

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 Модернизация системы освещения в здании пуско-отопительной котельной
филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»

Обучающийся

И.Н. Таран

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Целью работы является приведение сети освещения в здании ПОК-1 требуемым стандартам по освещённости, в снижении финансовых расходов на замену и плановое обслуживание приборов освещения, снижении рисков травмирования персонала. Задачей работы является проведение анализа исходных данных по электроснабжению котельной ПОК-1 и после полученных данных выполнить рабочую документацию по модернизации сети освещения в здании пуско-отопительной котельной ПОК-1.

Данная выпускная квалификационная работа описывает работы по модернизации сети освещения в здании пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовской ГРЭС» ПАО «Юнипро».

Актуальность данной темы обусловлена тем, что износ старой сети освещения в здании ПОК-1, ухудшение качества освещённости территории, увеличенное энергопотребление, по сравнению с современным осветительным оборудованием, требует модернизации всей сети освещения в здании ПОК-1.

В работе выполнен анализ действующей сети освещения в здании пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовской ГРЭС» ПАО «Юнипро», выполнены необходимые расчёты, подобраны современные типы осветительного оборудования, необходимые электрические аппараты.

В процессе выполнения данной работы были изучены основные требования по проектированию сети освещения для предприятий, проведён экономический расчёт. В работе так же рассмотрены организационные мероприятия для безопасного производства работ по модернизации сети освещения.

Содержание

Введение	4
1 Анализ исходных данных по электроснабжению котельной	6
1.1 Характеристика здания пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»	6
1.2 Расчет электрических нагрузок освещения	11
1.3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов	12
1.4 Характеристика системы электроснабжения и сети освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»	13
1.5 Требования, предъявляемые к системам освещения объектов энергетики.....	17
2 Разработка проекта модернизации сети освещения объекта	20
2.1 Модернизация сети освещения объекта.....	20
2.2 Выбор и расчет электрических аппаратов и проводников	22
2.3 Выбор основного электрооборудования и его проверка	27
2.4 Расчёт токов короткого замыкания	32
2.5 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	43
Заключение	47
Список используемой литературы и используемых источников	49

Введение

В данной работе рассматривается модернизация сети освещения в здании котельной ПОК-1 филиала «Берёзовской ГРЭС» ПАО «Юнипро», основная задача которой состоит в предоставлении услуг населению города Шарыпово по отпуску тепла, а также организации пусковых операций энергоблоков Берёзовской ГРЭС. Однако, чтобы обеспечить эффективную работу и безопасность энергоблоков Берёзовской ГРЭС, требуется модернизация сети освещения в здании пуско-отопительной котельной ПОК-1. Поэтому, основная задача данной работы заключается в рассмотрении этого вопроса в подробностях.

Модернизация сети освещения в здании пуско-отопительной котельной Берёзовской ГРЭС не только повысит энергосбережение систем освещения, но и принесет другие выгоды. Во-первых, это снизит себестоимость производимой продукции, что позволит филиалу «Берёзовская ГРЭС» быть более конкурентоспособным на рынке. Во-вторых, это повысит уровень безопасности в области безопасности труда, что является приоритетом для любой организации.

Осуществление модернизации сети освещения требует проведения ряда мероприятий. Во-первых, необходимо провести анализ текущей системы освещения и выявить ее недостатки. Затем, на основе полученных результатов, разработать план модернизации, который будет включать в себя замену устаревшего оборудования, установку энергоэффективных и автоматизированных систем освещения, а также оптимизацию распределения света внутри здания.

В итоге, модернизация сети освещения в здании пуско-отопительной котельной Берёзовской ГРЭС будет являться важным шагом в развитии филиала «Берёзовская ГРЭС», позволяющим совмещать эффективность работы с энергосбережением и повышением уровня безопасности. Это позволит обеспечить надежное и безопасное функционирование энергоблоков

и удовлетворить потребности населения города Шарыпово в обеспечении теплом.

Целью данной работы является разработка рабочей документации на модернизацию сети освещения в здании ПОК-1 «Берёзовской ГРЭС».

Актуальность данной темы заключается в необходимости модернизации сети освещения в здании пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовской ГРЭС» ПАО «Юнипро», что позволит улучшить общее состояние по освещённости оборудования и рабочих мест персонала, повысит безопасность персонала при проведении обходов рабочих мест и организации труда при выполнении служебных обязанностей.

Объектом исследования в данной работе является система электроснабжения в здании ПОК-1 «Берёзовской ГРЭС».

Предметом для исследования в данной работе является электрическая схема питания сети освещения ПОК-1 и электрические аппараты системы освещения в здании ПОК-1 «Берёзовской ГРЭС».

Для реализации поставленной цели необходимо решить основные задачи:

- выполнить анализ исходных данных по электроснабжению котельной ПОК-1, расчёт электрических нагрузок освещения. Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов, расчёт токов короткого замыкания, выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников, выбор основного электрооборудования и его проверка;
- разработать мероприятия в области охраны здоровья и безопасности труда при выполнении работ в системе электроснабжения пуско-отопительной котельной ПОК-1 «Берёзовской ГРЭС», а именно, электробезопасности, пожарной и экологической безопасности;
- разработать рабочую документацию сети освещения в здании пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовской ГРЭС» ПАО «Юнипро». Рассчитать экономический эффект.

1 Анализ исходных данных

1.1 Характеристика здания пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»

Объект модернизации (здание пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро») построено из железобетонных монтажных блоков на территории возле угольного склада «Берёзовской ГРЭС».

В ПОК-1 размещены водогрейный котёл КВГМ-100 ст. №2 для покрытия тепловых нагрузок в пиковом режиме, во время остановки энергоблоков и паровые котлы ГМ-50 ст. №3-8 для пусковых операций на энергоблоках №1, 2 и 3 (котёл №1 демонтирован), вспомогательное оборудование.

Со стороны постоянного торца расположены помещения с поэтажным размещением обслуживающего персонала основных цехов (КТЦ, ЭЦ, цех АСУ ТП), на 1 этаже расположены КРУ-6 кВ и РУСН-0,4 кВ.

В котельной ПОК-1 используется сеть переменного тока с промышленной частотой 50Гц и напряжением 380/220 В. Освещённость помещений достигает 150 Лк.

Здание пуско-отопительной котельной эксплуатируется с 1984 года, соответственно требует модернизации всей сети электроснабжения.

В плане надёжности электроснабжения, пуско-отопительная котельная ПОК-1 является ответственным зданием в системе электроснабжения БГРЭС, и значит относится к первой категории надёжности потребителей [14].

При модернизации сети освещения необходимо определить тип осветительных приборов, источников света, марки провода и защитных аппаратов.

В здании пуско-отопительной котельной ПОК-1 Берёзовской ГРЭС находятся различные помещения, основные параметры которых приведены в таблице 1:

- котельное отделение – это крупнейшая часть здания, занимающая площадь 2100 м², где осуществляется технологический процесс, в котельном отделении расположено 8 котлов двух типов (КВГМ-100 и ГМ-50);
- помещения для персонала, где сотрудники выполняют свои служебные задачи, включая ведение документации, наблюдение за оборудованием, допуск бригад по нарядам-допускам и распоряжениям к проведению ремонтных работ, оформление инструктажей и контроль состояния оборудования с помощью автоматизированных рабочих мест;
- пост охраны, который обеспечивает круглосуточную безопасность помещений с использованием системы видеонаблюдения и контроля доступа. Вход на объект осуществляется строго по пропускам через систему контроля и учёта доступа СКУД;
- производственные помещения – выполняют важные функции, которые зависят от назначения и установленного в них оборудования. В данный тип помещений входят узел подпитки теплосети, теплообменное оборудование и насосное оборудование;
- помещения для электрооборудования КРУ-6 кВ, предназначенные для электроснабжения технологического процесса (питание трансформаторов 6/04 кВ и тягодутьевых механизмов, дымососов и дутьевых вентиляторов, а также РУСН-0,4кВ для обеспечения электроснабжения двигателей различных насосов, приточно-вытяжной вентиляции, внутреннего рабочего и аварийного освещения.

«Все помещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» соответствуют стандартам электрической, пожарной и

экологической безопасности [9], а также строительным нормам и правилам, определённым официальными документами и актами» [5,12,13,14,15].

В таблице 1 представлен полный список помещений пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» с указанием площади каждого из помещений.

Таблица 1 – Перечень помещений пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»

Номер помещения по плану	Наименование помещения	Площадь помещения, м ²
1	Котельное отделение	240
2	Пост охраны	12
3	ГРЦУ-1	24
4	Помещение ХВО	27
5	Тамбур	16
6	Мастерская	12
7	КРУ-6 кВ и РУСН 0.4 кВ с.76Н, 79Н	18
8	Кабинет лаборатории	5

План расположения помещений пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» представлен в работе на графическом листе 1.

Перечень мероприятий по экономии электроэнергии.

В работе были предусмотрены различные мероприятия по сокращению потребления энергии. Для обеспечения освещения помещений в здании ПОК-1 были использованы энергоэффективные технологии, применены светодиодные светильники.

В электротехнической части работы были приняты следующие мероприятия для экономии электрической энергии: шкафы электропитания были размещены в центре электрических нагрузок, а выбор сечения питающих линий был основан на допустимой потере напряжения и трассы электросетей были проложены по кратчайшим путям.

Перечень мероприятий по заземлению.

«В соответствии с требованиями ПУЭ п.1.7.32 и п.1.7.39, для защиты людей от поражения электрическим током при повреждении изоляции все металлические нетоковедущие части электроустановок в нормальном режиме, не находящиеся под напряжением, подлежат заземлению. Система заземления принята TN-C-S – система TN, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены в одном проводнике в какой-то ее части, начиная от источника питания до ввода в здание, такую систему возможно расщепить на проводник N и проводник PE. После расщепления такая система требует повторного заземления» [5].

Повторное заземление металлических корпусов питающих распределительных щитов ЩО (КО), ЩО (РУ), АВР ЩАО (РУ), АВР ЩАО (КО), ЩАО (КО) выполняется путем соединения перемычек из желто-зеленого провода ПуГВ 1×16 с существующей горячеоцинкованной полосой 40×4. Повторное заземление металлических корпусов групповых распределительных щитов выполнить путем соединения перемычек из желто-зеленого провода ПуГВ 1×16 с существующей горячеоцинкованной полосой 40×4.

Повторное заземление лотков выполняется с двух сторон участка трассы путем соединения перемычек из желто-зеленого провода ПуГВ 1×4 с существующей горячеоцинкованной полосой 40×4.

В местах установки телескопических расширителей для термокомпенсации лотков 100×50 на котлах, выполнить соединение лотков медной перемычкой из провода ПуГВнг(А)-LS 1×4 и двух кабельных наконечников ТМЛ 4.

«В качестве заземляющих и РЕ-проводников следует использовать проводники, специально предназначенные для этой цели. Использование металлических конструкций зданий, конструкций производственного назначения, стальных труб электропроводки, металлических оболочек кабелей и т.п. в качестве заземляющих и РЕ-проводников не допускается.

Электрические сети рабочего и аварийного освещения предусматривается прокладывать в лотке. Прокладка линии питания систем освещения рабочего освещения и аварийного освещения выполнена в разных отсеках коробов и лотков, имеющих сплошные продольные перегородки с пределом огнестойкости не менее 0,25 ч из негорючего материала.» [15].

Описание системы рабочего и аварийного освещения.

В соответствии с действующими нормативными документами, кабельные трассы для рабочего и аварийного освещения прокладываются отдельно. Для обеспечения искусственного освещения учитываются три вида:

- рабочее,
- аварийно-резервное,
- эвакуационное.

Электрическое освещение работает при напряжении сети 380/220В. Параметры, такие как количество и тип светильников, способ прокладки кабеля, степень защиты, класс безопасности от поражения током, и напряжение питания, выбраны с учетом характеристик помещений (влажность, опасность взрыва и пожара).

Для данного типа помещения установлены нормируемые значения освещенности, которые соответствуют характеру зрительных работ, согласно таблице №4.1 из СП52.13330.2016. Также был проведен светотехнический расчет.

Нормы освещенности и типы светильников были выбраны с учетом технологического назначения помещений, окружающей среды и категоричности по ПУЭ гл. 7.3.

Для освещения использовались светильники с светодиодными лампами, которые зарекомендовали себя как безопасные, надёжные и эффективные [9].

Управление рабочим освещением осуществляется с помощью группового щитка и выключателей, установленных на высоте 1500 мм.

Управление аварийным освещением осуществляется через групповой щиток, расположенный на высоте 1500 мм. Аварийно-резервное освещение

всегда включено одновременно с основным освещением. Для эвакуационного освещения выбраны светодиодные светильники с аварийными блоками питания. Время автономной работы составляет 60 минут в соответствии с требованиями СП.256.1325800.2016 раздел 8.12.1.

1.2 Расчёт электрических нагрузок освещения

Расчеты электрических нагрузок линий 0,4 кВ выполнены согласно СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий правила проектирования и монтажа» [19].

«Для точного подбора проводников и электрических устройств в сети освещения ПОК-1, необходимо сначала оценить нагрузку магистральных щитков. Определение расчетной реактивной нагрузки магистральных щитков освещения объектов будет производиться по следующей формуле» [5]:

$$Q_{м.} = P_{м.} \times \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}, \quad (1)$$

где $P_{м.}$ – расчётная активная нагрузка

$\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент реактивной мощности выбранных источников света.

«Значение расчётной полной нагрузки магистральных щитков освещения объектов будет определяться по формуле» [5]:

$$S_{м.} = \sqrt{P_{м.}^2 + Q_{м.}^2}, \text{ кВА}. \quad (2)$$

Путем применения формулы [5] можно вычислить величину тока, необходимого для питания осветительных устройств на магистральных щитках.

$$I_{м.} = \frac{S_{м.}}{\sqrt{3}U_{ном.}}. \quad (3)$$

Суммарная мощность и количество электрооборудования внутреннего электрического освещения приведена в таблице №2.

Таблица 2 – Суммарная мощность и количество электрооборудования внутреннего электрического освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1

Исходные данные					Расчетная мощность			Расчетный ток, А I_p
Наименование ЭП	Кол-во ЭП, шт	Общая $P_H=nP_H$	Коэф. Спроса K_c	$\cos\varphi$	Активная кВт $P_p=\Sigma K_c \times P_H$	Реактивная, кВар $Q_p=\Sigma K_c \times P_H \times \tan\varphi$	Полная, кВА S_p	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ЩО (КО)	307	9,94	1	0,96	9,94	2,99	10,38	15,77
ЩАО (КО)	357	8,27	1	0,95	8,27	2,76	8,72	13,25
ЩО (РУ)	158	12,96	1	0,9	12,96	6,15	14,35	21,8
ЩАО (РУ)	113	3,89	1	0,95	4,25	1,4	4,47	6,79
Итого	935	35,06	1,00	0,94	35,42	13,30	37,83	57,61

1.3 Выбор и расчёт числа и мощности трансформаторов

Выбор числа и мощности трансформаторов производится исходя из следующих параметров:

- максимальной полной расчетной нагрузки,
- характерного суточного графика нагрузки,
- количество часов максимальной нагрузки,
- средней полной нагрузки.

При выборе силовых трансформаторов, важно использовать трансформаторы одинаковой мощности и марки. Рекомендуются также подбирать мощность трансформаторов таким образом, чтобы в случае

необходимости ремонта одного из них, другой трансформатор мог обеспечить надлежащее питание для потребителей различных категорий, а так же была возможность включения трансформаторов на параллельную работу [16].

В здании ПОК-1 расположено помещение РУСН-0,4 кВ с трансформаторами ТСЗСУ-1000/10, которые являются основным и резервным источником питания секций 0,4 кВ в схемах собственных нужд БГРЭС.

В РУСН-0,4 кВ ПОК-1 с.76Н-79Н установлено 4 трансформатора ТСЗСУ-1000/10 соответственно на каждую секцию с обеспечением бесперебойного электроснабжения и наличием резервного трансформатора, подключенного к шинам с.76Н-79Н с обеспечением АВР.

Учитывая, что для электроснабжения сети освещения ПОК-1 после модернизации потребуется 37,83 кВА, дополнительного подключения трансформаторов не требуется.

1.4 Характеристика системы электроснабжения и сети освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»

Для организации проработки схемы освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1, которая расположена на территории филиала «Берёзовская ГРЭС», необходимо отобразить детальное описание всей электроснабжающей системы ПОК-1. Вслед за тем требуется предоставить исходные данные по освещению до модернизации.

Изучив объект ПОК-1 и принимая во внимание требования по надежности, а также выбрав соответствующие схемы электрических соединений, можно заключить, что обеспечение электричеством собственных нужд является критически важным для функционирования системы освещения котельной.

«Ввиду того, что проектируемое сооружение относится к средневысокой мощности и первой категории надёжности, с потребителями особого класса,

было решено организовать питание от РУСН-0,4 кВ к ЩО по радиальной схеме с использованием двух пятижильных силовых кабелей типа ВВГнг-LS. В этом случае используется стандартная трёхфазная пятипроводная сеть TN-C-S» [8]. «На модернизируемом объекте для обеспечения энергией силовых потребителей предусмотрена установка силовых распределительных шкафов (СРШ), которые будут размещены вдоль стены в ряду А ПОК-1.» [13].

«Для обеспечения надежности и безопасности все СРШ подключены к шинам РУСН-0,4 кВ по радиальной схеме, что позволяет разделить группы потребителей котельной ПОК-1 по их технологическим функциям. В этой работе не рассматривается количество и расположение СРШ для питания электрических нагрузок котельной ПОК-1, так как силовые потребители не являются фокусом данного исследования. Поскольку почти все потребители являются трёхфазными, для их питания используются соответствующие устройства: трёхфазные автоматические выключатели и пятижильные кабели, организованные по сети TN-C-S.» [13].

Обоснование принятой схемы электроснабжения.

Проектные решения включают использование гибридной схемы электроснабжения для внутренних осветительных систем. Линии питания для рабочих и аварийных осветительных систем прокладываются в отдельных секторах коробов и лотков, оснащённых непрерывными продольными перегородками из негорючего материала с огнестойкостью не менее 0,25 часа.

«Автоматические выключатели на входе и выходе подбираются в соответствии с требованиями главы 3.1 Правил устройства электроустановок» [5]. Кабельные изделия имеют изоляцию, не поддерживающую горение, с пониженным выделением дыма и обмоткой проводника, выполняющей функцию термобарьерной защиты.

Для аварийного эвакуационного и резервного освещения используется общая распределительная сеть и комбинированные щитки. Групповые линии для аварийного резервного освещения выполнены с применением огнеупорного кабеля.

«Для защиты электрической силовой сети объекта от ненормальных режимов, таких как короткие замыкания и перегрузки, применяются автоматические выключатели. Эти устройства классифицируются в зависимости от места их установки в системе электроснабжения:

- трёхфазные автоматические выключатели в РУСН-0,4 кВ используются для питания и защиты отходящих присоединений собственных нужд и сети освещения;
- трёхфазные автоматы для ввода ЩО предназначены для защиты и управления распределительными щитами, а также подключенными к ним группами потребителей;
- трёхфазные линейные автоматы используются для защиты и управления конечными потребителями в осветительных сетях пуско-отопительной котельной ПОК-1;
- автоматические выключатели на одну фазу предназначены для защиты распределительных линий освещения.

Установленные на объекте автоматические выключатели А-3124 для защиты питающей и распределительной сети устарели и больше не справляются с задачами в полной мере.» [13].

«На объекте для обеспечения энергией щитов освещения используются старые кабельные линии марки АВВГ, которые уже исчерпали свой ресурс и часто выходят из строя из-за длительного использования» [18].

В пуско-отопительной котельной ПОК-1 общее освещение обеспечивается ртутными лампами высокого давления ДРЛ, общий вид которых показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Лампа ДРЛ

С применением люминисцентных источников света от светильников ЛСП, общий вид представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Светильник ЛСП 22

С применением устаревших светильников НСП-02, общий вид представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Светильник НСП-02

Данные типы светильников выработали свой ресурс и в частых случаях выходят из строя без возможности их ремонта и восстановления.

План расположения и схемы питающей и распределительной сети освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 отображен в графической части работы.

1.5 Требования, предъявляемые к системам освещения объектов энергетики

«Хорошо освещенное рабочее место улучшает производительность труда, а также сводит к минимуму травмирование на рабочем месте» [6].

Технологический процесс на электростанции, работающей круглосуточно, не допускает перерывов в работе осветительной сети технологических цехов. В связи с этим предъявляются жёсткие требования к обеспечению надёжного питания сети освещения технологических цехов.

Конструкция и вид светильников должны соответствовать номинальному напряжению сети и условиям окружающей среды. Светильники по возможности необходимо располагать в местах, удобных для обслуживания [18].

Характеристика освещения определяется понятием «освещенность». Освещенность определяется как отношение светового потока к освещаемой площади и измеряется в люменах.

«Однако искусственное освещение является вредным для человека и в значительной степени влияет как на физическое, так и на психоэмоциональное состояние» [3].

Существующие нормативные документы [3] определяют минимальные стандарты освещенности для всех типов строительных объектов. Важным параметром зданий и сооружений является уровень комфортности освещения, который зависит от воздействия прямых и отраженных световых лучей на зрение человека и их яркости. В настоящее время светодиодные лампы LED

получили широкое распространение благодаря своим значительным преимуществам перед другими видами освещения, такими как ДРЛ, лампы накаливания и люминесцентные лампы.

«Освещение на основе светодиодов может обеспечить соблюдение строгих стандартов по уровню освещенности, снизить потребление энергии и затраты на обслуживание, а также обеспечить стабильный световой поток без мерцания. В связи с этим в данном исследовании рассматривается применение светодиодных технологий для освещения объектов» [18].

Система освещения объектов энергетики должна соответствовать строгим нормам и стандартам. Качественно смонтированное светодиодное освещение помогает решить основные проблемы систем освещения объектов энергетики и значительно сокращает эксплуатационные расходы.

Применение светодиодных технологий в освещении обеспечивает стабильный свет без мерцания, минимальные энергозатраты и низкие эксплуатационные расходы. В данном исследовании акцент сделан на освещение объектов с использованием светодиодов.

Системы освещения для энергетических объектов должны строго соответствовать установленным нормам и стандартам. Правильно установленные светодиодные источники света решают ключевые проблемы освещения в энергетике и значительно уменьшают эксплуатационные затраты.

«Для рабочих зон и прилегающих территорий должны быть установлены уровни освещенности, соответствующие минимальным значениям [3,4]. В случае аварийного отключения основного освещения следует предусмотреть аварийное освещение для обеспечения непрерывной работы. Это особенно важно в ситуациях, когда внезапное отключение света может привести к взрывам, пожарам, отравлению людей, значительным нарушениям технологических процессов, сбоям в работе критически важных объектов, а также повышенной опасности травматизма в местах с большим количеством людей [3].

«При отключении основного освещения в зданиях и сооружениях для эвакуации людей используется аварийное освещение, которое обеспечивает около 10% от стандартной освещенности, но не менее 0,5 лк внутри зданий и 0,1 лк на открытых участках [3]. Светильники аварийного освещения должны визуально отличаться от обычных светильников по типу, размеру или наличию специальных знаков» [3].

Выводы по первому разделу.

В первом разделе работы был выполнен детальный анализ системы освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро». Были подробно рассмотрены основные технические, организационные и экономические характеристики объекта.

В данном исследовании подробно изучена структура электроснабжения пуско-отопительной котельной ПОК-1 на Берёзовской ГРЭС, которая принадлежит компании ПАО «Юнипро». Проанализировав исходные данные и нормативные акты, была обоснована потребность в обновлении освещения для ПОК-1. В дальнейшем в работе предложены решения для реализации этой цели.

2 Разработка проекта модернизации сети освещения объекта

2.1 Модернизация сети освещения объекта

В ходе анализа освещенности в пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» определена необходимость модернизации сети освещения. В соответствии с нормативно-техническими требованиями, на данном объекте предлагаются следующие улучшения:

«На основании требований из нормативных документов, для объекта котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро» предложены мероприятия по модернизации освещения, которые перечислены ниже» [3, 4, 13].

Силовая сеть электроснабжения.

Схема электрических соединений силовой цепи электроснабжения внутреннего электрического рабочего освещения производственных помещений в осях 5-14, рядах А-В пуско-отопительной котельной ПОК-1 предусматривает подключение распределительного щита ЩО (КО) к распределительному щиту РУСН-0,4 кВ с.71Н шк.3В. Для обеспечения качества электроэнергии предусматривается использование стабилизатора напряжения Delta DLT SRV 330045 (StL).

Схема электрических соединений силовой сети электроснабжения внутреннего электрического рабочего освещения производственных помещений в осях 1-4, рядах А-В предусматривает подключение распределительного щита ЩО (РУ) к распределительному щиту РУСН-0,4 кВ с.79Н шк.2В.

Схема электрических соединений силовой сети электроснабжения внутреннего электрического аварийного освещения производственных помещений в осях 5-14, рядах А-В предусматривает подключение распределительного щита ЩАО (КО) к отходящим линиям автоматического ввода резерва (АВР). Выполнить подключение АВР к взаиморезервируемым

отходящим линиям от щитов РУСН-0,4 кВ основной ввод с.78Н шк.5В, резервный ввод с.79Н шк.9В.

Кабели питания распределительных щитов при прокладке по существующим кабельным конструкциям должны быть закреплены кабельными стяжками на конечных точках трассы, на поворотах трассы (с обеих сторон от изгиба на расстоянии не более 0,5 м). «Крепление кабелей следует выполнять так, чтобы была предотвращена деформация оболочек кабелей под действием собственного веса и устройств крепления» [4].

Распределительная сеть электроснабжения.

Схема электрических соединений распределительной сети электроснабжения внутреннего электрического рабочего освещения котлов №2-№8, предусматривает подключение групповых распределительных щитов ЩОК-2 – ЩОК-8, к распределительному щиту ЩО (КО).

Схема электрических соединений распределительной сети электроснабжения внутреннего электрического рабочего освещения технологических помещений котельного отделения (сетевые трубопроводы, РУСН, ГЩУ-2 и др.) в осях 5-14, рядах А-В пуско-отопительной котельной ПОК-1, предусматривает подключение группового распределительного щита ЩО (СТ) к распределительному щиту ЩО (КО).

Схема электрических соединений распределительной сети электроснабжения внутреннего электрического аварийного освещения котлов №2-№8, предусматривает подключение групповых распределительных щитов ЩАОК-2 – ЩАОК-8, к распределительному щиту ЩАО (КО).

Схема электрических соединений распределительной сети электроснабжения внутреннего электрического аварийного освещения технологических помещений котельного отделения (сетевые трубопроводы, РУСН, ГЩУ-2 и др.) в осях 5-14, рядах А-В пуско-отопительной котельной ПОК-1, предусматривает подключение группового распределительного щита ЩАО (СТ) к распределительному щиту ЩАО (КО).

Схема электрических соединений групповой сети электроснабжения

внутреннего электрического аварийного освещения технологических помещений в осях 1-4, рядах А-В пуско-отопительной котельной ПОК-1, предусматривает подключение к групповым распределительным щитам ЩАО (СТ), ЩАО (ХВО) электрооборудования системы аварийного освещения.

Анализ показал, что осветительные приборы, кабельные линии и защитные автоматы сети освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 находятся в технически устаревшем и изношенном состоянии. Вследствие этого они не способны выполнять свои функции, снижена их надежность, повышаются расходы на обслуживание и ремонт, отсюда следует, что осветительные приборы требуют замены на новые модели и марки оборудования.

Проект модернизации сети освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 включает мероприятия по обновлению и выбору электрических схем. На основании которых, в дальнейшем проводится тщательный подбор и проверка всех элементов системы электроснабжения рассматриваемого объекта.

2.2 Выбор и расчёт электрических аппаратов и проводников

«Расчёт электрического освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 состоит из светотехнического и электротехнического расчётов» [17].

В работе выбираются и применяются светодиодные лампы и светильники, которые удовлетворяют всем предъявляемым к ним требованиям.

Внутреннее электрическое рабочее и аварийное освещение котлов №2-№8 предусматривает применение светильников взрывозащищенных (классификация пожароопасности по ПУЭ II-III; классификация взрывоопасности по ПУЭ В-Iб) SLIK.PRS ECO LED 30 Ex, URAN LED Exd ACORD LED D120 5000K Ex, ZENITH LED 50 D120 G Ex.

Внутреннее электрическое рабочее и аварийное освещение производственных помещений предусматривает применение светильников

LV-RIFF X1 HE BZA, LV-LSPG×144HEBZA.

«Согласно выявленным исследованиям, необходимо определить оптимальное расстояние между светильниками» [17]:

$$\lambda_c \cdot H_p \leq L \leq \lambda_z \cdot H_p, \quad (4)$$

где H_p – «расчётная высота светильника, м».

λ_c, λ_z – «расстояния между светильниками».

«Формула» [17] используется для вычисления расчётной высоты подвеса светильника выбранного типа.

$$H_p = H_o - h_{св} - h_{раб}, \quad (5)$$

где $h_{раб}$ – «высота освещаемой рабочей поверхности от пола, м» [20].

«Определение числа светильников по длине помещения, шт., происходит на основе рассчитанного значения L , а также длины A и ширины B помещения» [20].

$$N_A = \frac{A - 2l_A}{L} + 1. \quad (6)$$

«Число светильников по ширине помещения, шт.» [17]:

$$N_B = \frac{B - 2l_B}{L} + 1. \quad (7)$$

«Общее число светильников, шт.» [17]:

$$N_{\Sigma} = N_A \cdot N_B. \quad (8)$$

«Действительное расстояние между светильниками и рядами» [17]

$$L_A = \frac{A}{N_A - a}, \quad (9)$$

$$L_B = \frac{B}{N_B - a}. \quad (10)$$

Давайте рассмотрим, какие возможности есть для установки светильников на котлоагрегате №2 ПОК-1 Берёзовской ГРЭС. Учитывая, что подвес светильника будет находиться на высоте 0,0 метров, проведем соответствующие расчеты.

$$H_p = 4,6 - 0,6 - 1,5 = 2,5 \text{ м.}$$

«Оптимальное расстояние между светильниками» [17]

$$0,5 \cdot 2,5 = 1,75 \leq L = 2.$$

«Число светильников по длине помещения, шт.» [17]:

$$N_A = \frac{4,5 - 2 \cdot 0,5}{2} + 1 \approx 3 \text{ шт.}$$

«Число светильников по ширине помещения» [17]

$$N_B = \frac{4 - 2 \cdot 0,5}{2} + 1 \approx 3 \text{ шт.}$$

«Действительное расстояние между светильниками» [17]

$$L_A = \frac{4,5}{3} = 1,5 \text{ м.}$$

«Действительное расстояние между рядами» [17]

$$L_B = \frac{4}{3} = 1,33 \text{ м.}$$

«Метод коэффициента использования светового потока применяется для расчета освещения» [17].

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta_n}, \quad (11)$$

где K_z - «коэффициент запаса ($K_z=1,15$ для светодиодных ламп)» [17].

«Для нахождения индекса помещения в соответствии с и использования светового потока в относительных единицах необходимо определить справочный коэффициент» [17].

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

«Выбранный источник света сравнивается с расчетным световым потоком, который определяется с использованием справочных материалов. Формула для расчета отклонения светового потока применяется после выбора стандартного типа лампы» [17].

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{ис} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%. \quad (13)$$

Индекс помещения [17]

$$i = \frac{4,5 \cdot 4}{2,5 \cdot (4,5 + 4)} = 0,85.$$

План расположения светильников на отметке 0,0 метров котлоагрегата №2 пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юниро» представлен на рисунке 4.

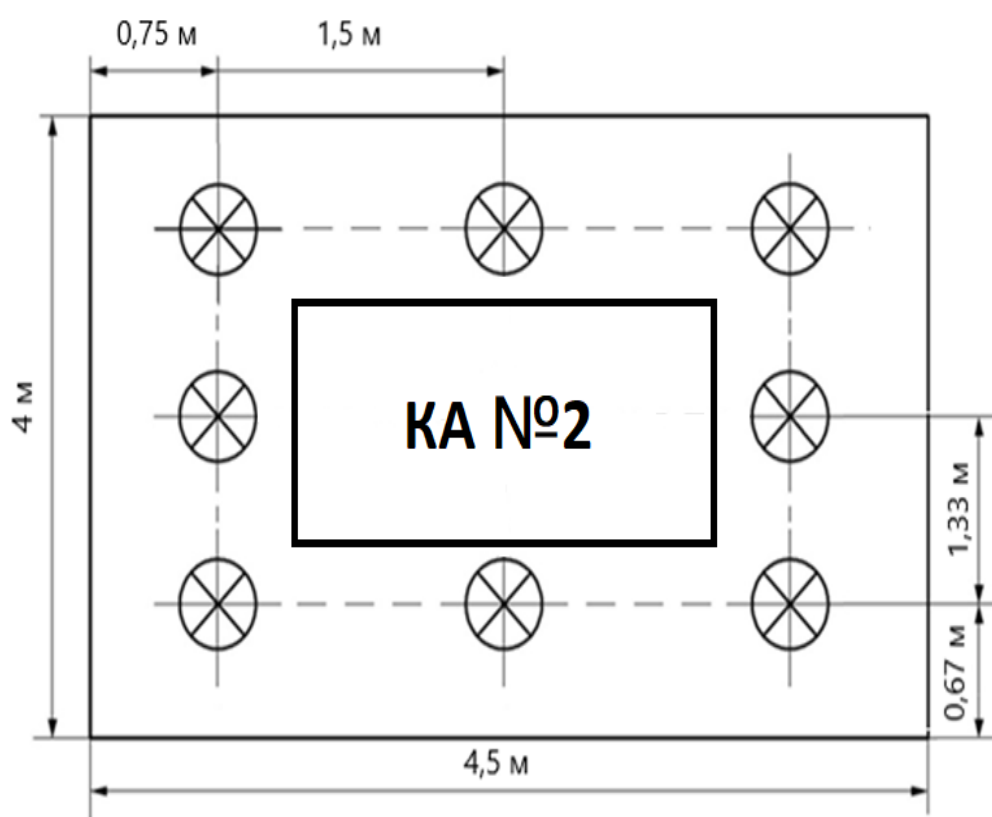


Рисунок 4 – План расположения светильников на отметке 0,0 метров котлоагрегата №2 пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС»

Расположение светильников, предложенной на рисунке 4, предусмотренное для освещения на отметке 0,0 метров котлоагрегата №2 пуско-отопительной котельной ПОК-1 является наиболее оптимальным и экономичным.

Расчёт освещения остальных семи котлоагрегатов пуско-отопительной котельной ПОК-1 выполнен аналогично. Результаты светотехнических расчётов всех помещений пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро» представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты светотехнического расчёта помещений пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»

Помещение	Тип источника света (лампа)	S, м2	Ен, лк	N св. (длина) × N св.(ширина) = N св.(общее), шт.
Освещение основных помещений				
Котельное отделение	Светильник серии ACORN LED Ex, SLICK ECO LED Ex, световое табло ГКФТ ДУВ Учв	240,0	250	10×11=110
Пост охраны		12,0	250	3×2=6
ГРЩУ-1		24,0	200	4×3=12
Подсветка ответственных механизмов и участков				
Помещение ХВО	Промышленный светодиодный светильник LV- LSPG×144HEBZA, мощность 44 Вт, световой поток 5060 Лм, 4000 К. IP65	27,0	200	5×3=15
Тамбур		16,0	200	4×2=8
Мастерская		12,0	150	3×2=6
КРУ-6 кВ и РУСН 0.4 кВ с.76Н, 79Н		18,0	150	4×2=8
Кабинет лаборатории		5,0	200	2×2=4
Всего по объекту реконструкции				169

2.3 Выбор основного электрооборудования и его проверка

Проведём проверку и выбор сечения проводников для напряжения 380/220 В в сети освещения ПОК-1. В рамках работы необходимо выбрать следующие проводники для напряжения 380/220 В в соответствии с модернизированной схемой электрических соединений сети освещения ПОК-1: питающая сеть 380/220 В, которая включает кабельные линии напряжением 380/220 В от шин РУСН-0,4 кВ до щитов управления освещением ПОК-1; распределительная сеть 380/220 В, которая идёт от секций сборных шин напряжением 380/220 В щитов управления освещением ПОК-1 до всех групп освещения ПОК-1.

«Значение рабочего тока кабельной линии» [20]

$$I_{p.} = \frac{S_{p.}}{\sqrt{3}U_{ном.}}. \quad (14)$$

«Максимальный расчётный ток кабеля с учётом резервирования» [13]

$$I_{p.макс} = 1,4I_{p.} \quad (15)$$

«Условие проверки кабеля по току нормального режима» [20]:

$$I_{доп} \geq I_{p.}, \quad (16)$$

где $I_{доп}$ – длительно – допустимый ток выбранного кабеля [2].

«Условие проверки кабеля по току послеаварийного режима» [20]:

$$I_{доп} \geq I_{p.макс}. \quad (17)$$

«При анализе маркировки и длины линии необходимо учитывать потери напряжения, чтобы обеспечить эффективное функционирование системы».

$$\Delta U\% = \frac{S_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_n^2} \cdot 100, \quad (18)$$

где S_p – «значение расчётной полной нагрузки линии, кВА» [13];

l – «длина кабельной линии, км» [13].

«По формуле [8] определяется значение расчётного рабочего тока для каждого из двух питающих кабелей ЩО от РУСН-0,4 кВ ПОК-1, учитывая модернизацию»

$$I_{p.} = \frac{3,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 5,7 \text{ A.}$$

«Для выбора питающего кабеля ЩО от РУСН-0,4 кВ ПОК-1 предварительно выбирается стандартное сечение кабеля, которое должно быть ближайшим к значению $F=2,5 \text{ мм}^2$ » [13].

«Для этой цели принимается кабель марки ВВГнг-LS $5 \times 2,5$, который имеет предельно-допустимый ток $I_{\text{доп}}=28 \text{ A}$ » [2].

«В условиях прокладки питающей КЛ с использованием стандартной системы лотков предусматривается специальное условие.» [2].

«Также проводится проверка выбранного сечения кабеля на его допустимый нагрев в нормальном режиме работы.» [2].

$$28 \text{ A} \geq 5,7 \text{ A.}$$

«Условие проверки выполняется»;

– с учётом перегрева в максимальном режиме

$$I_{p.\text{max}} = 1,4 \cdot 5,7 = 7,98 \text{ A.}$$

$$28 \text{ A} \geq 7,98 \text{ A.}$$

«Условие проверки выполняется;

– на допустимую потерю напряжения в нормальном режиме»: [2].

$$\Delta U_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 570 \cdot 0,5 \cdot (1,17 \cdot \cos 0,95 + 0,066 \cdot \sin 0,95)}{380} \cdot 100\% = 2,21\%.$$

«Условие проверки выполняется»

$$2,21 \% \leq 5\%.$$

«Выбор кабельных линий распределительной сети напряжением 380/220 В по допустимому нагреву по условию [1] будет проведен после установления удовлетворения силового пятижильного кабеля питающей сети освещения от РУСН-0,4 кВ до ЩО ПОК-1 в стандартной лоточной системе. Результаты проведенных расчётов и проверок доказали, что кабель удовлетворяет требованиям выбора и проверки во всех режимах» [4].

$$I'_{\text{доп}} \geq I_p, \quad (19)$$

где $I'_{\text{доп}}$ – «длительно допустимый ток кабеля с учётом отклонений от нормальных условий прокладки» [1], А.

«Для освещения в распределительной сети 380/220 В применяются трёхжильные медные силовые кабели с изоляцией, которая не способствует горению. Они обозначены как ВВГнг-LS [15]. Послеаварийный нагрев выбранных сечений кабеля 380/220 В проверяется в соответствии с условиями» [1].

$$I'_{\text{доп}} \geq I_{p/\text{max}}, \quad (20)$$

где $I_{p.\text{max}}$ – максимальный расчётный ток линии, А [1].

«Для питания одного ЩО ПОК-1 выбираем силовой кабель марки ВВГнг-LS 5×1,5 с $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$ » [2].

«Допустимый ток данного кабеля» [1]:

$$I'_{\text{доп}} = 1 \cdot 19 + 19 \text{ А.}$$

«Проверка по нагреву током нормального режима выполняются» [1]

$$I'_{\text{доп}} = 19 \text{ А} \geq 1,96 \text{ А.}$$

«Также выполняется условие проверки кабеля на нагрев в послеаварийном режиме» [1]

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 1,96 + 2,74 \text{ А},$$

$$19 \text{ А} \leq 2,76 \text{ А}.$$

«Следовательно, принимается кабель марки ВВГнг-LS 5×1,5 с $I_{доп} = 19 \text{ А}$ » [7].

«Потери напряжения в кабельной линии соответствуют нормам» [1]:

$$\Delta U_{\text{н}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,96 \cdot 0,1 \cdot (0,28 \cdot \cos 0,95 + 0,042 \cdot \sin 0,95)}{380} \cdot 100\% = 3,38\%.$$

$$3,38 \% \leq 5\%.$$

Для прокладки в стандартных кабельных лотках принимается питающий силовой кабель марки ВВГнг-LS 5×1,5 для ЩО ПОК-1. В таблице 4 отображен аналогичный выбор других кабельных линий для питания ЩО и ЩАО распределительной сети освещения здания ПОК-1.

Таблица 4 – Результаты выбора кабельных линий распределительной сети 380/220 В сети освещения ПОК-1

Помещение	I_p , А	$I_{p.\max}$, А	Марка кабеля	$I_{доп.}$, А
Котельное отделение	1,96	2,74	ВВГнг-LS 5×1,5	19
Пост охраны	0,12	0,17	ВВГнг-LS 5×1,5	19
ГРЩУ-1	0,25	0,35	ВВГнг-LS 5×1,5	19
Помещение ХВО	0,25	0,35	ВВГнг-LS 5×1,5	19
Тамбур	0,05	0,07	ВВГнг-LS 5×1,5	19
Мастерская	0,26	0,37	ВВГнг-LS 5×1,5	19
КРУ-6 кВ и РУСН 0.4 кВ с.76Н, 79Н	0,26	0,37	ВВГнг-LS 5×1,5	19
Кабинет лаборатории	0,15	0,21	ВВГнг-LS 5×1,5	19

По результатам выбора питающего кабеля для ЩО и распределительной сети 380/220 В сети освещения здания ПОК-1 можно сказать то, что все выбранные кабельные линии удовлетворяют условиям проверок.

«Представленные кабельные линии рекомендованы современными требованиями нормативно технической документации» [15].

«Применимые в работе кабельные линии питающей и распределительной сети 380/220 В сети освещения ПОК-1 удовлетворяют условиям проверки по допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режимах работы, а также по допустимой потере напряжения в выбранной кабельной линии» [20].

2.4 Расчёт токов короткого замыкания

«Для определения потребления энергии в системе отопления и освещения в здании котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро» требуется провести расчёты всех линий электроснабжения объекта.

Каждый из силовых трансформаторов, обеспечивающих питание ТП-6/0,4 кВ в схеме электрических соединений сети ПОК-1, работает независимо от других на секции шин напряжением 6 кВ (режим работы разделенный). Для упрощения процесса расчетов токов короткого замыкания выбран один участок сети «линия – трансформатор – шины 6 кВ – нагрузка», по которому строится соответствующая схема замещения.

В процессе выполнения расчетов токов короткого замыкания в системе электроснабжения объекта ПОК-1, результаты полученных токов для остальных участков сети "линия - трансформатор - шины 6 кВ - нагрузка" будут незначительно отличаться друг от друга, и все они будут находиться в пределах допустимых погрешностей. Для расчетов учитываются трехфазные, ударные и однофазные токи короткого замыкания. Для определения максимальных и ударных токов трехфазного короткого замыкания на схеме (рисунок 5) проводится нумерация точек короткого замыкания.» [1].

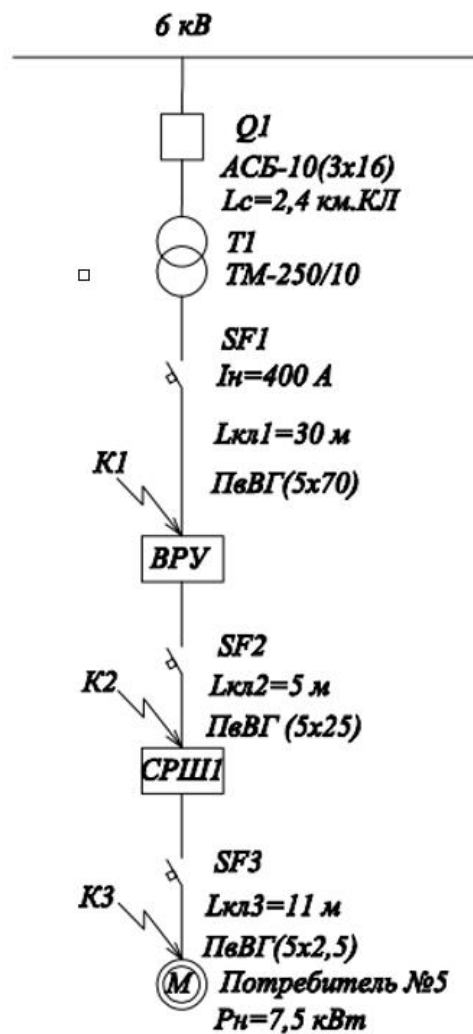


Рисунок 5 – Расчётная схема

«Сначала мы составляем исходную схему замещения на основе расчетной схемы для определения значений максимальных и ударных токов трехфазного короткого замыкания. Затем на рисунке 6 мы отмечаем все рассчитанные параметры. В числитель схемы вносится сам расчетный параметр, а знаменатель отображает определенные параметры.» [2].

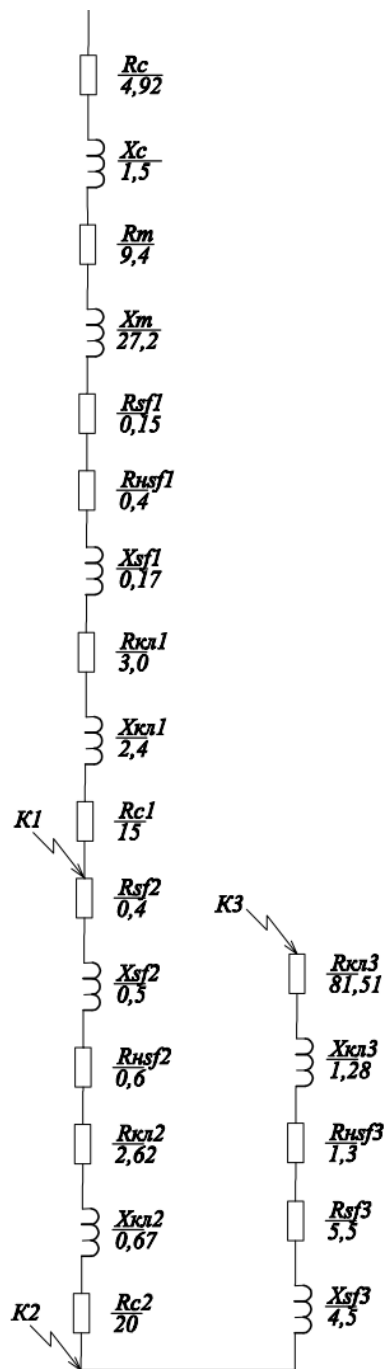


Рисунок 6 – Исходная схема замещения

«При выполнении задачи по расчету токов короткого замыкания необходимо определить максимальные значения токов короткого замыкания для трехфазной, двухфазной системы и также вычислить величину ударных токов короткого замыкания в сети напряжением 6 кВ и на вводе напряжением 0,4 кВ. Эти значения токов короткого замыкания будут использованы в дальнейшей работе для выбора и проверки оборудования. Для расчета

принимается значение базисного напряжения, которое превышает номинальное напряжение сети на 5%.» [10].

«Исходные данные для проведения расчёта:

- « $L_c = 2,4$ км; где L_c – длина линии от ГПП до ТП-6/0,4 кВ» [7];
 - « $L_{кл1} = 30$ м, где $L_{кл1}$ – длина линии от ТП-6/0,4 кВ до РУСН-0,4 кВ» [10];
 - « $L_{кл2} = 5$ м, где $L_{кл2}$ – длина линии от РУСН-0,4 кВ до СРШ1» [7];
 - « $L_{кл3} = 11$ м, где $L_{кл3}$ – длина линии от СРШ1 до потребителя» [7]
- номер 5 по плану расположения потребителей объекта.

Далее в работе «вычисляются сопротивления элементов и наносятся на схему замещения системы» [7]

$$I_c = \frac{S_r}{\sqrt{3} \cdot U_c}, \text{ А.} \quad (21)$$

$$I_c = \frac{250}{\sqrt{3} \cdot 10} = 14,4 \text{ А.}$$

«Удельное индуктивное сопротивление КЛ марки АСБ-10(3×16): $x_0 = 0,4$ Ом/км; $r_0 = 1,28$ Ом/км».

$$X'_c = X'_0 L_c, \text{ Ом,} \quad (22)$$

$$R'_c = r_0 L_c, \text{ Ом.} \quad (23)$$

$$X'_c = 0,4 \cdot 2,4 = 0,96 \text{ Ом,}$$

$$R'_c = 1,28 \cdot 2,4 = 3,07 \text{ Ом.}$$

«Сопротивления приводятся к низкому напряжению (НН)» [7]:

$$R_c = R'_c (U_{HH} / U_{BH})^2, \text{МОм}, \quad (24)$$

$$X_c = X'_c (U_{HH} / U_{BH})^2, \text{МОм}. \quad (25)$$

$$R_c = 3,072 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 4,92 \text{ МОм}.$$

$$X_c = 0,96 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 1,5 \text{ МОм}.$$

«Для трансформатора ТМ-250/10: $R_T = 9,4 \text{ МОм}$, $X_T = 27,2 \text{ МОм}$; $Z_T^{(1)} = 312 \text{ МОм}$; $Z_T = 28,7 \text{ МОм}$ » [7].

«Для автоматов схемы: SF₁: $R_{SF1} = 0,15 \text{ МОм}$; $X_{SF1} = 0,17 \text{ МОм}$; $R_{HSF1} = 0,4 \text{ МОм}$; SF₂: $R_{SF3} = 0,4 \text{ МОм}$; $X_{SF3} = 0,5 \text{ МОм}$; $R_{HSF3} = 0,6 \text{ МОм}$; SF₃: $R_{SF5} = 5,5 \text{ МОм}$; $X_{SF5} = 4,5 \text{ МОм}$; $R_{HSF5} = 1,3 \text{ МОм}$ » [7].

«Для кабельных линий: КЛ1: $r_{01} = 0,1 \text{ МОм/м}$; $x_{01} = 0,08 \text{ МОм/м}$ » [7].

«При этом» [7]

$$R_{KL1} = r_{01} \cdot L_{KL1}, \text{МОм}, \quad (26)$$

«где R_{KL1} – активное сопротивление КЛ» [7].

$$X_{KL1} = x_{01} \cdot L_{KL1}, \text{МОм}, \quad (27)$$

«где X_{KL1} – индуктивное сопротивление КЛ» [7].

Для КЛ в работе:

$$R_{KL1} = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ МОм}.$$

$$X_{KL1} = 0,08 \cdot 30 = 2,4 \text{ МОм}.$$

КЛ2: $r_{02} = 0,524 \text{ МОм/м}$; $x_{02} = 0,133 \text{ МОм/м}$.

Значит, для КЛ2:

$$R_{\text{кл}2} = 0,524 \cdot 5 = 2,62 \text{ МОм.}$$

$$X_{\text{кл}2} = 0,133 \cdot 5 = 0,67 \text{ МОм.}$$

КЛ3: $r_{03} = 7,41 \text{ МОм}$; $x_{03} = 0,144 \text{ МОм}$.

Для КЛ3:

$$R_{\text{кл}3} = 7,41 \cdot 11 = 81,51 \text{ МОм.}$$

$$X_{\text{кл}3} = 0,116 \cdot 11 = 1,28 \text{ МОм.}$$

«Принимаю для ступеней распределения: $R_{c1} = 15 \text{ МОм}$; $R_{c2} = 20 \text{ МОм}$ » [11].

«Проводим расчет эквивалентных сопротивлений на участках между точками короткого замыкания для упрощения исходной схемы. Результаты анализа отмечаем на схеме, как показано на рисунке 7» [7].

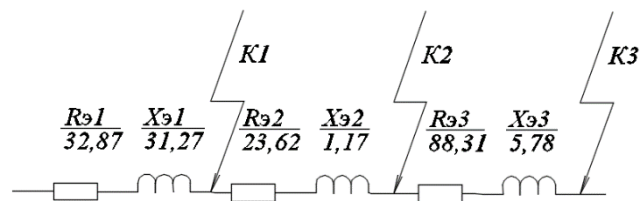


Рисунок 7 – Схема замещения упрощенная

«Для упрощения схемы замещения и выполнения расчетов эквивалентных сопротивлений необходимо осуществить последовательное преобразование схемы относительно расчетных точек КЗ» [10]

$$R_{\text{э1}} = R_{\text{с}} + R_{\text{т}} + R_{\text{SF1}} + R_{\text{H}_{\text{SF1}}} + R_{\text{с1}} + R_{\text{кл1}}, \text{ мОм.} \quad (28)$$

$$R_{\text{э1}} = 4,92 + 9,4 + 0,15 + 0,4 + 15 + 3 = 32,87 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{э1}} = X_{\text{с}} + X_{\text{т}} + X_{\text{SF1}} + X_{\text{кл1}}, \text{ мОм.} \quad (29)$$

$$X_{\text{э1}} = 1,5 + 27,2 + 0,17 + 2,4 = 31,27 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{э2}} = R_{\text{SF2}} + R_{\text{H}_{\text{SF2}}} + R_{\text{кл2}} + R_{\text{с2}}, \text{ мОм.} \quad (30)$$

$$R_{\text{э2}} = 0,4 + 0,6 + 2,62 + 20 = 23,62 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{э2}} = X_{\text{SF2}} + X_{\text{кл2}}, \text{ мОм.} \quad (31)$$

$$X_{\text{э2}} = 0,5 + 0,67 = 1,17 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{э3}} = R_{\text{SF3}} + R_{\text{H}_{\text{SF3}}} + R_{\text{кл3}}, \text{ мОм.} \quad (32)$$

$$R_{\text{э3}} = 5,5 + 1,3 + 81,51 = 88,31 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{э3}} = X_{\text{SF3}} + X_{\text{кл3}}, \text{ мОм.} \quad (33)$$

$$X_{\text{э3}} = 4,5 + 1,28 = 5,78 \text{ мОм.}$$

Вычислим сопротивления до каждой точки КЗ [7]:

$$R_{\text{к1}} = R_{\text{э1}}, \text{ мОм.} \quad (34)$$

$$R_{\text{к1}} = 32,87 \text{ мОм.}$$

$$X_{\text{к1}} = X_{\text{э1}}, \text{ мОм.} \quad (35)$$

$$X_{\text{к1}} = 31,27 \text{ мОм.}$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{R_{\text{к1}}^2 + X_{\text{к1}}^2}, \text{ мОм.} \quad (36)$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{32,87^2 + 31,27^2} = 45,37 \text{ мОм.}$$

$$R_{\text{к2}} = R_{\text{э1}} + R_{\text{э2}}, \text{ мОм.} \quad (37)$$

$$R_{к2} = 32,87 + 23,62 = 56,48 \text{ мОм.}$$

$$X_{к2} = X_{\text{я1}} + X_{\text{я2}}, \text{ мОм.} \quad (38)$$

$$X_{к2} = 31,27 + 1,17 = 32,44 \text{ мОм.}$$

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2}, \text{ мОм.} \quad (39)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{56,48^2 + 32,44^2} = 65,13 \text{ мОм.}$$

$$R_{к3} = R_{к2} + R_{\text{я3}}, \text{ мОм.} \quad (40)$$

$$R_{к3} = 56,48 + 88,31 = 144,79 \text{ мОм.}$$

$$X_{к3} = X_{к2} + X_{\text{я3}}, \text{ мОм.} \quad (41)$$

$$X_{к3} = 32,44 + 5,78 = 38,22 \text{ мОм.}$$

$$Z_{к3} = \sqrt{R_{к3}^2 + X_{к3}^2}, \text{ мОм.} \quad (42)$$

$$Z_{к2} = \sqrt{144,79^2 + 38,22^2} = 149,75 \text{ мОм.}$$

Отношения активных и индуктивных сопротивлений схемы

$$R_{к1} / X_{к1} = 32,87 / 31,27 = 1,05.$$

$$R_{к2} / X_{к2} = 56,48 / 32,44 = 1,74.$$

$$R_{к3} / X_{к3} = 144,79 / 38,22 = 3,79.$$

Определим ударные коэффициенты.

$$K_{y1} = F(R_{к} / X_{к}). \quad (43)$$

$$K_{y1} = F(1,05) = 1,0.$$

$$K_{y2} = F(1,74) = 1,0.$$

$$K_{y3} = F(3,79) = 1,0.$$

Значение токов трёхфазного КЗ [7]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{U_{\kappa}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa}}, \text{ кА.} \quad (44)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 45,37} \cdot 10^3 = 5,09 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 65,13} \cdot 10^3 = 3,37 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 149,75} \cdot 10^3 = 0,85 \text{ кА.}$$

Значение ударных токов трёхфазного КЗ

$$i_{\text{ук}} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (45)$$

где K_y - ударный коэффициент.

$$i_{\text{ук}1} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 5,09 = 7,18 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{ук}2} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 3,37 = 4,75 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{ук}3} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,85 = 1,2 \text{ кА.}$$

Значение токов двухфазного КЗ

$$I_{\kappa}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{\kappa 1}^{(3)}, \text{ кА.} \quad (46)$$

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = 0,87 \cdot 5,09 = 4,43 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = 0,87 \cdot 3,37 = 2,93 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = 0,87 \cdot 0,85 = 0,74 \text{ кА.}$$

«Составим схема замещения для расчета однофазных токов КЗ (рисунок 8) и определяются сопротивления схемы» [7].

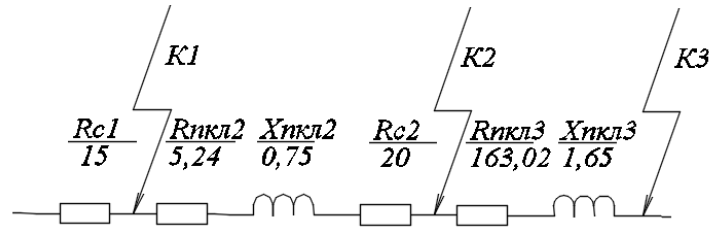


Рисунок 8 – Схема замещения для расчета однофазных токов КЗ

Для кабельных линий [7]:

$$R_{пкл2} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кл2}, \text{ мОм.} \quad (47)$$

$$R_{пкл2} = 2 \cdot 0,524 \cdot 5 = 5,24 \text{ мОм.}$$

$$X_{пкл2} = x_{0п} \cdot L_{кл2}, \text{ мОм.} \quad (48)$$

$$X_{пкл2} = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ мОм.}$$

$$R_{пкл3} = 2 \cdot r_0 \cdot L_{кл3}, \text{ мОм.} \quad (49)$$

$$R_{пкл3} = 2 \cdot 7,41 \cdot 11 = 163,02 \text{ мОм.}$$

$$X_{пкл3} = x_{0п} \cdot L_{кл3}, \text{ мОм.} \quad (50)$$

$$X_{пкл3} = 0,15 \cdot 11 = 1,65 \text{ мОм.}$$

Определим сопротивления петли «фаза-ноль» ко всем точкам схемы:

$$Z_{п1} = 15 \text{ мОм.}$$

$$R_{п2} = R_{c1} + R_{пкл2} + R_{c2}, \text{ мОм.} \quad (51)$$

$$R_{п2} = 15 + 5,24 + 20 = 35,24 \text{ мОм.}$$

$$X_{п2} = X_{пкл2}, \text{ мОм.} \quad (52)$$

$$X_{п2} = 0,75 \text{ мОм.}$$

$$Z_{п2} = \sqrt{R_{п2}^2 + X_{п2}^2}, \text{ мОм.} \quad (53)$$

$$Z_{п2} = \sqrt{35,24^2 + 0,75^2} = 35,25 \text{ мОм.}$$

$$R_{п3} = R_{п2} + R_{пкл3}, \text{ мОм.} \quad (54)$$

$$R_{п3} = 35,24 + 163,02 = 198,26 \text{ мОм.}$$

$$X_{п3} = X_{п2} + X_{пкл3}, \text{ мОм.} \quad (55)$$

$$X_{п3} = 0,75 + 1,65 = 2,4 \text{ мОм.}$$

$$Z_{п3} = \sqrt{R_{п3}^2 + X_{п3}^2}, \text{ мОм.} \quad (56)$$

$$Z_{п3} = \sqrt{198,26^2 + 2,4^2} = 198,27 \text{ мОм.}$$

Значение «тока однофазного короткого замыкания в расчётных точках» [11]:

$$I_{ki}^{(1)} = \frac{U_{кф}}{Z_{пi} + Z_T / 3}, \text{ кА.} \quad (57)$$

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{220}{15 + 312 / 3} = 1,85 \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(1)} = \frac{220}{35,25 + 312 / 3} = 1,57 \text{ кА.}$$

$$I_{к3}^{(1)} = \frac{220}{198,27 + 312 / 3} = 0,73 \text{ кА.}$$

Для того, чтобы заполнить таблицу 5, мы сначала рассчитываем токи короткого замыкания. Затем добавляем в неё данные о сопротивлениях в точках КЗ.

Таблица 5 – Результаты расчёта токов КЗ

Точка КЗ	R _к , мОм	X _к , мОм	Z _к , мОм	R _к / X _к	K _y /q	I _к ⁽³⁾ , кА	i _y , кА	I _к ⁽²⁾ , кА	Z _п , мОм	I _к ⁽¹⁾ , кА
K1	32,87	31,27	45,37	1,05	1,0/1,0	5,09	7,18	4,43	15	1,85
K2	56,48	32,44	65,13	1,74	1,0/1,0	3,37	4,75	2,93	35,25	1,57
K3	144,79	38,22	149,75	3,79	1,0/1,0	0,85	1,20	0,74	198,27	0,73

Для проверки термической и динамической стойкости к токам КЗ в сети освещения здания ПОК-1 используются результаты расчета токов КЗ в расчетных точках К2 и К3, полученные в работе.

Устройства релейной защиты и автоматики будут выбраны после использования результатов расчета токов КЗ в точке К2 для аппаратов защиты и коммутации ЩО и ЩАО.

2.5 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

В процессе функционирования, автоматические выключатели играют важную роль в обеспечении безопасности работ электрической осветительной системы, а также распределительной и питающей сетей. В схеме электроснабжения осветительной системы здания ПОК-1 размещаются шкафы освещения ЩО и ЩАО, в которых установлены автоматические выключатели.

«В процессе подбора электрических устройств для данной задачи учитываются номинальные значения тока и напряжения, а также применяются соответствующие математические формулы» [20]:

$$I_{\text{уст}} \leq U_{\text{н}}, \quad (58)$$

$$I_{\text{раб. макс.}} \leq I_{\text{н}}. \quad (59)$$

Автоматы выбираются по условиям, приведённым ниже.

«Номинальные токи автомата и уставки теплового расцепителя» [20]:

$$I_{\text{ном. а}} \geq I_{\text{р}}, \quad (60)$$

$$I_{\text{у. т. р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р}}. \quad (61)$$

«Ток уставки электромагнитного расцепителя» [20]:

$$I_{\text{ном.э.р}} \geq K_{\text{то}} \cdot I_{\text{р}} \geq I_{\text{к}}, \quad (62)$$

«где $K_{\text{то}}$ – кратность тока отсечки» [20].

«В зависимости от уставки теплового расцепителя, автомат будет оборудован регулируемым электромагнитным расцепителем» [20]:

$$I_{\text{у.э.р}} \geq K \cdot I_{\text{у.т.р}}, \quad (63)$$

где « K – кратность тока уставки ЭМ-расцепителя» [20].

«Для обеспечения питания щитов освещения ЩО от РУСН-0,4 кВ был выбран автомат ВА47-29-3С10-УХЛ3 с регулируемым электромагнитным расцепителем и током уставки, который зависит от теплового расцепителя» [20].

Рабочий ток составляет 5,7 А, после реконструкции схемы при подключении второй секции сборных шин максимальный ток составит 7,98 А.

Проведены проверки и выполнены условия выбора вводного автомата.

$$I_{\text{ном.а}} = 10\text{А} \geq I_{\text{р}} = 5,7\text{А}.$$

$$I_{\text{ном.а}} = 10\text{А} \geq I_{\text{р.макс.}} = 7,98\text{А}.$$

$$I_{\text{у.т.р}} = 10\text{А} \geq 1,1 \cdot 7,98 = 8,78\text{А}.$$

$$I_{\text{у.э.р}} = 100 \cdot 40 = 4000\text{А} \geq 3370\text{А}.$$

«Автоматы распределительной сети объекта подобраны аналогично. Проверка автомата для питания ЩО от РУСН-0,4 кВ ПОК-1 проводится по току КЗ в точке расчёта К2. Сеть освещения ПОК-1 защищена и коммутирует автоматическими выключателями, выбранными также аналогично (см. таблицу 6).» [20].

Таблица 6 – Результаты выбора автоматов для защиты распределительной сети напряжением 380/220 В сети освещения здания пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»

Помещение	I_p , А	$I_{p.макс}$, А	Марка автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{у.т.р}$, А	$I_{у.э.р}$, А
Котельное отделение	1,96	2,74	ВА47-29-2С6	6,3	6,3	18,9
Пост охраны	0,12	0,17	ВА47-29-2С6	6,3	6,3	18,9
ГРЩУ-1	0,25	0,35	ВА47-29-2С6	6,3	6,3	18,9
Помещение ХВО	0,25	0,35	ВА47-29-2С6	6,3	6,3	18,9
Тамбур	0,05	0,07	ВА47-29-2С6	6,3	6,3	18,9
Мастерская	0,26	0,37	ВА47-29-2С6	6,3	6,3	18,9
КРУ-6 кВ и РУСН 0.4 кВ с.76Н, 79Н	0,26	0,37	ВА47-29-2С6	6,3	6,3	18,9
Кабинет лаборатории	0,15	0,21	ВА47-29-2С6	6,3	6,3	18,9

Для коммутации и защиты щитов аварийного освещения ЩАО в работе выбран автомат марки ВА47-29-2С6-УХЛЗ с $I_{ном.а} = 6,3$ А, $I_{у.т.р} = 6,3$ А, $I_{у.э.р} = 6,3$ А.

Все автоматы питания и распределительные сети с напряжением 380/220 В, выбранные для освещения в сети ПОК-1, соответствуют условиям проверок и выбора, и могут быть установлены в соответствующем месте для использования.

Выводы по второму разделу.

После анализа исходных данных и проведения расчетов второго раздела, были предложены следующие технические решения для модернизации сети освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро»:

– использование современных светодиодных светильников серии ACORN LED Ex, SLICK ECO LED Ex и промышленных светодиодных светильников LV-LSPGx144HEBZA с мощностью 44 Вт, световым потоком 5060 Лм и цветовой температурой 4000 К вместо устаревших ламп накаливания и люминесцентных ламп. Срок службы данных светильников значительно превышает аналоги и составляет примерно 25 лет при 10 часовой работе в день. Все элементы светильников долговечны и надёжны. Указанные светильники имеют степень защиты IP65 и полностью соответствуют

требованиям по освещенности и безопасности. Также отсутствует необходимость замены светодиодов и обслуживание светильников в течение всего срока службы.

Для освещения здания пуско-отопительной котельной ПОК-1 выбраны современные автоматические выключатели марки ВА47-29-2С10-УХЛ3 и устройства релейной защиты. Также определены кабели для освещения и распределительной сети, включая пятижильные и трёхжильные силовые кабели марки ВВГнг-LS. Проведен анализ токов короткого замыкания в сети освещения здания пуско-отопительной котельной ПОК-1.

Была проведена проверка всего оборудования для реконструкции сети освещения ПОК-1 на основе коротких замыканий и электрических расчетов. После модернизации, выбор оборудования ПОК-1 осуществлялся в соответствии с нормативными требованиями, которые были основаны на расчетах.

Заключение

Прежде чем приступить к разработке проекта модернизации сети освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 филиала «Берёзовская ГРЭС», было проведено подробное исследование требований безопасности, надежности и удобства для технического обслуживания. Результатом этой работы стал проект, удовлетворяющий высочайшим стандартам во всех аспектах функционирования сети освещения.

При выборе источников света уделено особое внимание современным светильникам, чье качество и эффективность были подтверждены в современных условиях эксплуатации. Это позволяет не только сэкономить электроэнергию, но и повысить производительность труда персонала благодаря качественному освещению.

В рамках проекта модернизации были учтены не только технические параметры и экономическая эффективность, но также и вопросы безопасности персонала, что позволяет создать комфортные условия труда и обеспечить бесперебойную работу сети освещения.

Для эффективного решения поставленной цели по улучшению освещения в работе было проведено комплексное исследование системы электроснабжения пуско-отопительной котельной ПОК-1. На первом этапе изучены особенности текущей сети освещения, выявлены ее недостатки, такие как недостаточная яркость и низкая энергоэффективность.

Далее, для улучшения ситуации, принято решение заменить устаревшие лампы накаливания и люминесцентные лампы на современные светодиодные светильники серии ACORN LED Ex, SLICK ECO LED Ex, LV-LSPGx144HEBZA. Эти промышленные светодиодные светильники с мощностью 44 Вт и световым потоком 5060 Лм при 4000 К и IP65 обеспечивают не только высокую освещенность, но и повышают безопасность в помещении.

После проведения модернизации сети освещения пуско-отопительной котельной ПОК-1 будет достигнут значительный уровень безопасности и надежности. Для обеспечения этого был сделан выбор устройств релейной защиты и автоматики. «Результаты расчетов позволили выбрать современные автоматические выключатели марки ВА47-29-2С10-УХЛ3 и ВА47-29-2С6-УХЛ3» [20], для защиты и коммутации питающей сети освещения ПОК-1.

Помимо повышения уровня безопасности и надежности, модернизация сети освещения также приведет к увеличению простоты в обслуживании и ремонте. Экономичность в энергопотреблении, обеспечиваемая выбранными устройствами, сыграет ключевую роль в повышении надежности и энергоэффективности объекта.

Таким образом, модернизация оборудования позволила достичь не только повышение уровня освещенности и увеличение энергоэффективности, но и обеспечить безопасность и комфорт в рабочем пространстве котельной и местах передвижения и размещения персонала [12]. Внедрение современных автоматических выключателей и вводных автоматов в систему электроснабжения пуско-отопительной котельной филиала «Берёзовская ГРЭС» ПАО «Юнипро» будет способствовать повышению надежности работы всей системы и повышению ее безопасности при эксплуатации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА. 2016. 416 с.
2. Баранов Л.А. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров -М.: Колос, 2018. 343с.
3. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Интермет Инжиниринг, 2017. 672 с.
4. ГОСТ Р 55710-1013. Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений.
5. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартиформ, 2018. 28 с.
6. Козловская В.Б., Радкевич В.Н., Сацукевич В.Н. Электрическое освещение: учебник. Минск: Техноперспектива, 2011. 543 с.
7. Кудрин Б. И. Электроснабжение. – М.: Academia, 2018. 352 с.
8. Курдюмов В.И., Зотов, Б.И. Энергетика и экология. – М.: Колос, 2019. 247 с.
9. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Реконструкция и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2018. 184 с.
10. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. - М.: Энергоатомиздат, 2019. 382 с.
11. Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения: Справочник. Учеб. пособ. – ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. 282 с.
12. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н., в действующей редакции, 2022. 109 с.
13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

электрической энергии. Минэнерго России. Приказ от 4 октября 2022 г. № 1070, в действующей редакции, 2022. 30 с.

14. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Минэнерго России. Приказ от 12 августа 2022 г. № 811, в действующей редакции, 2022. 211 с.

15. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / под общ. ред. В.В. Дрозд. - 7-е изд-е. - М.: Альвис, 2018. 228 с.

16. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

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

18. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777/пр). URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/f1d/sp-52.pdf> (дата обращения 14.04.2024).

19. СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий правила проектирования и монтажа». URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/663/xjmkxp514hu8355btlpidkk08j80uhng/Izm6-k-SP-256.pdf> (дата обращения 20.05.2024).

20. Шеховцов В. П. Расчет и реконструкция схем электроснабжения. – М.: Форум – Инфа-М, 2005. 217 с.