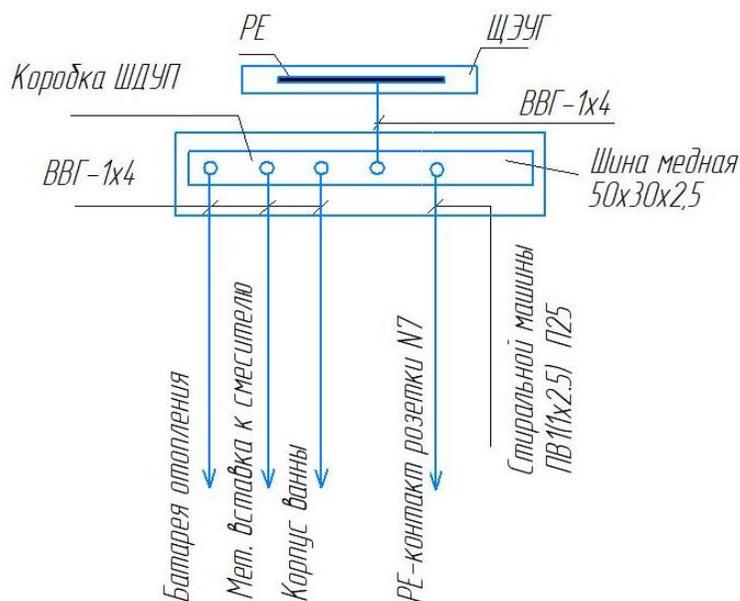


Рисунок 5 – Схема №2 дополнительной системы уравнивания потенциалов помещений с повышенной влажностью

Соединения выполняются кабелем марки ВВГнг сечением  $1 \times 4$  мм<sup>2</sup>, что обеспечивает надежную изоляцию и проводимость. На вводе предусмотрено устройство повторного заземления нулевого провода, что дополнительно повышает надежность и безопасность всей системы.

### 5.6 Смета затрат и оценка экономической эффективности реконструкции системы электроснабжения

Расчет стоимости электромонтажных работ в помещении, включающем механический и токарный цеха, осуществляется на основании текущих цен и их динамики. При этом «обязательно учитываются индексы изменения стоимости по различным элементам затрат, что позволяет более точно оценить расходы. Эти индексы изменения стоимости утверждены приказом Министерства строительства России, что обеспечивает их официальное признание и применение» [4]:

$$K_{Общ} = (C_O + T_{TP}) + K_{СМР}, \quad (63)$$

где « $C_O$  – цена закупаемого оборудования (без НДС), тыс. руб.;

$T_{TP}$  – транспортные расходы по доставке закупаемого оборудования, тыс. руб.;

$K_{СМР}$  – затраты на выполнение электромонтажных работ» [4], определяемые в ценах 2023 года, тыс. руб.

«Стоимость электромонтажных работ определяется как сумма прямых затрат, накладных расходов и плановых накоплений» [4], по формуле:

$$K_{СМР} = ПЗ + НР + ПН, \quad (64)$$

где «ПЗ – прямые затраты, тыс. руб.;

НР – накладные расходы, тыс. руб.;

ПН – плановые накопления, тыс. руб.» [21].

«Прямые затраты включают расходы на оплату труда (ЗП), расходы на эксплуатацию машин (ЭМ) и материальные ресурсы (МР), определяется по формуле» [4]:

$$ПЗ = ЗП + ЭМ + МР. \quad (65)$$

Стоимость СМР на реконструкцию системы внутреннего электроснабжения в ценах 2023 приведена в таблице 17. Сметная стоимость замены электрооборудования, включающая все монтажные работы и рассчитанная в текущих ценах за декабрь 2023 года, составляет 1 326 039 тысяч рублей, что является значительной инвестицией.

Таблица 17 – Стоимость СМР на замену электрооборудования

Элементы стоимости работ и оборудования	Стоимость в ценах за декабрь 2023 года, тыс. руб
Основная заработная плата	193809,5
Эксплуатация машин и механизмов	148359,7
Материальные ресурсы	97700,3
Транспортные расходы при монтаже	589,9
Накладные расходы	187600,4
Плановые накопления	146696,6
Итого СМР:	774756,4
Прочие расходы	243871,3
Резервные непредвиденные расходы	20450
Стоимость электрооборудования	275655,1
Транспортные расходы при доставке	11306,2
Итого	1326039

«Для каждого мероприятия, включенного в план реконструкции системы электроснабжения (РСЭ), необходимо провести тщательную оценку его экономической эффективности. В целях проведения такой оценки, в соответствии с методическими рекомендациями, необходимо определить статический срок окупаемости. Этот расчет будет выполнен с использованием следующей формулы» [25]:

$$T_{OK} = \frac{K_{отм}}{\Delta I_{отм}}, \quad (66)$$

где « $K_{отм}$  – единовременные капитальные вложения в РСЭ, руб.;

$\Delta I_{отм}$  – экономия текущих затрат от внедрения РСЭ, руб» [4].

Экономия текущих затрат от внедрения РСЭ:

$$\Delta I_{отм} = \Delta I_w - \Delta I_{ам} - \Delta I_{рээ}, \quad (67)$$

где « $\Delta I_w$  – стоимость энергии, сэкономленной в результате РСЭ, руб;

$\Delta I_{ам}$  – дополнительные амортизационные отчисления за счет внедрения средств РСЭ (10% от капиталовложений в РСЭ), руб;

$\Delta I_{рээ}$  – дополнительные издержки на ремонтно–эксплуатационное обслуживание средств РСЭ ( 5% от капиталовложений в РСЭ), руб»

[4].

$$\Delta I_w = T_{cp} \cdot \Delta W, \quad (68)$$

где « $T_{cp}$  – средний тариф на электроэнергию, руб./кВт·ч;

$\Delta W$  – экономия электроэнергии в год, кВт·ч/год» [4].

Средний тариф за электроэнергию определяем по выражению:

$$T_{cp} = \left( \frac{a \times 12}{T_{max}} + v \right) \times \left( 0,11 + 0,89 \times \frac{K_n}{K_b} \right), \quad (69)$$

где « $K_b$  – базисный курс рубля к доллару, равный 100 руб.;

$K_n$  – курс Национального банка РФ, равный 92 руб.;

$A$  – основная плата за мощность руб./кВт на один месяц, равный 6,4 руб./кВт;

$v$  – дополнительная плата за энергию, руб./кВт·ч» [4], равная 1,3 руб./кВт·ч.

$$T_{cp} = \left( \frac{6,4 \times 12}{5400} + 13,3 \right) \cdot \left( 0,11 + 0,89 \cdot \frac{92}{100} \right) = 7,4 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч.}$$

На основании расчетов экономия электроэнергии при замене системы освещения производственной базы составит 249000 кВт/год.

Экономия текущих затрат от внедрения реконструированной системы электроснабжения:

$$\Delta I_{отм} = 7,4 \cdot 249000 - 1326039 = 516561 \text{руб.}$$

Срок окупаемости РСЭ по (66):

$$T_{ок} = \frac{1326039}{516561} = 2,56 \text{года.}$$

Выводы по разделу 5.

Для помещения, в которых находятся механический и токарный цеха, выполнены расчеты, в результате которых определены трансформаторы цеховой подстанции, определена мощность компенсации реактивной мощности, выбраны кабели, автоматические выключатели, распределительные щиты. Определен срок окупаемости реконструкции системы электроснабжения, составивший 2,5 года.

## 6 Разработка автоматизированной системы контроля и учета электроэнергии

### 6.1 Разработка структурной схемы

Структурная схема разрабатываемой АСКУЭ приведена на рисунке 6.

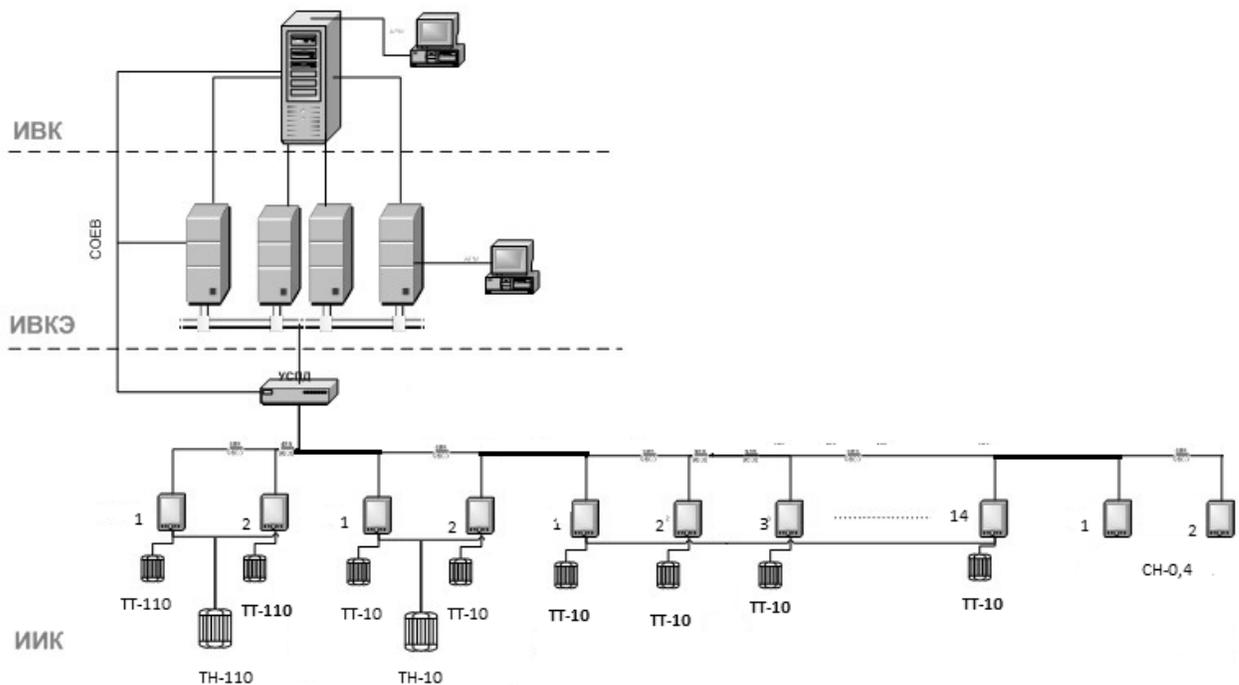


Рисунок 6 – Структурная схема АСКУЭ

«Иерархическая система АСКУЭ, показанная на рисунке 6, состоит из трёх основных уровня:

- ИИК – измерительно–информационный комплекс (уровень первичных измерительных приборов и устройства сбора и передачи данных – УСПД);

- ИВКЭ – информационно–вычислительный комплекс электроустановки (сбор и обработка данных на уровне объекта);
- ИВК – информационно–вычислительный комплекс (центр контроля и обработки данных);
- СОЕВ – система обеспечения единого времени» [15].

«Измерения электроэнергии выполняются на основе счетчиков через первичные преобразователи – трансформаторы тока и напряжения (для счетчиков трансформаторного включения). По принципу цифровой обработки входных аналоговых сигналов счетчик осуществляет измерение средних за период сети значений фазных напряжений, токов, активной и полной мощности по каждой фазе и производит вычисления потребленной активной и реактивной электроэнергии. Счетчики автоматически записывают в память измеренные величины (активной и реактивной энергии, интегрированной реактивной мощности) и отображают на встроенном дисплее основную и вспомогательную информацию» [15].

«УСПД осуществляет сбор данных об измерениях параметров со счетчиков по цифровому интерфейсу из промежуточных преобразователей линий связи. Полученные сведения обрабатываются и передаются в архив УСПД. Далее сведения передаются в вышестоящие уровни (ИВК)» [15].

## **6.2 Расчет вторичных цепей учета контрольных кабелей для вводов 10 кВ**

Выбирается трансформатор ТГФ–10 У1 со следующими данными:

- « $U_{\text{ном}} = 10$  кВ;
- $I_2 = 5$  А;
- $Z_{2\text{ном}} = 1,2$  Ом» [24].

«Общее сопротивление приборов» [24]

$$r_{\text{ПРИБ}} = \frac{S_{\text{ПРИБ}}}{I_2^2}, \quad (70)$$

$$r_{\text{ПРИБ}} = \frac{0,1}{5^2} = 0,004 \text{ Ом.}$$

«Допустимое сопротивление проводов» [24]

$$r_{\text{ПР}} = Z_{2\text{НОМ}} - r_{\text{ПРИБ}} - r_{\text{К}}, \quad (71)$$

$$r_{\text{ПР}} = 1,2 - 0,004 - 0,05 = 1,146 \text{ Ом.}$$

«Применяется кабель с медными жилами, длина 90 м, трансформаторы тока соединены в полную звезду, поэтому  $l_{\text{РАСЧ}} = l$ , тогда сечение соединительных проводов» [24]

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{РАСЧ}}}{r_{\text{ПР}}}, \quad (72)$$

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{РАСЧ}}}{r_{\text{ПР}}} = \frac{0,0175 \cdot 90}{1,146} = 1,37 \text{ мм}^2$$

Принимаем контрольный кабель КВВБГ с жилами сечением 2,5 мм<sup>2</sup>.

### **6.3 Выбор типов электросчетчиков и устройства сбора и передачи данных**

Предусматривается «установка счетчиков:

- на панели учета в помещении щита управления для присоединений 10 кВ;
- на присоединениях ЗРУ–10 кВ счетчики устанавливаются на внешней стороне ячеек ЗРУ–10 кВ;

– счётчики присоединений 0,4 кВ размещаются на щите собственных нужд» [3].

Используем счетчики «модели СЭТ–4ТМ.03М.03 с классом точности 0,5S для точного учета электроэнергии, как на вводах 10 кВ (Т–1 и Т–2), так и на вводах 0,4 кВ ТСН» [3].

Для обеспечения надежного контроля за электроэнергией на отходящих кабелях напряжением 10 кВ применяются приборы учета Меркурий 233ART с классом точности 0,5.

При выборе прибора для сбора и мониторинга данных отдаётся предпочтение модели ЭКОМ–3000М [6].

Связь между счетчиками и системой УСПД организована с использованием интерфейса RS–485, «предназначенного для эффективного взаимодействия нескольких приборов и системы УСПД. Один интерфейс RS–485 может обслуживать до 32 аппаратов в режиме реального времени.

Счетчики модели СЭТ–4ТМ.03.08 предназначены для измерения и тарифного учета различных видов энергии, а также для ведения базы данных профиля мощности с настраиваемым интервалом интеграции для фиксации пиков мощности. Они также предоставляют возможность измерения параметров трехфазной системы и качества потребляемого энергетического ресурса» [6]

Внешний вид счетчика СЭТ–4ТМ.03.08 показан на рисунке 7.

«Технические особенности счетчиков СЭТ–4ТМ.03.08:

- 2 независимых равно приоритетных цифровых интерфейса RS–485, и оптический интерфейс (ГОСТ Р МЭК 61107–2001);
- 4 конфигурируемых изолированных испытательных выхода.
- 2 конфигурируемых цифровых входа;
- цифровая обработка сигналов;
- встроенный тарификатор» [22].



Рисунок 7 – Внешний вид прибора учета СЭТ-4ТМ.03.08

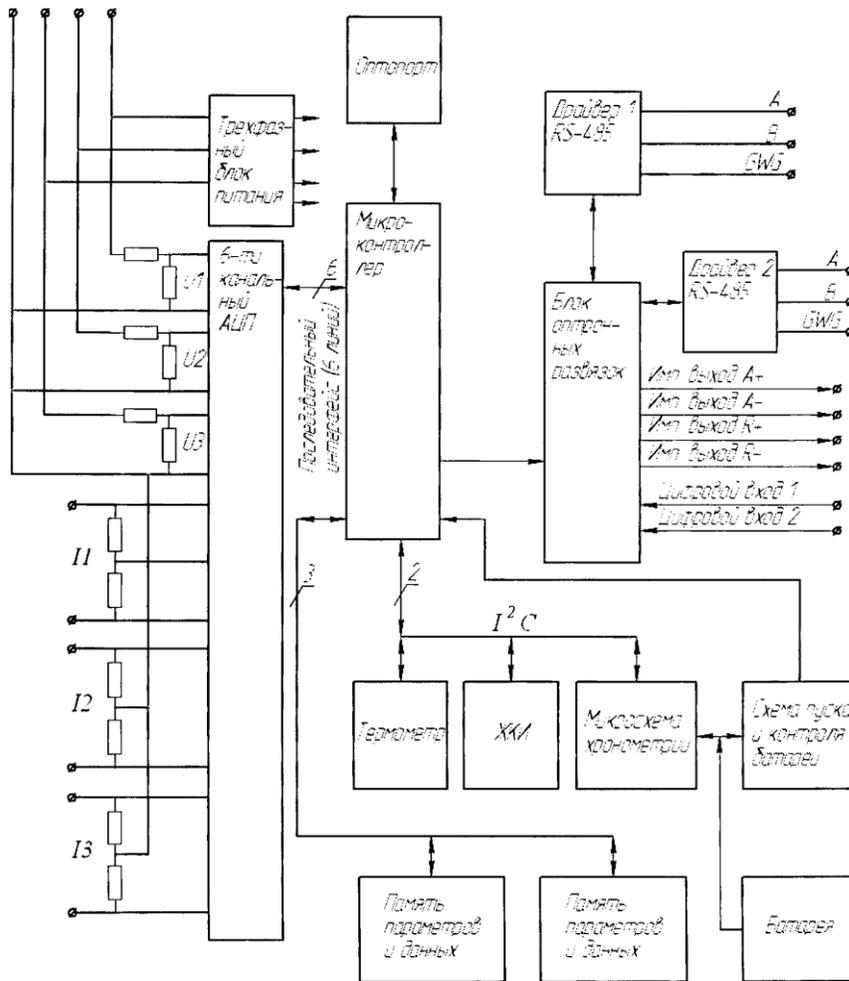


Рисунок 8 – Схема устройства управления счетчика СЭТ-4ТМ.03.08

«Сертификаты и соответствия:

- соответствие ГОСТ Р 52323–2005;
- соответствие ГОСТ Р 52423–2005;
- протокол соответствия № РОСС RU.Ai174.B 15063;
- сертификат RU.C.34.01 1.A № 30225.

Схема подключения прибора учета к трехфазной 3– х проводной или 4– х проводной сети с помощью трех статических преобразователей энергии и 3 трансформаторов тока показаны на рисунке 9, параметры – в таблице 18» [22].

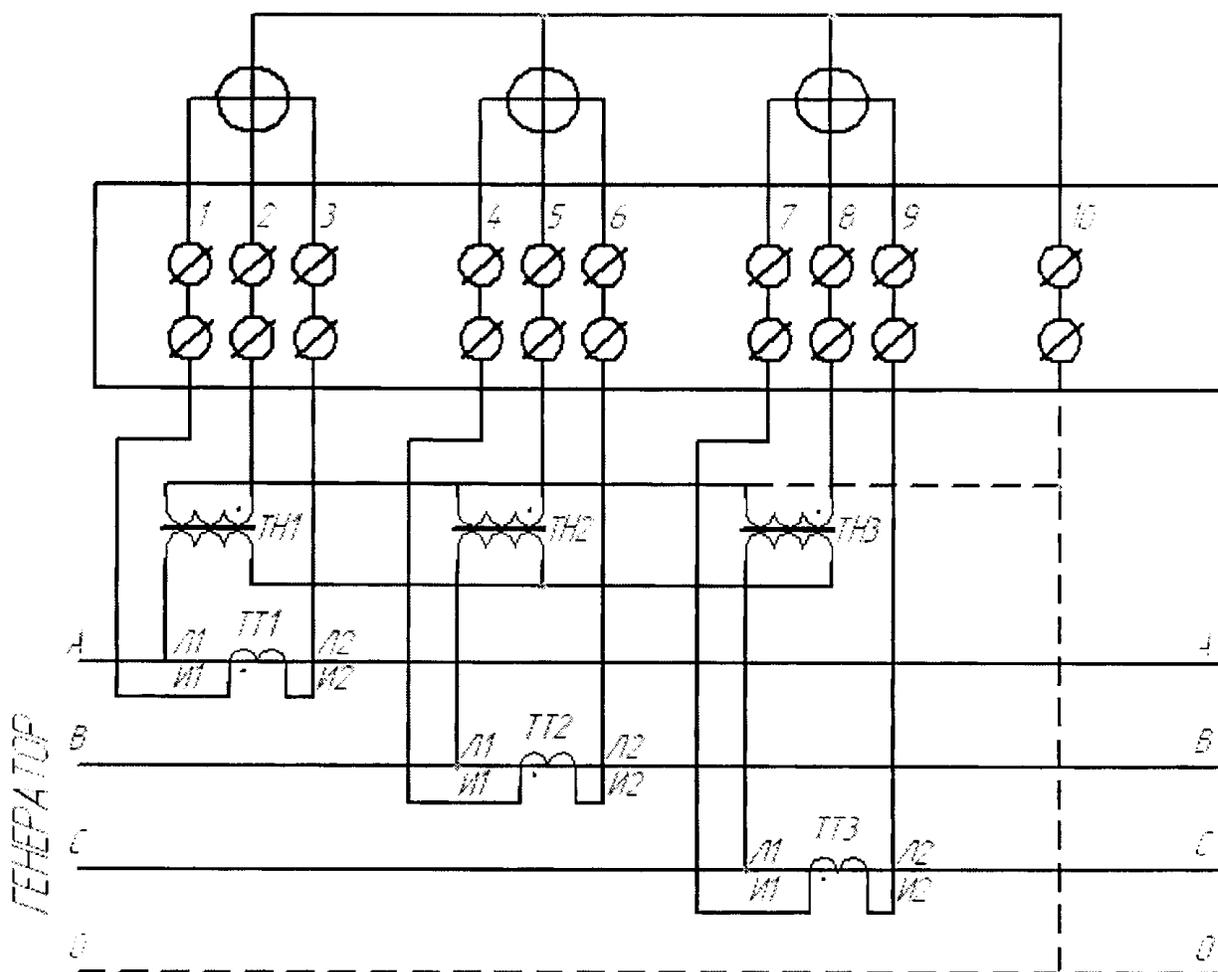


Рисунок 9 – Схема подключения прибора учета СЭТ–4ТМ.03.08

На индикаторе счетчика «можно измерять и отображать:

- активную, реактивную и полную мгновенную мощность коэффициентов трансформации по напряжению и току, как по каждой фазе, так и суммарную по трем фазам
- коэффициент мощности по каждой фазе и суммарный по трем фазам;
- частоту сети;
- текущее время и дату;
- температуру внутри счетчика;
- фазное напряжение и ток по каждой фазе;
- коэффициента искажения синусоидальности кривой фазного напряжения» [22].

«Счетчик включает в свой функционал архив энергии и профиль мощности потребителей, осуществляя учет энергетических потерь, которые могут быть учтены как с положительным, так и с отрицательным знаком в зависимости от точек измерения и учета.

Знак учета потерь энергии определяется относительно расположения точек измерения и учета, что отражено на рисунке 10, представляющем схему замещения для измерения и расчета мощности потерь» [22].

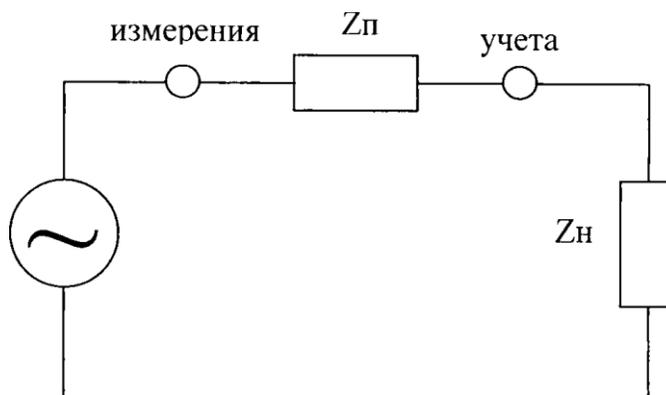


Рисунок 10 – Схема измерения и вычисления мощности потерь

Выбор устройства для сбора и передачи данных (УСПД) играет ключевую роль «в процессе автоматизации систем электроснабжения, поскольку от этого выбора зависит эффективность и надежность операций. В данном контексте был принят решение в пользу контроллера ЭКОМ–3000М, который представляет собой новую модель в линейке продуктов ЭКОМ–3000. Этот контроллер специализируется на выполнении коммерческого учета энергии и энергоносителей, обладает модульной конфигурацией и совместим с промышленными компьютерами IBMPC. Он осуществляет сбор данных, их обработку, архивирование и отображение измерительной информации, что делает его эффективным инструментом для обеспечения диспетчерского контроля и управления системой» [20]. Внешний вид УСПД ЭКОМ–3000М представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Передняя панель УСПД типа ЭКОМ–3000М

«Функциональные возможности ЭКОМ–3000М – производит измерение, обработку, архивирование, отображение данных на дисплее, отображение и передачу измерительной и расчетных данных на сервер опроса. Программное обеспечение «Тест 3000М» обеспечивает тестирование УСПД, просмотр

текущих и архивных значений параметров, журнала событий УСПД. Использование клавиатуры и дисплея в составе УСПД позволяет осуществлять контроль с УСПД, измерительной и обрабатываемых данных. Наличие встроенного сторожевого таймера предоставляет перезапуск рабочей программы в случае компьютерных явлений УСПД» [22].

Устройство синхронизации времени.

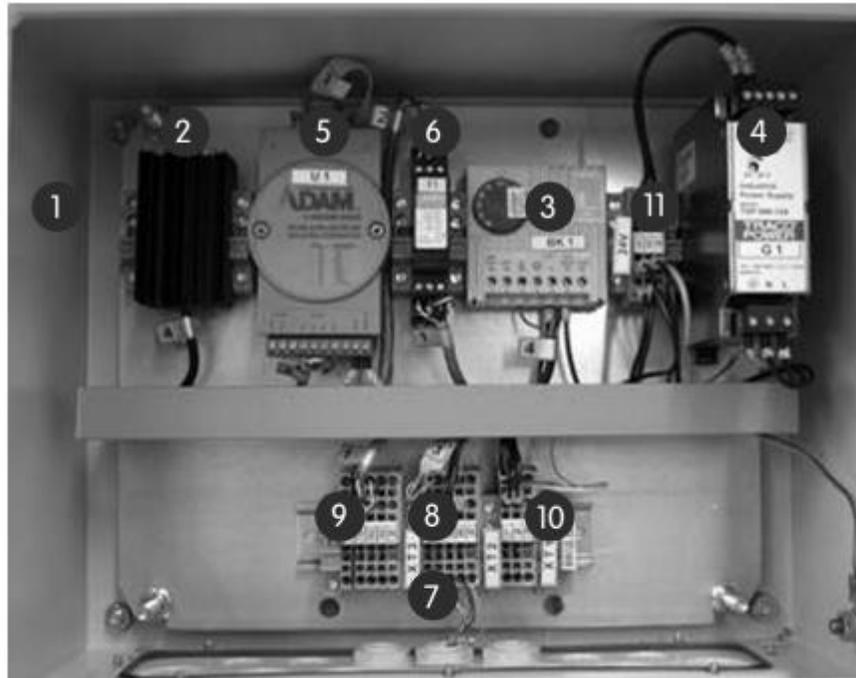
В качестве «устройства синхронизации системного времени в работе берем устройства синхронизации времени УССВ–35LVS (выполнен на основе GPS35– LVS), которое представляет собой элементы СРВ – системы, составляющие единое целое с антенной. УССВ состоит из GPS–приемника [29], антенны, источника питания и пластикового корпуса, позволяющем монтировать его в шкафы. Приемник выполняет следующие функций:

- прием информации от двенадцати спутников одновременно;
- выдача данных по интерфейсу RS–485» [22].

Внешний вид и вид на печатную плату УССВ – 35LVS представлен на рисунках 12 и 13.



Рисунок 12 – Внешний вид УССВ – 35LVS



- |                                   |                           |
|-----------------------------------|---------------------------|
| 1 Компактный шкаф                 | 7 Кабель GPS 16HVS        |
| 2 Нагреватель                     | 8 Клеммник УССВ           |
| 3 Термостат                       | 9 Клеммник RS-485         |
| 4 Источник питания +24В           | 10 Клеммник питания ~220V |
| 5 Конвертор интерфейсов           | 11 Клеммник 24V           |
| 6 Защита от перенапряжений RS-485 |                           |

Рисунок 13 – Внутренний вид УССВ – 35LVS

Для обеспечения связи между счетчиком и устройством сбора и передачи данных (УСПД) используется отдельная линия связи, которая реализована на базе интерфейса RS–485 и использует кабель «витая пара» [21].

Системы автоматизированного сбора и контроля учета энергоресурсов (АСКУЭ) могут варьировать свои варианты связи в зависимости от контекста:

«Основной канал связи часто организуется через выделенную телефонную линию ГТС.

Резервный канал связи часто представлен сотовой связью.

Для Ethernet–связи между УСПД и рабочим местом оператора на пункте сетевого контроля и управления энергосистемой используется экранированный кабель «витая пара» пятой категории.

Аппаратная часть вычислительной техники, которая обеспечивает анализ, долгосрочное хранение и архивирование данных с энергообъекта, включает следующие компоненты:

- сервер информации, размещенный в диспетчерском пункте;
- рабочее место оператора на пункте сетевого контроля и управления энергосистемой;
- компьютер с монитором и принтером;
- источник бесперебойного питания;
- переносной компьютер (ноутбук), предназначенный для мобильного использования» [21].

#### **6.4 Выбор поставщика программного обеспечения «верхнего уровня» АИИС КУЭ**

В интернете большое количество положительных отзывов оставлено на сайте компании ENSYS TECHNOLOGIES [28].

«Компания ENSYS TECHNOLOGIES, предлагает полный комплекс услуг по созданию и модернизации автоматизированных информационно–измерительных систем коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ). Обладая необходимым научно–техническим потенциалом Энсис Технологии, еще на стадии формирования ОПЭ по заказу РАО «ЕЭС России» разработала «Концепцию АСКУЭ конкурентного оптового рынка

электроэнергии», впоследствии реализовав самый масштабный в России проект по внедрению автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии ОАО «ФСК ЕЭС», охватывающий более 145 подстанций напряжением 330 кВ и выше. При реализации данного проекта Энсис Технологии осуществляла функции генерального подрядчика, проектирование, поставку, монтаж и наладку оборудования» [22].

«ENSYS TECHNOLOGIES поддерживает партнерские отношения с подрядными организациями во всех регионах Российской Федерации и ближнего зарубежья, что гарантирует оперативное решение задач различной сложности и масштаба в области автоматизации систем сбора и учета энергоресурсов.

Компания имеет эксклюзивные соглашения с ООО «Эльстер Метроника» и ЗАО ИТФ «Системы и технологии» на поставку приборов учета, что обеспечивает возможность предложения оборудования для реализации проектов автоматизированных систем коммерческого учета энергии на наиболее выгодных условиях для заказчика» [22].

ENSYS TECHNOLOGIES располагает значительными ресурсами и опытом для успешного согласования документации по автоматизированным системам учета энергоресурсов в соответствующих сертификационных органах

Выводы по разделу 6.

Составлена структурная схема автоматизированной системы учёта, подобрано необходимое технологическое оборудование, основным из которых являются счетчики электрической энергии, трансформаторы тока и напряжения, управляющий контроллер.

## Заключение

В представленной выпускной квалификационной работе разработана система электроснабжения предприятия по производству сельскохозяйственной техники.

В первом разделе проведен анализ системы электроснабжения ООО НТП «Поиск» позволяет сделать вывод, что для обеспечения требуемого II уровня показателя надежности электроснабжения необходимо провести ее модернизацию, применить два независимых источника электропитания, заменить устаревшее оборудование на современное.

В разделе номер два выполнен расчет электрических нагрузок производственного помещения, в котором расположен механический и токарный цеха. Электрические потребители рассматриваемого помещения объединены в 4 группы. Для каждой группы определены токи расцепителей. Суммарная номинальная мощность потребителей составляет 137 кВт.

В результате выполнения раздела номер три, была спроектирована система освещения, подобраны светодиодные светильники, расчетом определено их количество – 30 штук. Выполнена планировка расположения светильников на плане помещения. Выбрано сечение и марка проводов, определены тип и защитная характеристика автоматических выключателей ВА51–25, установленных в цепи питания светильников.

В разделе номер четыре, выбраны силовые трансформаторы и компенсаторы реактивной мощности. Для электроснабжения ООО НТП «Поиск» выбраны четыре трансформатора марки ТМ–630, изготовленные компанией «Электро–Щит» в городе Самара. Трансформаторы будут установлены в двух трансформаторных подстанциях ТП1 и ТП2, по два трансформатора в каждой КТП. Высокое расчетное значение реактивной мощности показало рациональность использования компенсатора реактивной

мощности. В результате расчета для потребителей 0,4 кВ выбрана конденсаторная установка типа УКРМ–0,4–125–7,5–У3 производства компании ООО НПО «Промэлектроавтоматика».

В разделе номер пять рассчитано и выбрано основное электротехническое оборудование. Для помещения, в которых находятся механический и токарный цеха, выполнены расчеты, в результате которых определены трансформаторы цеховой подстанции, определена мощность компенсации реактивной мощности, выбраны кабели, автоматические выключатели, распределительные щиты. Определен срок окупаемости реконструкции системы электроснабжения, составивший 2,5 года.

В разделе номер шесть составлена структурная схема автоматизированной системы учёта, подобрано необходимое технологическое оборудование, основным из которых являются счетчики электрической энергии, трансформаторы тока и напряжения, управляющий контроллер.

## Список используемых источников

1. Выбор автоматического выключателя [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Качественная электротехническая продукция»: URL: [https://electromirbel.ru/vybor\\_avtomaticheskogo\\_v](https://electromirbel.ru/vybor_avtomaticheskogo_v) (дата обращения: 12.04.2024).
2. Критерии выбора автоматических выключателей [Электронный ресурс] официальный сайт компании «Честная позиция»: URL: <https://www.fairp.ru/post/kriterii-vibora-avtomaticheskikh-viklyuchatelei> (дата обращения: 10.04.2024)
3. Методические указания по выполнению выпускных квалификационных работ в Тольяттинском государственном университете [Электронный ресурс] / URL: <https://edu.rosdistant.ru/> (дата обращения 15.01.2024).
4. Оценка экономической эффективности проектов модернизации электроэнергетических объектов [Электронный ресурс] : URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=34313> (дата обращения: 20.04.2024).
5. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) : 7–е изд–е. [Электронный ресурс] : URL: <https://www.ruscable.ru/info/pue/pue7.pdf> (дата обращения: 08.04.2024)
6. Прайс–лист оборудование построение автоматизированных систем учета энергоресурсов, контроля и управления технологическими процессами. Группа компаний Системы и Технологии. Базовые цены на оборудование [Электронный ресурс] / URL: <http://www.sicon.ru/about/> (дата обращения 15.03.2024).
7. Приказ Минэнерго РФ от 22.03.2011 N 86 «Об утверждении Методических рекомендаций по техническим характеристикам систем и приборов учета электрической энергии на основе технологий интеллектуального учета» [Электронный ресурс] / URL: <https://base.garant.ru/55171735/> (дата обращения 18.01.2024).

8. Расчет и выбор распределительных шкафов и шинопроводов [Электронный ресурс] : информационный ресурс «StudFiles»: URL: <https://studfile.net/preview/1966479/page:7/> (дата обращения: 14.04.2024).

9. Расчет и выбор электрооборудования освещения сборочного участка цеха [Электронный ресурс] / URL: [https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/20439/1/RSVPU\\_2017\\_409.pdf](https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/20439/1/RSVPU_2017_409.pdf) (дата обращения 20.01.2024).

10. Расчет МТЗ трансформатора 10/0,4 кВ [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Проект РЗА»: URL: <https://pro-rza.ru/raschet-mtz-transformatora-10-0-4-kv/> (дата обращения: 15.04.2024).

11. Расчет осветительной сети на минимум проводникового материала [Электронный ресурс] : URL: <https://studfile.net/preview/4293304/page:9/> (дата обращения: 02.04.2024)

12. Расчет освещенности [Электронный ресурс] : Информационный ресурс «Световые технологии». URL: <https://www.ltcompany.com/ru/solutions/illumination-calculator/>. (дата обращения: 01.04.2024)

13. Расчет освещенности для помещений [Электронный ресурс] / информационный ресурс «Мир Света». URL: <https://www.msveta.ru/advice/raschet-osveshchennosti-dlya-pomeshcheniy.html> (дата обращения 27.01.2024).

14. Расчет сечения кабеля: зачем он необходим и как правильно выполнить [Электронный ресурс] официальный сайт компании «Бонком»: URL: <https://www.boncom.by/papers/raschet-secheniya-kabelya> (дата обращения: 09.04.2024)

15. Расчет силового трансформатора [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Radiocon.Net»: URL: <https://radiocon-net.narod.ru/page10.htm> (дата обращения: 11.04.2024)

16. Расчет токовой отсечки [Электронный ресурс] : URL: <http://www.likeproject.ru/article.php?cont=long&id=64> (дата обращения: 16.04.2024).

17. Расчет электрических нагрузок методом упорядоченных диаграмм [Электронный ресурс] / информационный ресурс «Energy–Systems». URL: <https://energy-systems.ru/main-articles/proektirovanie-elektriki/1836-raschet-jelektricheskikh-nagruzok-metodom-uporjadochennyh-diagramm> (дата обращения 17.01.2024).

18. Рекомендации по выбору компенсирующего устройства [Электронный ресурс] официальный сайт электротехнического завода «СлавЭнерго»: URL: <https://slavenergo.ru/ukrm> (дата обращения: 11.04.2024)

19. Реле максимального тока [Электронный ресурс] : информационный ресурс «Школа для электрика»: URL: <https://electricalschool.info/spravochnik/apparaty/1313-rele-maksimalnogo-toka.html> (дата обращения: 17.04.2024).

20. Руководство по эксплуатации ИЛГШ.411152.145РЭ. Счетчики электрической энергии многофункциональные СЭТ–4ТМ.03М, СЭТ–4ТМ.02М. Нижегородский завод имени М.В.Фрунзе, 2017. – 91 с. [Электронный ресурс] : URL: [https://nauchforum.ru/files/2017\\_01\\_16\\_teh/1%282%29.pdf](https://nauchforum.ru/files/2017_01_16_teh/1%282%29.pdf) (дата обращения: 20.04.2024).

21. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок.– Вологда: Инфра–Инженерия, 2019. 464 с.

22. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно–коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777) [Электронный ресурс] / URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293747/4293747646.htm> (дата обращения 18.01.2024).

23. ТМ 630 кВА 6(10) 0,4 кВ трансформатор [Электронный ресурс] / официальный сайт «ЭлТехКом». URL: <https://eltexkom.com/tm-630-610-04-transformator/> (дата обращения 07.03.2024).
24. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения. – М.: Лань, 2019. 480 с.
25. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений [Электронный ресурс] / информационный ресурс «СибАДИ». URL: [https://portal.sibadi.org/pluginfile.php/170513/mod\\_folder/content/0/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%2012.pdf?forcedownload=1](https://portal.sibadi.org/pluginfile.php/170513/mod_folder/content/0/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F%2012.pdf?forcedownload=1) (дата обращения 27.01.2024).
26. David MacKay's. Understanding energy use and technology. By Bill Gates. January 15, 2020
27. Emergency lighting. Our products [electronic resource] / URL: <https://www.etaplighting.com/en/emergency-lighting> (дата обращения 15.04.2024).
28. ENSYS TECHNOLOGIES [electronic resource] / URL: <https://fr.linkedin.com/company/enensys-technologies> (дата обращения 18.04.2024).
29. GPS Receivers [electronic resource] / URL: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS\\_Receivers](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/GPS_Receivers) (дата обращения 17.03.2024).
30. Lighting the way to enhanced workplace productivity [electronic resource] / URL: <https://www.linkedin.com/pulse/lighting-way-enhanced-workplace-productivity-fagerhult-uk-wst0c> (дата обращения 15.03.2024).