

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО
«Сибирский федеральный университет»

Институт
«Электроэнергетика»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Г. Н. Чистяков
подпись инициалы, фамилия
«__» _____ 20 __ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
код – наименование направления

Реконструкция системы электроснабжения МКОУ «Притубинская
основная общеобразовательная школа №22»
тема

Руководитель _____ подпись, дата	<u>декан, доцент, к.т.н.</u> должность, ученая степень	<u>Е. В. Платонова</u> инициалы, фамилия
Выпускник _____ подпись, дата		<u>А. Н. Свитов</u> инициалы, фамилия
Нормоконтролер _____ подпись, дата		<u>И.А. Кычакова</u> инициалы, фамилия

Абакан 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 Теоретическая часть.....	4
1.1 Характеристика объекта.....	4
1.2 Обзор методов расчета электрических нагрузок	5
2 Аналитическая часть.....	6
2.1 Анализ существующего состояния в области проектирования систем электроснабжения жилых и общественных зданий	6
2.2 Обоснование выбора технологии проектирования электроснабжения	8
3 Практическая часть	10
3.1 Расчет электрических нагрузок	10
3.2 Светотехнический расчет электрического освещения.....	19
3.3 Техничко-экономическое сравнение вариантов силовой сети.....	32
3.3.1 Выбор сечений кабельных линий.....	32
3.3.2 Выбор распределительных пунктов.....	34
3.3.3 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения	35
3.3.4 Техничко-экономическое сравнение вариантов	39
3.4 Электротехнический расчет электрического освещения.....	43
3.5 Расчет токов короткого замыкания и проверка основного оборудования сети.....	44
3.6 Расчет заземления и молниезащиты	53
4. Расчет альтернативной системы отопления с использованием конвекторов...	54
4.1 Расчет электрических нагрузок.....	54
4.2 Выбор распределительных пунктов.....	57
4.3 Техничко-экономическое сравнение вариантов системы отопления.....	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	67

ВВЕДЕНИЕ

Темой данной работы является реконструкция системы электроснабжения школы. Ускорение научно-технического прогресса диктует необходимость совершенствования систем электроснабжения, создание современных, надёжных систем освещения и отопления в общественных зданиях и сооружениях, применения автоматизированных систем управления электрооборудованием. Поэтому при проектировании системы электроснабжения было уделено большое внимание вопросам надёжности и безопасности. Основные задачи, решаемые при проектировании системы электроснабжения, заключаются в оптимизации параметров этих систем путём правильного выбора напряжений, определение электрических нагрузок, расчет освещения. Особое внимание уделено вопросам энергосбережения с целью снижения оплаты электропотребления. При реконструкции системы освещения, была произведена замена люминесцентных ламп старого типа на современные энергосберегающие, что позволяет снизить электропотребление и, соответственно, его оплату. Вторым мероприятием по экономии электропотреблении предложена замена системы электроотопления на современную энергосберегающую. Произведена оценка экономического эффекта от замены системы отопления. Тема ВКР была предложена для рассмотрения руководством школы. Результаты работы переданы на рассмотрение руководству школы, с целью возможного дальнейшего внедрения.

1 Теоретическая часть

1.1 Характеристика объекта

Школа расположена в поселке Притубинском Минусинского района Красноярского края. В здании помимо учебных помещений, присутствует подвал. Почти все приемники рассчитаны на напряжение 220 В., на переменный трехфазный ток промышленной частотой 50 Гц. Требования к качеству электроэнергии стандартное: отклонение напряжения не должно превышать $\pm 5\%$.

Характеристика помещения:

Школа представляет собой двухэтажное здание общей площадью 823 м². Здание школы было введено в эксплуатацию в 1990г. Общеобразовательное учреждение насчитывает 21 сотрудников и 42 учащихся. Потребление школой энергоресурсов напрямую связано с потреблением электроэнергии непосредственно на освещение, отопление и водоснабжение (установлена собственная скважина с электронасосом). В составе объекта других зданий нет.

Микроклимат в школе нормальный, т.е. температура не превышает +22°C, наличие вредных веществ находящихся в воздухе соответствует нормам ПДК, отсутствует технологическая пыль, газы и пары, способные нарушить нормальную работу оборудования.

По пожароопасности помещения школы относятся к классу Ф 4.1 – не пожароопасное;

Первым этапом проектирования системы электроснабжения является определение электрических нагрузок. Расчёт выполняется по методу упорядоченных диаграмм. Расчет заключается в определении расчётной мощности каждого электроприемника в зависимости от режима работы.

По значению электрических нагрузок выбирают и проверяют электрооборудование системы электроснабжения, определяют потери мощности и энергии. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты в систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надёжность работы электрооборудования.

Потребители ЭЭ относятся ко II категории надёжности электроснабжения.

Питание школы может быть осуществлено от ТП 10/0,4, расстояние $l = 100$ м.

Перечень оборудования основной общеобразовательной школы в поселке Притубинское Минусинского района Красноярского края представлено таблице 1.1. Мощность электропотребления ($P_{эл}$) указана для одного электроприемника.

Таблица 1.1 – Электрические нагрузки школы

№	Наименование ЭП	N ЭП	Мощность ЭП, кВт
1	Микроволновая печь Samsung	2	0,8
2	Настольный компьютер	5	0,15
3	Холодильник Indesit	2	0,5
4	Швейная машинка	3	0,09
5	Сушилка для рук	3	2
6	Устройство для подачи звонков	1	0,001
7	Звонок	2	0,004
8	Электроплита Atesy	2	10
9	Принтер Samsung	11	2
10	Водонагреватель	6	5
11	Эл. Чайник	2	3
12	Розетка электрическая	101	0,06
13	Мармит универсальный	1	2,2
14	Проектор	1	0,35
15	Станция насосная	1	0,6

1.2 Обзор методов расчета электрических нагрузок

Целью расчета электрических нагрузок является определение токов, протекающих по токоведущим элементам с точки зрения их допустимости по условиям нагрева элементов. Расчет электрических нагрузок является определяющим на величину затрат в СЭС жилых и общественных зданий [3, 14].

Выполняемое для любого объекта, проектирование электроснабжения обязательно содержит в себе расчет мощности, который призван определить основные электротехнические параметры установки. Для небольших жилых зданий и помещений он выполняется достаточно просто, а вот с крупными строениями необходимо учитывать различные факторы. Расчет электрических нагрузок общественных зданий редко осуществляется с учетом каждого потребителя – такая примитивная методика отнимает очень много времени у ответственного специалиста и не может применяться при возможности дальнейшего изменения свойств формируемой установки.

В отдельных случаях проектирование может осуществляться исключительно с применением нормативных документов государственного значения. Единственный недостаток подобного способа – необходимость уточнения соответствия полученных показателей фактическим потребностям. Проблема заключается в том, что большинство сборников нормативных показателей составлялось более 20 лет назад – за это время развитие техники и общественной жизни людей сделало подобные показатели неактуальными.

Расчет электрических нагрузок жилых и общественных зданий производится групповым способом – для этого потребители объединяются в однородные группы, которым присваивается определенное среднее значение энергопотребления.

В сборниках можно найти основные данные, которые применяются для магазинов, кафе, ресторанов, а также квартир и частных домов [3, 14].

Расчетную нагрузку групповых сетей освещения общедомовых помещений жилых зданий (лестничных клеток, вестибюлей, технических этажей и подполий, подвалов, чердаков, колясочных), а также жилых помещений общежитий следует определять по светотехническому расчету с коэффициентом спроса, равным единице.

2. Аналитическая часть

2.1 Анализ существующего состояния в области проектирования систем электроснабжения жилых и общественных зданий

Общественными являются следующие здания: различные учреждения и организации управления, финансирования, кредитования, госстраха, просвещения, дошкольные, библиотеки, архивы, предприятия торговли, общепита, бытового обслуживания населения, гостиницы, лечебные учреждения, музеи, зрелищные предприятия и спортивные сооружения.

Все электроприемники общественных зданий условно можно разделить на две группы: осветительные и силовые. В основных помещениях общественных зданий применяют светильники с люминесцентными лампами в исполнении, соответствующем условиям среды и выполняемой работы. Используют также металлогалогенные, натриевые, ксеноновые лампы для внутреннего и наружного освещения. Во вспомогательных помещениях (склады, кладовые) применяют лампы светодиодные.

К силовым электроприемникам относятся электроприемники механического и электротеплового оборудования, холодильных машин, подъемно-транспортного оборудования, санитарно-технических установок, связи, сигнализации, противопожарных устройств и др.

Общественные здания имеют также приточно-вытяжные вентиляционные установки, широко применяются системы кондиционирования воздуха, насосы систем горячего и холодного водоснабжения. Большинство механизмов оборудовано асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором.

Схемы электроснабжения и электрооборудование общественных зданий имеют ряд особенностей по сравнению с таковыми жилых зданий:

- значительная доля силовых электроприемников;
- специфические режимы работы этих электроприемников;
- другие требования к освещению ряда помещений;
- возможность встраивания ТП в некоторые из общественных зданий.

Расчеты и опыт эксплуатации показали, что при потребляемой мощности более 400 кВА целесообразно применять встроенные подстанции, в

том числе комплектные.

Это имеет следующие преимущества:

экономия цветных металлов;

исключение прокладки внешних кабельных линий до 1 кВ;

отсутствие необходимости в устройстве отдельных ВРУ в здании, так как ВРУ можно совместить с РУ 0,4 кВ подстанции.

Однако, как указывалось выше, нормы и правила исключают встраивание подстанций в здания учебных заведений, дошкольных учреждений, лечебных корпусов больниц, жилые зоны гостиниц и т.п. [6, 7].

Подстанции обычно располагают на первых или технических этажах.

Допускается располагать ТП с сухими трансформаторами и с трансформаторами с негорючим наполнением в подвалах, а также на средних и верхних этажах зданий, если предусмотрены грузовые лифты для их транспортировки.

На встроенных ТП допускается установка как сухих, так и масляных трансформаторов. При этом масляных трансформаторов должно быть не более двух при мощности каждого до 1000 кВА. Количество и мощность сухих трансформаторов и трансформаторов с негорючим наполнением не ограничиваются. В места размещения ТП не должна попадать вода.

Для потребителей I категории надежности применяют, как правило, двухтрансформаторные ТП, но возможно использование и однотрансформаторных ТП при условии резервирования (перемычки и АВР по низкому напряжению).

Для потребителей II и III категорий надежности электроснабжения устанавливают однотрансформаторные ТП.

Распределение электроэнергии в общественных зданиях производится по радиальным или магистральным схемам.

Для питания электроприемников большой мощности (крупные холодильные машины, электродвигатели насосных, крупные вентиляционные камеры и др.) применяют радиальные схемы. При равномерном размещении электроприемников небольшой мощности по зданию используют магистральные схемы.

В общественных зданиях рекомендуется питающие линии силовых и осветительных сетей выполнять раздельными. Как и в жилых зданиях, на вводах питающих сетей в общественные здания устанавливают ВРУ с аппаратами защиты, управления, учета электроэнергии, а в крупных зданиях — и с измерительными приборами. На вводах обособленных потребителей (торговых предприятий, отделений связи и др.) устанавливают дополнительно отдельные аппараты управления. На вводах в распределительные пункты или щитки также устанавливают аппараты управления. Там, где это целесообразно по условиям эксплуатации, применяют, например, автоматические выключатели, которые совмещают в себе функции защиты и управления [10].

На каждой отходящей от ВРУ питающей линии устанавливают аппарат

защиты. Аппарат управления может быть общим для нескольких линий, сходных по назначению и режиму работы.

Светильники эвакуационного и аварийного освещения присоединяют к сети, независимой от сети рабочего освещения, начиная от щита ТП или от ВРУ. Так, например, при двухтрансформаторной ТП рабочее, эвакуационное и аварийное освещение присоединяют к разным трансформаторам. Силовые распределительные пункты, щиты и щитки располагают, как правило, на тех же этажах, где находятся электроприемники. Силовые электроприемники, присоединяемые к распределительным пунктам, щитам и щиткам, группируют с учетом их технологического назначения.

Электроприемники небольшой, но равной или близкой по значению установленной мощности соединяют в "цепочку", что обеспечивает экономию проводов и кабелей, а также уменьшение количества аппаратов защиты на распределительных пунктах [11].

2.2 Обоснование выбора технологии проектирования электроснабжения

Требования научно-технического прогресса диктуют необходимость совершенствования электроэнергетики: создания экономичных надежных систем электрификации промышленных предприятий, бытовых и общественных помещений, развития электрических сетей и электрооборудования.

Определение электрических нагрузок является первым этапом проектирования любой системы электрификации. Значения электрических нагрузок определяют выбор всех элементов и технико-экономические показатели проектируемой системы электрификации. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на электрификацию, расход цветного металла, потери электроэнергии и эксплуатационные затраты. Ошибки при определении электрических нагрузок приводят к аварийным режимам сетей и ухудшению технико-экономических показателей объекта проектирования.

Электрические нагрузки любого общественного здания складывается из нагрузок электрического освещения и силового электрооборудования. При расчетах электрической сети необходимо учитывать коэффициент спроса K_c .

Силовая нагрузка приемника определяется его установленной мощностью умноженной на коэффициент спроса. Коэффициенты берутся из [19], в основном используется методика, указанная в СП 31-110-2003 [19].

Для новых и реконструируемых электроустановок жилых и общественных зданий выполняются проекты электроснабжения, которые проходят требуемые согласования, в соответствии с проектами осуществляется монтаж электроустановок зданий, производятся измерения и испытания электроустановок, комплектация электрозащитными средствами,

организуется эксплуатация электрохозяйства и осуществляется допуск электроустановок в эксплуатацию органами госэнергонадзора (Ростехнадзора).

Далее электроустановка здания эксплуатируется в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей или в соответствии с Правилами технической эксплуатации станций и сетей РФ.

Электроснабжение жилых и общественных зданий осуществляется на основании следующих документов:

Проектирование электроустановок осуществляется в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок издания 6-е и 7-е (ПУЭ).

Требования к организации учета электрической энергии указаны в главе 1.5. ПУЭ и в разделе 16, 17 «Учет электроэнергии, измерительные приборы» СП 31-110-2003 «Свода правил по проектированию и строительству». Также проектирование осуществляется на основании ряда Государственных стандартов РФ, руководящих документов, ведомственных норм и правил, технических циркуляров и других документов.

Исходные данные для выполнения проекта жилого или общественного здания:

- акт о технологическом присоединении (при наличии) (Правила технологического присоединения, п. 19) — для реконструируемых электроустановок.

- акт разграничения сетей по имущественной (балансовой) принадлежности и эксплуатационной ответственности между энергоснабжающей (сетевой) организацией и Потребителем (для реконструируемых электроустановок) при наличии (ПТЭЭП, п. 1.8.1, Правила технологического присоединения, п. 19).

Основные требования к составу проектной документации содержатся в Постановлении Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» и в ГОСТе Р 21.1101-2013 СПДС «Основные требования к проектной и рабочей документации».

3 Практическая часть

3.1 Расчет электрических нагрузок

Суммарная расчетная мощность здания:

$$P_{об.} = K \cdot (P_{р.роз.} + P_{р.осв.} + P_{р.суш.} + P_{р.уч.об.} + P_{р.отоп.} + P_{р.пищ.} + P_{р.стан.}) \text{ кВт},$$

где $K=0,95$ – коэффициент несовпадения расчетных максимумов [19];

$P_{р.роз.}$ – мощности розеточной группы;

$P_{р.осв.}$ – мощность осветительной нагрузки ;

$P_{р.нагрев.}$ – мощность системы водонагревателей (бойлеры) ;

$P_{р.суш.}$ – мощность сушилок для рук;

$P_{р.уч.об.}$ – мощность учебного оборудования;

$P_{р.пищ.}$ – мощность оборудования пищеблока;

$P_{р.стан.}$ – мощность насосной станции.

Расчет осветительной нагрузки :

$$P_{р.освет.нагр.} = P_{освет.} \cdot K_c = 4,76 \cdot 0,95 = 4,52 \text{ кВт},$$

где $P_{освет.}$ – суммарная мощность осветительной нагрузки ;

$K_c=0,95$ – расчетный коэффициент спроса, [19].

Расчет мощности розеточной группы :

$$P_{р.роз.гр} = P_{уд.р} \cdot n \cdot K_c = 0,06 \cdot 101 \cdot 0,2 = 1,2 \text{ кВт},$$

где $P_{уд.р}$ – установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт;

n – число розеток;

$K_c=0,2$ – расчетный коэффициент спроса, [19].

Расчет мощности водонагревателей:

$$P_{р.нагрев.} = P_{нагрев.} \cdot K_c = 30 \cdot 0,9 = 27 \text{ кВт},$$

где $P_{нагрев.прибор.}$ – мощность системы водонагревателей;

$K_c=0,9$ – расчетный коэффициент спроса, [19].

Расчет мощности сушилок для рук:

$$P_{р.суш.} = P_{с.р.} \cdot K_c = 6 \cdot 0,4 = 2,4 \text{ кВт},$$

где $P_{с.р.}$ – мощность сушилок ;

$K_c=0,4$ – расчетный коэффициент спроса, [19].

Расчет мощности учебного оборудования:

$$P_{р.уч.об.} = P_{учеб.об.} \cdot K_c = 23,375 \cdot 0,15 = 3,51 \text{ кВт},$$

где $P_{учеб.об.}$ – мощность учебного оборудования;
 $K_c=0,15$ – расчетный коэффициент спроса, [19].
Расчет мощности оборудования пищеблока:

$$P_{р.пищ.} = P_{пищ.} \cdot K_c = 30,8 \cdot 0,65 = 20,02 \text{ кВт},$$

где $P_{пищ.}$ – мощность оборудования пищеблока;
 $K_c=0,65$ – расчетный коэффициент спроса, [19].
Расчет мощности водонапорной станции:

$$P_{р.стан.} = P_{стан.} \cdot K_c = 0,6 \cdot 0,5 = 0,3 \text{ кВт},$$

где $P_{стан.}$ – мощность станции;
 $K_c=0,5$ – расчетный коэффициент спроса, [19].

Определяем расчетную электрическую нагрузку ЭП в целом по школе:

$$P_{р.об.} = K \cdot (P_{р.роз.} + P_{р.осв.} + P_{р.суш.} + P_{р.уч.об.} + P_{р.нагрев.} + P_{р.пищ.} + P_{р.стан.}) = 0,95 \cdot (4,52 + 1,2 + 27 + 2,4 + 3,51 + 20,02 + 0,3) = 56,1 \text{ кВт}$$

Определим полную расчетную мощность электропотребителя:

$$S_p = P_{р.об.} / \cos\varphi = 56,1 / 0,95 = 58,95 \text{ кВа},$$

где $P_{р.об.}$ – общая расчетная активная мощность школы;
 $\cos\varphi = 0,95$ – коэффициент мощности школы, [19].

Расчет электрических нагрузок первого уровня электроснабжения.

Расчетную нагрузку, создаваемую одним приемником электроэнергии принимают равной номинальной мощности приемника. По этой нагрузке выбираем сечение питающей линии и коммутационно защитную аппаратуру.

Расчет первого уровня электроснабжения на примере ЭП:

№3 – мармита универсального:

$$P=2,2 \text{ кВт}; \cos\varphi = 0,6; U=220 \text{ В}; K=5.$$

Определим полную мощность электропотребителя:

$$S = P / \cos\varphi, \text{кВа} \quad (3.1)$$

$$S = 2,2 / 0,6 = 3,6, \text{кВа}$$

Определим расчетный ток электропотребителя:

$$I = S / U, \text{А}, \quad (3.2)$$

$$I = 3,66 / 220 \cdot 1000 = 16,6 \text{ А}.$$

Определим ток пусковой электропотребителя:

$$I_{\text{пуск}} = I \cdot K, \text{ А}$$

где K – кратность пускового тока.

$$I_{\text{пуск}} = 16,6 \cdot 5 = 83 \text{ А}$$

Аналогичные расчеты производим и для остальных электроприемников, полученные результаты расчетов сведем в таблицу 3.1

Таблица 3.1 – Расчет первого уровня электроснабжения

№	Наименования	кол-во	P, кВт	класс U,В	cosφ	S, кВа	I, А	I _{пуск} , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Микроволновая печь	2	0,8	220	0,8	1	4,5	-
2	Станция насосная	1	0,6	220	0,6	1	4,5	22,5
3	Мармит универсальный	1	2,2	220	0,6	3,66	16,6	83
4	Проектор	1	0,35	220	0,9	0,38	1,7	8,5
5	Настольный компьютер	5	0,15	220	0,7	0,21	0,95	-
6	Холодильник	2	0,5	220	0,65	0,77	3,5	17,5
7	Швейная машинка	3	0,09	220	0,85	0,1	0,45	2,25
8	Сушилка для рук	3	2	220	0,9	2,22	10,09	-
9	Устройство для подачи звонков	1	0,001	220	0,9	0,0011	0,005	-
10	Звонок	2	0,004	220	0,9	0,0044	0,02	-
11	Эл.плита	2	10	220	0,95	10,5	16	-
12	Принтер	3	0,1	220	0,7	0,14	0,63	-
13	Бойлер	6	5	380	0,95	5,26	8	-
14	Эл. Чайник	2	3	220	0,8	3,75	17,04	-
15	Розетка электрическая	101	0,06	220	0,9	0,066	0,3	-

Расчет электрических нагрузок второго уровня электроснабжения, определение нагрузки создаваемой группой электроприемников, присоединенных к силовому щиту производится для выбора сечения линии, питающей эту группу и коммутационной защитной аппаратуры.

Расчет мощности электроприемников на силовом щите, осуществляется по формуле:

$$P_{рас} = K_c \cdot P_{\Sigma усг}. \text{ Вт}, \quad (3.3)$$

где, K_c – коэффициент спроса.

Данные для расчета электроснабжения для ЩС 1 линии 1:

Бойлер: $P_1=5000$ Вт ;

$P_2=5000$ Вт;

$K_c=0,9$;

$\cos\varphi =0,95$;

$U=380$ В.

Определим суммарную мощность электроприёмников :

$$P_{сумм}=P_1+P_2, \text{Вт} \quad (3.4)$$

$$P_{сумм} = 5000+5000=10000 \text{ Вт}$$

Определим расчетную мощность:

$$P_{рас} = 0,9 \cdot 10000=9000 \text{ Вт}$$

Определим полную расчетную мощность:

$$S_{рас}=P_{рас}/\cos\varphi, \text{ВА} \quad (3.5)$$

$$S_{рас} = 9000 /0,95=9473,7 \text{ ВА}$$

Определим расчетный ток:

$$I_{рас}=S_{рас}/\sqrt{3} \cdot U, \text{А} \quad (3.6)$$

$$I_{рас} =9473,7 /\sqrt{3} \cdot 0,38= 14,4 \text{ А}$$

Аналогичные расчеты производим и для остальных линий и ЩС, полученные результаты расчетов сведем в таблицу 3.2, 3.3, 3.4.

Таблица 3.2 – Расчет второго уровня электроснабжения (вариант 1)

№	Наименование ЭП	Количество ЭП n, шт	P, Вт	K _с	P _{РАСЧ.} , Вт	Срасч ,ВА	Iр, А
1	2	3	4	5	6	7	8
ЩС 1							
линия 1							
	Бойлер	2	5000				
	Итого:	2	10000	0,9	9000	9473,7	14,4
линия 2							
	Бойлер	2	5000				
	Итого:	2	10000	0,9	9000	9473,7	14,4
линия 3							
	Бойлер	2	5000				
	Итого:	2	10000	0,9	9000	9473,7	14,4
Линия 4	Розетки тех.помещения 9,11	3	60				
	Швейная машинка	3	90				
	Итого:	6	450	0,2	90	100	0,45
ЩС 1			30450	0,72	21924	23077	30
ЩС 2							
линия 1							
	Роз. группа помещения 23,26,22,25,24	15	60				
	Звонок	1	4				
	Итого:	16	904	0,2	180	200	0,9
линия 2							
	Микроволновая печь	2	800				
	Итого:	2	1600	0,65	1040	1300	5,9
линия 3							
	Эл. Чайник	2	3000				
	Итого:	2	6000	0,65	3900	4875	22,1
линия 4	Сушилка для рук	3	2000				
	Итого:	3	6000	0,4	2400	2666	12,1
ЩС 2		23	14504	0,47	6816	8018	12,1
ЩС 3							
линия 1							
	Электроплита	1	10000				
	Итого:	1	10000	0,65	6500	6842	31,1
линия 2							
	Электроплита	1	10000				
	Итого:	1	10000	0,65	6500	6842	31,1
линия 3							
	Холодильник	2	500				
	Роз.пищеблока	3	60				
	Итого:	5	1180	0,42	495	660	2,9

Продолжение таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
ЩС 3		7	21180	0,59	12496	14701	22,3
ЩС 4							
линия 1							
	Станция насосная	1	600				
	Итого:	1	600	0,5	300	500	2,27
линия 2							
	Мармит универсальный	1	2200				
	Итого:	1	2200	0,5	1100	1833	8,3
линия 3							
	Сверлильный станок	1	350				
	Итого:	1	350	0,5	175	194	0,8
Линия 4	Роз.помещений 27,28,29,20,19,16,15,17,18, 32,33	25	60				
	Звонок	1	4				
	Устройство подачи звонков	1	1				
	Итого:	27	1505	0,16	240	266	1,2
ЩС 4		30	4655	0,55	2560	3200	4,85
ЩС 5							
линия 1							
	Настольный компьютер	5	150				
	Роз помещения	6	60				
	Итого:	11	1110	0,16	177,6	222	1
линия 2							
	Роз.помещений 2,13,12,8,7	15	60				
	Звонок	1	4				
	Принтер	3	100				
	Итого:	19	1004	0,16	160	192	0,87
линия 3							
	Роз.помещения 3,4,5,6,7,8,1,14	39	60				
	Итого:	39	2340	0,2	468	520	2,3
ЩС 5			4454	0,17	757	841	1,27

Таблица 3.3– Расчет второго уровня электроснабжения (вариант 2)

№	Наименование ЭП	Количество ЭП, шт	P, Вт	K _C	P _{расч} , Вт	S _{расч} , ВА	I _p , А
1	2	3	4	5	6	7	8
ЩС 1							
линия 1							
	Бойлер	2	5000				
	Итого:	2	10000	0,9	9000	9473,7	14,4
линия 2							
	Бойлер	2	5000				
	Итого:	2	10000	0,9	9000	9473,7	14,4
линия 3							
	Бойлер	2	5000				
	Итого:	2	10000	0,9	9000	9473,7	14,4
ЩС 1			30000	0,9	27000	28421	43,2
ЩС 2							
линия 1							
	Сушилка для рук	3	2000				
	Итого:	3	6000	0,4	2400	2666	12,1
линия 2							
	Звонок	1	100				
	Розетки помещения 23,24,25,22,28,27,29	20	60				
	Итого:	21	1300	0,2	260	288	1,3
линия 3							
	Швейная машинка	3	90				
	Итого:		270	0,15	40,5	47,6	0,21
ЩС 2			7570	0,3	2271	2671	4,05
ЩС 3							
линия 1							
	Электроплита	1	10000				
	Итого:	1	10000	0,65	6500	6842	31,1
линия 2							
	Электроплита	1	10000				
	Итого:	1	10000	0,65	6500	6842	31,1
линия 3							
	Микроволновая печь	2	800				
	Итого:	2	1600	0,65	1040	1300	5,9
линия 4							
	Эл. чайник	2	3000				
	Итого:	2	6000	0,65	3900	4875	22,1
линия 5							
	Холодильник	2	500				
	Роз.пищеблока 26	3	60				
	Итого:	5	1180	0,42	495	660	2,9
ЩС 3		11	28780	0,6	17268	19186	29,1

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8
ЩС 4							
линия 1							
	Станция насосная	1	600				
	Итого:	1	600	0,5	300	500	2,27
линия 2							
	Мармит универсальный	1	2200				
	Итого:	1	2200	0,5	1100	1833	8,3
Линия 3							
	Проектор	1	350				
	Итого:	1	350	0,5	175	194	0,8
линия 4							
	Роз.помещений 17,16,15,18,20,33,32,19	25	60				
	Звонок	1	4				
	Устройство подачи звонков	1	1				
	Итого:	27	1505	0,16	240	266	1,2
ЩС 4		30	4655	0,55	2560	3200	4,85
ЩС 5							
линия 1							
	Настольный компьютер	5	150				
	Роз помещения 1,2	6	60				
	Итого:	11	1110	0,16	177,6	222	1
линия 2							
	Роз. помещений(2,9,11,12)	15	60				
	Звонок	1	4				
	Принтер	3	100				
	Итого:	19	1004	0,16	160	192	0,87
линия 3							
	Роз. помещения 1,3,4,5,6,7,8,14,13	39	60				
	Итого:	39	2340	0,2	468	520	2,3
ЩС 5			4454	0,17	757	841	1,27

Таблицы 3.4 - Освещение (первый этаж)

1	2	3	4	5	6	7	8
ЩО 1							
линия 1							
	Помещения 29,27,28,24,25,26,23,22, 20	20	18-40				
	Итого:	20	840	0,85	714	751	3,4
линия 2							
	Помещения 10,17	22	33-40				
	Итого:	22	761	0,85	646,8	680	3
линия 3							
	Помещения 20,,32,33,34,30,21	29	12-82				
	Итого:		1434	0,85	1218	1282	5,8
Итого ЩО 1			3035	0,85	2579	2711	12,3
ЩО 2							
линия 1							
	Помещения 19,21	28	18-40				
	Итого:		1050	0,85	892	938	4,2
линия 2							
	Помещения 15,18,16	18	15-40				
	Итого:		535	0,85	454	478	2,1
линия 3							
	Помещения 17,33,21,32	20	8-82				
	Итого:		1052	0,85	894	941	4,2
Итого ЩО 2			2637	0,85	2241	2358	10,7
ЩАО 1							
линия 1							
	Помещения 19,31,30	20	3				
	Итого:	20	60	0,85	51	53	0,24
Итого ЩАО 1			60	0,85	51	53	0,24
ЩО 3							
линия 1							
	Помещения 2,9,10	26	20-51				
	Итого:	26	1024	0,85	870	916	4,1
линия 2							
	Помещения 11,12,13	23	12-40				
	Итого:	23	807	0,85	685	722	3,2
линия 3							
	Помещения 14	21	12-40				
	Итого:		693	0,85	589	620	2,8
Итого ЩО 3			2524	0,85	2145	2259	10,2

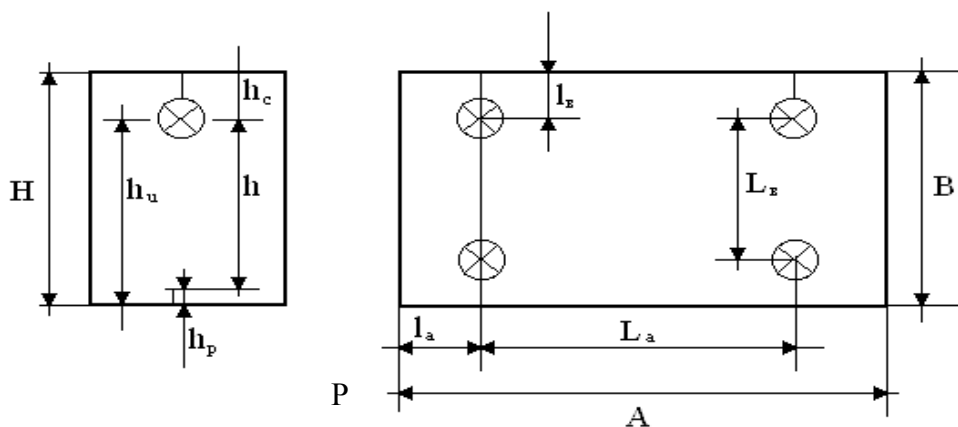
Окончание таблицы 3.4

ЩО 4							
линия 1							
	Помещения 3,5,6,4	28	18-40				
	Итого:		1050	0,8 5	892	938	4,2
линия 2							
	Помещения 7,8,1	10	15-40				
	Итого:		535	0,8 5	454	478	2,1
Итого ЩО 4			2637	0,8 5	2241	2358	10,7
ЩАО 2							
линия 1							
	Помещения 14	21	3				
	Итого:		45	0,8 5	38,2	40	0,18
Итого ЩАО 1			45	0,8 5	38,2	40	0,18

3.2 Светотехнический расчет электрического освещения

Расчет рабочего освещения начнем с учебных помещений.

В учебных помещениях следует применять систему общего освещения. Светильники располагаются параллельно светонесущей стене на расстоянии 1,2 м от наружной стены и 1,5 м от внутренней. Светильники со светодиодами располагаются с учетом требований по ограничению показателя дискомфорта в соответствии с гигиеническими требованиями к естественному, искусственному, совмещенному освещению жилых и общественных зданий.



h_c – высота подвески светильников, м; h_p – высота рабочей поверхности, м; h_u – высота подвеса светильников над полом, м; h – расчетная высота, м; H – высота здания, м; L_a – расстояние от стенки до светильников в поперечной оси, м;

L_b – расстояние от стенки до светильников в продольной оси, м; L_a – расстояние между светильниками в продольной оси, м; L_b – расстояние между светильниками в поперечной оси, м; A – длина помещения, м; B – ширина помещения, м

Рисунок 3.1 – Размещение светильников

Основное требование при выборе расположения светильников заключается в доступности при их обслуживании. Кроме того, размещение светильников определяется условие экономичности. Исследования, проведенные «Научным центром здоровья детей», показали, что светодиодные светильники не просто подходят для использования в образовательных учреждениях, но положительно влияют на психоэмоциональное состояние детей.

Использование люминесцентных ламп в освещении школы не только неэффективно, но и небезопасно: если такие лампы разбиваются, дети и учителя рискуют отравиться парами ртути, как это уже неоднократно случалось. Светодиодные светильники не содержат и не выделяют ртути и каких-либо других вредных веществ.

Согласно нормам, коэффициент пульсации светильников для детских образовательных учреждений не должен превышать 10%. У люминесцентных ламп этот показатель достигает 25-40%. Коэффициент пульсации светодиодных светильников <4%, что заверено протоколом измерений и оценки световой среды.

С помощью светодиодных светильников легко обеспечить освещение в соответствии с СанПиН в любых помещениях школы: в классах, кабинетах информатики, спортзале и т. д. Светодиодное освещение школы одобрено Роспотребнадзором.

Светодиодное освещение школы бережет зрение учеников. Благодаря бестеневому эффекту LED-светильников, глаза школьников меньше напрягаются, дети меньше утомляются и активнее впитывают знания.

У светодиодных светильников нет расходных элементов, т.е. менять и утилизировать лампы не нужно. Такие светильники не требуют обслуживания и стабильно работают свыше 75 000 часов без снижения светового потока.

Светодиодные светильники защищены прочными рассеивателями из поликарбоната, которые чрезвычайно сложно разбить.

По многочисленным исследованиям, самое комфортное для человека освещение в помещении - это естественное дневное. Спектр свечения светодиодных светильников максимально близок к солнечному. Такой свет благотворно влияет на процесс обучения, ведь он улучшает самочувствие и настроение учителей и учеников.

Поэтому для рабочего и аварийного освещения применим светодиодные светильники.

Для примера расчета рабочего освещения учебных помещений возьмем класс «Химии» (на плане школы обозначен (9))

Размеры класса: $A \times B \times H = 11 \times 6,1 \times 3$ м. Высота расчетной поверхности $h_p = 0,7$ м, светильник крепится к потолку.

Расстояние от светильника до рабочей поверхности:

$$\begin{aligned} h &= H_{\text{ц}} - h_p, \\ h &= 3 - 0,7 = 2,3 \text{ м.} \end{aligned} \quad (3.7)$$

где $\lambda = L/h$ – расстояние между светильниками к расчетной высоте.
Принимаем для расчета $\lambda_3 = 1,6$ для ламп с косинусной ксс.

$$\begin{aligned} L_A &= \lambda_3 \cdot h, \\ L_A &= 1,6 \cdot 2,3 = 3,68 \text{ м.} \end{aligned} \quad (3.8)$$

В ряду можно разместить 3 светильника, тогда расстояние от крайних светильников до стены:

$$\begin{aligned} 2 \cdot l_A &= 11 - 3,68 \cdot 2 = 3,64 \text{ м.} \\ l_a &= 1,82 \text{ м.} \end{aligned}$$

Принимаем число рядов $m=2$, тогда $L_B = (6,1 - (1,5 + 1,2)) / 1 = 3,4$ м.

Так как расстояние от стен будет равно 1,5 и 1,2 метра, согласно СанПиН 2.4.2.2821-10

Общее число светильников:

$$N = 3 \cdot 2 = 6 \text{ шт.}$$

Проверка:

$$\frac{L_A}{L_B} = \frac{3,68}{3,4} = 1,08 < 1,5.$$

Расчет осветительной установки

Задачей расчета осветительной установки является определение числа и мощности источника света или определение фактической освещенности, создаваемой спроектированной установкой. Расчет освещения выполняется методом коэффициента использования светового потока, т.к. нет крупных затеняющих предметов. При расчете по этому методу световой поток ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещенности, определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{ЗАП} \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (3.9)$$

где $K_{ЗАП}$ – коэффициент запаса;

F - площадь освещаемой поверхности, m^2 ;

$z = \frac{E_{СП}}{E_H}$ – коэффициент минимальной освещенности (для светодиодных

светильников $z=1$);

N - число светильников;

η - коэффициент использования светового потока источника света.

По значению Φ выбирается стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался от расчетного значения на -10% $+20\%$. Коэффициент использования светового потока является функцией индекса помещения i , который определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

где A – длина помещения, м;

B – ширина помещения, м;

h – расчетная высота, м.

Индекс помещения:

$$i = \frac{11 \cdot 6,1}{2,3 \cdot (11 + 6,1)} = 1,7.$$

Принимаем $\rho_{П}=0,7$; $\rho_{СТ}=0,5$; $\rho_{Р}=0,30$,

где $\rho_{П}, \rho_{СТ}, \rho_{Р}$ - коэффициенты отражения поверхностей.

$\eta=0,7$ – коэффициент использования светового потока.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1 \cdot 67,1 \cdot 1}{6 \cdot 0,7} = 4792 \text{ Лм.}$$

Выбираем Светодиодный светильник Philips 51 Вт с $\Phi_{НОМ}=4800$ Лм.

$$\Delta\Phi = \frac{4800 - 4792}{4800} \cdot 100 = 0,16 \text{ \%}.$$

$-10 < -6\%$, что допустимо.

Для освещения классной доски будем использовать светодиодный светильник «Вартон» мощностью 18 Вт, с освещенностью 500 Люкс, согласно п.7.2.4 СанПиН 2.4.2.2821-10. Устанавливается «Вартон» согласно п.7.2.6. СанПиН 2.4.2.2821-10 выше верхнего края доски на 0,3 м. и на 0,6 м. в сторону класса перед доской.

Расчет остальных помещений сведен в таблицы 3.5 – 3.37

Таблица 3.5. – Освещение кабинета директора(1) на плане)

АхВхН,м	h,м	L_A ,м	l_a ,м	m	L_B ,м	l_b ,м	N	i	η	E_H ,Лк	Φ ,Лм	,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,44x5,57x3	2,3	-	1,47	2	3,1	1,5	3	0,86	0,46	300	2918	0,62
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 33 Вт с $\Phi_{НОМ}=2900$ Лм									

Таблица 3.6.– Освещение кабинета учительская((2) на плане)

АхВхН,м	h,м	L_A ,м	l_a ,м	m	L_B ,м	l_b ,м	N	i	η	E_H ,Лк	Φ ,Лм	$\Delta\Phi$,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,38x5,55x3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	6	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с $\Phi_{НОМ}=3400$ Лм									

Таблица 3.7. – Освещение кабинета информатики((3) на плане)

АхВхН,м	h,м	L_A ,м	l_a ,м	m	L_B ,м	l_b ,м	N	i	η	E_H ,Лк	Φ ,Лм	$\Delta\Phi$,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,67x5,46x3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	8	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с $\Phi_{НОМ}=3400$ Лм									

Таблица 3.8. – Освещение кабинета русского языка ((4) на плане)

АхВхН,м	h,м	L_A ,м	l_a ,м	m	L_B ,м	l_b ,м	N	i	η	E_H ,Лк	Φ ,Лм	$\Delta\Phi$,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,6x5,46x3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	8	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с $\Phi_{НОМ}=3400$ Лм									

Таблица 3.9. – Освещение кабинета математики((5) на плане)

АхВхН,м	h,м	L_A ,м	l_a ,м	m	L_B ,м	l_b ,м	N	i	η	E_H ,Лк	Φ ,Лм	$\Delta\Phi$,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,02x5,57x3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	8	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с $\Phi_{НОМ}=3400$ Лм									

Таблица 3.10. – Освещение кабинета иностранного языка((6) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4,9x5,57x3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	8	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм									

Таблица 3.11. – Освещение кабинета библиотека((7) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,65x5,57x3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	4	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм									

Таблица 3.12. – Освещение склад книг((8) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,73x5,57x3	2,3	-	1,31	2	3,1	1,5	4	0,79	0,46	150	2605	10,1
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лайт 33 Вт с Φ _{НОМ} =2900 Лм									

Таблица 3.13 – Освещение кабинета технология((9) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,59x7,36x3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	11	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм									

Таблица 3.14. – Освещение лаборантские((10) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,44x4,37x3	2,3	-	1,1	2	3,1	1,5	2	0,7	0,35	75	1437	-2,6
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник ILLUMINEX 20 Вт с Φ _{НОМ} =1400 Лм									

Таблица 3.15. – Освещение кабинета химии и биологии((11) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,66x7,29x3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	11	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм									

Таблица 3.16. – Освещение музея((12) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,66,х2,74х3	2,3	-	1,31	2	3,1	1,5	2	0,79	0,46	150	2605	10,1
Выбранный светильник:		Светодиодный Светильник Лайт 33 Вт с Φ _{НОМ} =2900 Лм										

Таблица 3.17. – Освещение склад помещения((13) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,95х5,54х3	2,3	-	1,31	2	3,1	1,5	2	0,79	0,46	75	2605	10,1
Выбранный светильник:		Светодиодный Светильник Лайт 33 Вт с Φ _{НОМ} =2900 Лм										

Таблица 3.18 – Освещение Коридора 2 этаж ((14) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36,51х4,9х3	3	3,68	0,4	1	-	1,45	25	0,4	0,35	150	2741	5,48
Выбранный светильник:		Светодиодный Светильник Лайт 33 Вт с Φ _{НОМ} =2900 Лм										

Таблица 3.19 – Освещение кабинета №3((15) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,97х5,51х3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	6	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:		Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм										

Таблица 3.20. – Освещение кабинета №4((16) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7,29х5,51х3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	8	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:		Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм										

Таблица 3.21. – Освещение кабинета №2((17) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7,35х5,58х3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	8	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:		Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм										

Таблица 3.22. – Освещение кабинета №1((18) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7,41х5,51х3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	8	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:		Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм										

Таблица 3.23. – Освещение Коридора 2 этаж ((19) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36,51x4,9x3	3	3,68	0,4	1	-	1,45	21	0,4	0,35	150	2741	5,48
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лайт 33 Вт с Φ _{НОМ} =2900 Лм									

Таблица 3.24. – Освещение гардероба ((20) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4,36x5,58x3	3	3,68	1,4	2	2,8	1,5	5	1,3	0,75	300	3807	0,18
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Galad 40 Вт с Φ _{НОМ} =3800 Лм									

Таблица 3.25. – Освещение туалета ((21) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,54x2,06x3	3	3,68	1,26	1	-	1,2	2	0,8	0,46	150	2397	6,25
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Feron 30 Вт с Φ _{НОМ} =2400 Лм									

Таблица 3.26. – Освещение обеденного зала №1 ((22) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6,8x2,8x3	3	3,68	1,57	1	-	1,4	2	0,31	0,75	300	3808	-0,21
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Galad 40 Вт с Φ _{НОМ} =3800 Лм									

Таблица 3.27. – Освещение кухни ((23) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,43x6,39x3	3	3,68	1,26	1	-	1,2	2	0,8	0,46	150	2397	6,25
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Feron 30 Вт с Φ _{НОМ} =2400 Лм									

Таблица 3.28. – Освещение кухни ((24) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,38x4,09x3	3	3,68	1,26	1	-	1,2	2	0,8	0,46	150	2397	6,25
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Feron 30 Вт с Φ _{НОМ} =2400 Лм									

Таблица 3.29. – Освещение кухни ((25) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,14x4,11x3	3	3,68	1,26	1	-	1,2	2	0,8	0,46	150	2397	6,25
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Feron 30 Вт с Φ _{НОМ} =2400 Лм									

Таблица 3.30 – Освещение кухни((26) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,09х6,69х3	2,3	3,68	0,44	2	3,1	1,5	4	1,52	0,7	300	3500	-2,9
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 40 Вт с Φ _{НОМ} =3400 Лм									

Таблица 3.31 – Освещение тех.помещения ((27) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3,26х3,08х3	3	3,68	1,26	1	-	1,2	2	0,8	0,46	150	2397	6,25
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Feron 30 Вт с Φ _{НОМ} =2400 Лм									

Таблица 3.32 – Освещение тех.помещения ((28) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,17х3,10х3	3	3,68	1,26	1	-	1,2	2	0,8	0,46	150	2397	6,25
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Feron 30 Вт с Φ _{НОМ} =2400 Лм									

Таблица 3.33. – Освещение актового зала ((29) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,55х9,5х3	3	2,5	1,06	2	3,68	1,5	6	0,76	0,7	300	3642	4,1
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Galad 40 Вт с Φ _{НОМ} =3800 Лм									

Таблица 3.34. – Освещение лестницы ((30) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,88х,2.74х3	3	-	0,6	1	-	1,6	2	0,43	0,35	75	822	13
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Feron 12 Вт с Φ _{НОМ} =960 Лм									

Таблица 3.35. – Освещение лестницы ((31) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2,74х,5,88х3	3	-	0,6	1	-	1,6	2	0,43	0,35	75	822	13
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Feron 12 Вт с Φ _{НОМ} =960 Лм									

Таблица 3.36. – Освещение спорт зала ((32) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _B ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12,94x7,9x5 4,53x5,95x5	5	5,6	0,6	2	4,4	2,3	10	1,14	0,6	200	6750	3,5
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лидер Лайт 82 Вт с Φ _{НОМ} =7000 Лм									

Таблица 3.37. – Освещение тех. Помещение ((33) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _B ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,62x2,4x3	3	-	1,31	2	3,1	1,5	2	0,79	0,46	150	2605	10,1
Выбранный светильник:			Светодиодный Светильник Лайт 33 Вт с Φ _{НОМ} =2900 Лм									

Расчет аварийного освещения

Расчет аварийного освещения производим по аналогии с расчетом рабочего освещения.

Светильники аварийного освещения монтируются на потолке на высоте h=3м.

Принимаем λ_э=1,8 для для ламп с косинусной кривой силы света.

$$L_A = \lambda_{\text{э}} \cdot h, \quad (3.10)$$

$$L_A = 1,8 \cdot 3 = 5,4 \text{ м.}$$

Для примера расчета аварийного освещения возьмем коридор №1 (на генплане школы обозначен (17))

Размеры коридора: АхВхН=3,8x9,3x3 м.

В ряду можно разместить n=2 светильников, тогда расстояние от крайних светильников до стены:

$$l_B = 9,3 - 5,4 = 3,9 \text{ м.}$$

$$l_b = 1,95 \text{ м.}$$

Принимаем число рядов m=1, тогда L_B=0:

$$l_a = \frac{3,8}{2} = 1,9 \text{ м}$$

Общее число светильников:

$$N = 2 \cdot 1 = 2 \text{ шт.}$$

Коэффициент использования светового потока по формуле:

$$i = \frac{3,8 \cdot 9,3}{3 \cdot (13,64 + 9,3)} = 0,89.$$

Тогда коэффициент использования светового потока составит:

$$\eta = 0,54$$

Норма аварийной освещенности составляет 5% от нормированной освещенности рабочего освещения:

$$E_H = 0,05 \cdot 75 = 3,75 \text{ лк.}$$

Коэффициент запаса для светильников аварийного освещения:

$$K_{ЗАП} = 1,5$$

По формуле световой поток одной лампы:

$$\Phi = \frac{3,75 \cdot 1,5 \cdot 35,34 \cdot 1}{2 \cdot 0,54} = 184 \text{ Лм.}$$

Выбираем светодиодную лампу Navigator 3 Вт с $\Phi_{НОМ}=190$ Лм.
Отклонение светового потока:

$$\Delta\Phi = \frac{190 - 184}{190} \cdot 100 = 3,1 \text{ \%}.$$

3,1 < 20%, что допустимо.

Расчет аварийного освещения в остальных помещениях сведем в таблицы:

Таблица 3.38. – Аварийное освещение коридора 2 этажа ((14) на плане)

АхВхН,м	h,м	L_A ,м	l_a ,м	m	L_B ,м	l_b ,м	N	i	η	E_H ,Лк	Φ ,Лм	$\Delta\Phi$,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36,51x4,9x3	3	5,4	3	1	-	1,9	12	0,9	0,54	3,75	164,7	3,1
Выбранный светильник:			Светодиодная лампа Navigator 3 Вт с $\Phi_{НОМ}=170$ Лм.									

Таблица 3.39. – Аварийное освещение коридора 1 этажа ((19) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
36,51x4,9x3	3	5,4	3	1	-	1,9	12	0,9	0,54	3,75	164,7	3,1
Выбранный светильник:			Светодиодная лампа Navigator 3 Вт с Φ _{НОМ} =170 Лм.									

Таблица 3.40 – Аварийное освещение лестницы((30) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,88x,2.7x3	3	-	1,4	1	-	3,2	1	0,8	0,51	7,5	505	-1
Выбранный светильник:			Светодиодная лампа Navigator 7 Вт с Φ _{НОМ} =500 Лм.									

Таблица 3.41 – Аварийное освещение лестницы((31) на плане)

АхВхН,м	h,м	L _A ,м	l _a ,м	m	L _B ,м	l _b ,м	N	i	η	E _H ,Лк	Φ,Лм	ΔΦ,%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
5,88x,2.7x3	3	-	1,4	1	-	3,2	1	0,8	0,51	7,5	505	-1
Выбранный светильник:			Светодиодная лампа Navigator 7 Вт с Φ _{НОМ} =500 Лм.									

Мощность осветительной нагрузки школы

Мощность освещения определяется по формуле:

$$S_{\text{осв}} = \sqrt{P_{\text{осв}}^2 + Q_{\text{осв}}^2}, \quad (3.11)$$

где активная мощность освещения:

$$P_{\text{осв}} = NP_{\text{НОМ}}K_cK_{\text{пра}}, \quad (3.12)$$

N – количество ламп;

P_{НОМ} – номинальная мощность светильника, кВт;

K_c – коэффициент спроса, K_c = 0,85 – для зданий, состоящих из малых отдельных помещений; K_c = 1 – для наружного освещения;

K_c = 1 – для аварийного освещения.

K_{пра} – коэффициент пускорегулирующей аппаратуры, для светодиодных ламп

$$K_{\text{пра(СЛ)}} = 1,0;$$

реактивная нагрузка осветительной сети:

$$Q_{\text{осв}} = P_{\text{осв}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.13)$$

где коэффициент мощности:

для светодиодных ламп $\cos \varphi_{\text{сл}} = 0,95$.

Расчет мощности освещения представим в таблице 3.42

Таблица 3.42 – Расчет мощности освещения

Вид освещения	N	K _c	K _{пра}	cosφ	tgφ	P _{осв} , кВт	Q _{осв} , кВар	S _{осв} , кВА
Рабочее	123	0,85	1	0,95	0,33	4,52	2,81	8,9
Аварийное	26	1				0,1	0,033	0,1
Итого	149					4,53	1,8	9

Использование светодиодных светильников позволило существенно снизить энергопотребление освещения, в сравнении с другими видами осветительных элементов.

3.3 Технико-экономическое сравнение вариантов силовой сети

3.3.1 Выбор сечений кабельных линий

Таблица 3.43 – Выбор сечений проводов и кабельных линий(вариант 1).

№	I _р , А	Марка кабеля	I _{доп} ,А	Г _{уд.кл} , Ом/км	Х _{уд.кл} , Ом/км
1	2	3	4	5	6
ЩС 1	30	ВВГнгLS - 5x10	61	1,84	0,099
ЩС 2	12,1	ВВГнгLS – 3x1,5	19	12,1	0,126
ЩС 3	22,3	ВВГнгLS – 3x4	34	4,61	0,107
ЩС 4	4,85	ВВГнгLS – 3x1,5	19	12,1	0,126
ЩС 5	1,27	ВВГнгLS – 3x1,5	19	12,1	0,126

Таблица 3.44 – Выбор сечений проводов и кабельных линий(вариант 2).

№	I _р , А	Марка кабеля	I _{доп} ,А	Г _{уд.кл} , Ом/км	Х _{уд.кл} , Ом/км
1	2	3	4	5	6
ЩС 1	42,2	ВВГнгLS - 5x10	61	1,84	0,099
ЩС 2	4,05	ВВГнгLS – 3x1,5	19	12,1	0,126
ЩС 3	29,1	ВВГнгLS – 3x4	34	4,61	0,107
ЩС 4	4,85	ВВГнгLS – 3x1,5	19	12,1	0,126
ЩС 5	1,27	ВВГнгLS – 3x1,5	19	12,1	0,126

Выбор сечений кабельной линий, отходящих от щитков до отдельных потребителей, сведем в таблицу 3.64

Таблица 3.45 – Выбор сечений проводов и кабельных линий (вариант 1)

№ линии	I _р , А	Марка кабеля	I _{доп} ,А	Г _{уд.кл} , Ом/км	Х _{уд.кл} , Ом/км
1	2	3	4	5	6
ЩС 1					
линия 1	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	12,1	0,126
линия 2	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	12,1	0,126
линия 3	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	12,1	0,126
линия 4	0,45	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩС 2					
линия 1	0,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	5,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	22,1	ВВГнгLS - 3x4	34	4,61	0,107
линия 4	12,1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩС 3					
линия 1	31,1	ВВГнгLS - 3x6	45	3,08	0,1
линия 2	31,1	ВВГнгLS - 3x6	45	3,08	0,1
линия 3	2,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126

Окончание таблицы 3.45 (вариант 1)

1	2	3	4	5	6
ЩС 4					
линия 1	2,27	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	8,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	0,8	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 4	1,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩС 5					
линия 1	1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	0,87	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	2,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126

Таблица 3.46 – Выбор сечений проводов и кабельных линий (вариант 2)

№ линии	Ip, А	Марка кабеля	Iдоп,А	г _{уд.кл.} , Ом/км	х _{уд.кл.} , Ом/км
1	2	3	4	5	6
ЩС 1					
1	2	3	4	5	6
линия 1	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	12,1	0,126
линия 2	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	12,1	0,126
линия 3	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	12,1	0,126
ЩС 2					
линия 1	12,1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	1,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	0,21	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩС 3					
линия 1	31,1	ВВГнгLS - 3x6	45	3,08	0,1
линия 2	31,1	ВВГнгLS - 3x6	45	3,08	0,1
линия 3	2,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 4	22,1	ВВГнгLS - 3x4	34	4,61	0,107
линия 5	2,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩС 4					
линия 1	2,27	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	8,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	0,8	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 4	1,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩС 5					
линия 1	1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	0,87	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	2,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126

Таблица 3.47 – Выбор сечений проводов и кабельных линий (освещение)

№ линии	Ip, А	Марка кабеля	Iдоп,А	г _{уд.кл.} , Ом/км	х _{уд.кл.} , Ом/км
1	2	3	4	5	6
ЩО 1					
1	2	3	4	5	6
линия 1	3,4	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	5,8	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩО 2					
линия 1	4,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	2,1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	4,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩО 3					
линия 1	4,1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	3,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 3	2,8	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩО 4					
линия 1	4,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
линия 2	2,1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩАО 1					
линия 1	0,24	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126
ЩАО 2					
линия 1	0,18	ВВГнгLS - 3x1,5	21	12,1	0,126

3.3.2 Выбор распределительных пунктов

Распределительные пункты выбираем исходя из количества присоединений и рабочего тока самого пункта, [22, стр187].

Таблица 3.48 – Выбор распределительных пунктов (вариант 1)

Наименование	расчетный ток, А	Тип РП	Число отходящих линий
1	2	3	4
ЩС 1	30	ПР11-3055-21у3	4
ЩС 2	12,1	ПР11-3008-21у3	4
ЩС 3	22,9	ПР11-1045-21у3	3
ЩС 4	4,58	ПР11-3008-21у3	4
ЩС 5	1,27	ПР11-3008-21у3	3

Таблица 3.49–Выбор распределительных пунктов (вариант 2)

Наименование	расчетный ток, А	Тип РП	Число отходящих линий
1	2	3	4
ЩС 1	43,2	ПР11-3055-21у3	3
ЩС 2	4,05	ПР11-3008-21у3	3
ЩС3	29,1	ПР11-1045-21у3	5
ЩС 4	4,85	ПР11-3008-21у3	4
ЩС 5	1,27	ПР11-3008-21у3	3

Таблица 3.50 – Выбор распределительных пунктов (освещение)

Наименование	расчетный ток, А	Тип РП	Число отходящих линий
1	2	3	4
ЩО 1	12,3	ЩО-П-1А-25-6 УХЛ4	3
ЩО 2	10,7	ЩО-П-1А-25-6 УХЛ4	3
ЩО 3	10,2	ЩО-П-1А-25-6 УХЛ4	3
ЩО 4	10,7	ЩО-П-1А-25-6 УХЛ4	2
ЩАО1	0,24	ЩО-П-1А-25-6 УХЛ4	1
ЩАО2	0,18	ЩО-П-1А-25-6 УХЛ4	1

Пункты распределительные ПР11 предназначены для распределения электроэнергии, защиты электрических установок напряжением до 660 В переменного тока частотой 50 и 60 Гц при перегрузках и коротких замыканиях.

3.3.3 Выбор коммутационно – защитных аппаратов.

Выбор автоматических выключателей производим по условию:

а) по номинальному току:

$$I_{\text{ср.рас}} \geq I_p, \quad (3.14)$$

где $I_{\text{ср.рас}}$ – номинальный ток автомата, А.

б) по номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{\text{НОМ.Т.В}} \geq K_H \cdot I_p, \quad (3.15)$$

где $I_{\text{НОМ.Т.В}}$ – номинальный ток срабатывания токовой отсечки, А;

$K_H = 1,1$ – коэффициент надежности.

в) Защиты автомат и защищаемая линия, должны быть согласованны по условию:

$$I_{\text{ср.рас}} \geq I_3, \quad (3.16)$$

$$I_{\text{ср.рас}} = \frac{K_{\text{ус.прок}} \cdot I_{\text{доп}}}{K_{\text{защ}}} \quad (3.17)$$

где $K_{\text{ус.прок}}$ – прокладочный коэффициент на условия прокладки кабеля [18]

$I_{\text{доп}}$ – длительный ток кабеля, А;

$K_{\text{защ}}$ – коэффициент защиты который равен 1, представляющий собой отношения длительного тока для провода или кабеля к параметру защитного устройства,[1];

I_3 – ток срабатывания автомата.

Таблица 3.51 – Выбор вводных автоматов на силовой пункт

№	I_p , А	сечение кабеля	$I_{\text{ном}}$, А	$K_{\text{ус.п}}^{\text{рок}}$	$K_{\text{защ}}$	$I_{\text{ср.рас}}$, А	Тип выключателя	номи нальный ток выключа теля, А	уставка по току срабаты вания, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вариант 1									
ВРУ	92,1	25	107	0,95	1	101,65	DS200 ABB	100	500
ЩС 1	30	10	61	0,95	1	42,75	ВА57Ф35 34	50	160
ЩС 2	12,1	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
ЩС 3	22,3	4	34	0,95	1	32,3	ВА57Ф35 34	31,5	100
ЩС 4	4,85	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
ЩС 5	1,27	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
Вариант 2									
ВРУ	98,2	25	107	0,95	1	101,65	DS200 ABB	100	500
ЩС 1	43,2	10	61	0,95	1	42,75	ВА57Ф35 34	50	160
ЩС 2	4,05	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
ЩС 3	29,1	4	34	0,95	1	32,3	ВА57Ф35 34	31,5	100
ЩС 4	4,85	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
ЩС 5	1,27	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
Освещение									
ЩО 1	12,3	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
ЩО 2	10,7	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
ЩО 3	10,2	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80

ЩО 4	10,7	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
ЩАО 1	0,24	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80
ЩАО 2	0,18	1,5	19	0,95	1	18,05	ВА57Ф35 34	16	80

Таблица 3.52 – Выбор автоматов защиты отходящих линий

№ линии	Ip, А	Марка кабеля	Iдоп, А	Кус. прок.	Кзащ.	Iср.рас, А	тип автомата	номинальный ток выключателя, А	Отключающая способность, Iоткл, кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЩС 1									
Вариант 1									
линия 1	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	0,95	1	18,05	LR 3P C16	16	6
линия 2	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	0,95	1	18,05	LR 3P C16	16	6
линия 3	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	0,95	1	18,05	LR 3P C16	16	6
линия 4	0,45	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1	1	6
ЩС 2									
линия 1	0,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	LR 1P C1,6	1,6	6
линия 2	5,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S203 C6	6	6
линия 3	22,1	ВВГнгLS - 3x4	34	0,95	1	32,3	LR 1P C25	25	6
линия 4	12,1	ВВГнгLS - 5x1,5	19	0,95	1	18,05	LR 3P C16	16	6
ЩС 3									
линия 1	31,1	ВВГнгLS - 3x6	45	0,95	1	42,75	LR 1P C40	40	6
линия 2	31,1	ВВГнгLS - 3x6	45	0,95	1	42,75	LR 1P C40	40	6
линия 3	2,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
ЩС 4									
линия 1	2,27	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
линия 2	8,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S203 C10	10	6
линия 3	0,8	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
линия 4	1,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
ЩС 5									
линия 1	1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
линия 2	0,87	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
линия 3	2,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
Вариант 2									
ЩС 1									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
линия 1	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	0,95	1	18,05	LR 3P C16	16	6
линия 2	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	0,95	1	18,05	LR 3P C16	16	6
линия 3	14,4	ВВГнгLS - 5x1,5	19	0,95	1	18,05	LR 3P C16	16	6
ЩС 2									
линия 1	12,1	ВВГнгLS - 5x1,5	19	0,95	1	18,05	LR 3P C16	16	6
линия 2	1,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
линия 3	0,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1	1	6

ЩС 3									
линия 1	31,1	ВВГнгLS - 3x6	45	0,95	1	42,75	LR 1P C40	40	6

Окончание таблицы 3.52

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
линия 2	31,1	ВВГнгLS - 3x6	45	0,95	1	42,75	LR 1P C40	40	6
линия 3	2,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
линия 4	22,1	ВВГнгLS - 3x4	34	0,95	1	32,3	LR 1P C25	25	6
линия 5	2,9	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
ЩС 4									
линия 1	2,27	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
линия 2	8,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S203 C10	10	6
линия 3	0,8	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
линия 4	1,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
ЩС 5									
линия 1	1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
линия 2	0,87	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C1,6	1,6	6
линия 3	2,3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6

Таблица 3.53 – Выбор автоматов защиты отходящих линий (освещение)

№ линии	Ip, А	Марка кабеля	Идо п,А	Кус. прок.	Кза щ.	Isр.ра с, А	тип автомата	номинальный ток выключателя, А	Отключающая способность, I _{откл} , кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЩО 1									
линия 1	3,4	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
линия 2	3	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
линия 3	5,8	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C6	6	6
ЩО 2									
линия 1	4,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C6	6	6
линия 2	2,1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
линия 3	4,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C6	6	6
ЩО 3									
линия 1	4,1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C6	6	6
линия 2	3,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
линия 3	2,8	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
ЩО 4									
линия 1	4,2	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C6	6	6
линия 2	2,1	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C4	4	6
ЩАО 1									
линия 1	0,24	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C0,5	0,5	6
ЩАО 2									
линия 1	0,18	ВВГнгLS - 3x1,5	21	0,95	1	19,95	ABB S201 C0,5	0,5	6

3.3.4 Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения

Произведем расчет потерь мощности и напряжения в кабельных линиях. Потеря напряжения в процентах к номинальному напряжению сети [12, с. 54]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi), \quad (3.18)$$

где l - длина кабельной линии, км; $r_{уд}$, $x_{уд}$ - удельное активное и реактивное сопротивление кабеля, Ом/км; I_p - расчетный ток электроприемника, А.

Потеря напряжения в процентах к номинальному напряжению сети:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{ном}}, \quad (3.19)$$

где $U_{ном}$ - номинальное напряжение сети, В.

Потеря активной и реактивной мощности:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_{уд} \cdot l, \quad (3.20)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I_p^2 \cdot x_{уд} \cdot l, \quad (3.21)$$

где $I_{РАС}$ - максимальный рабочий ток электроприемника, А; l - длина кабельной линии, км; $r_{уд}$, $x_{уд}$ - удельное активное и реактивное сопротивление кабеля, Ом/км.

Результаты расчетов потерь в кабельных линиях к электроприемникам по двум вариантам соответственно представлены в таблицах 3.54-3.57.

Таблица 3.54 – Расчет потерь мощности и напряжения (1 вариант)

№	cosφ	sinφ	Длина линии L, м	Ток расч I, А	Сечен ие кабеля S, мм ²	r _{уд} , Ом/км	x _{уд} , Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	Δ Q, кв ар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЩС1											
линия 1	0,95	0,81	1,4	14,4	1,5	12,1	0,126	0,1	0,001	0,4	0
линия 2	0,95	0,81	3,8	14,4	1,5	12,1	0,126	0,26	0,001	1	0
линия 3	0,95	0,81	5	14,4	1,5	12,1	0,126	0,3	0,001	1,4	0
линия 4	0,9	0,78	10	0,45	1,5	12,1	0,126	0,03	0,001	0,08	0
ЩС2											
линия 1	0,9	0,78	55	0,9	1,5	12,1	0,126	0,4	0,001	0,9	0
линия 2	0,8	0,71	3,8	5,9	1,5	12,1	0,126	0,18	0,001	0,4	0
линия 3	0,8	0,71	2,8	22,1	4	4,61	0,107	0,18	0,001	0,4	0
линия 4	0,9	0,78	1,2	12,1	1,5	12,1	0,126	0,12	0,001	0,27	0

Окончание таблицы 3.54

ЩСЗ											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
линия 1	0,95	0,81	0,5	31,1	6	3,08	0,1	0,04	0,001	0,09	0
линия 2	0,95	0,81	1,7	31,1	6	3,08	0,1	0,13	0,001	0,3	0
линия 3	0,65	0,6	2	2,9	1,5	12,1	0,126	0,03	0,001	0,07	0
ЩС4											
линия 1	0,6	0,56	1,9	2,7	1,5	12,1	0,126	0,02	0,001	0,06	0
линия 2	0,6	0,56	8	8,3	1,5	12,1	0,126	0,36	0,001	0,8	0
линия 3	0,9	0,78	10,5	0,8	1,5	12,1	0,126	0,68	0,001	0,15	0
линия 4	0,9	0,78	112	1,2	1,5	12,1	0,126	0,11	0,001	0,25	0
ЩС5											
линия 1	0,7	0,64	23	1	1,5	12,1	0,126	0,16	0,001	0,37	0
линия 2	0,9	0,78	21	0,87	1,5	12,1	0,126	0,15	0,001	0,35	0
линия 3	0,9	0,78	122	2,3	1,5	12,1	0,126	0,13	0,001	0,29	0

Таблица 3.55 – Расчет потерь в кабелях, питающих ЩС (вариант 1)

№ СП	cosφ	sinφ	L, м	I _{раб} , А	S, мм ²	Γ _{уд} , Ом/км	X _{уд} , Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЩС-1	0,9	0,44	1	30	4	1,84	0,099	0,33	0,007	0,08	0
ЩС-2	0,9	0,44	7,3	12,1	6	12,1	0,126	0,12	0,016	1,6	0
ЩС-3	0,9	0,44	14,5	22,3	6	4,61	0,107	0,02	0,001	2,3	0
ЩС-4	0,9	0,44	52	4,85	4	12,1	0,126	0,91	0,03	4	0,001
ЩС-5	0,9	0,31	61	1,27	4	12,1	0,126	0,67	0,021	3,1	0,001

Таблица 3.56 – Расчет потерь мощности и напряжения (2 вариант)

№	cosφ	sinφ	Длина линии L, м	Ток расч I _p , А	Сечение кабеля S, мм ²	Γ _{уд} , Ом/км	X _{уд} , Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЩС1											
линия 1	0,95	0,81	1,4	14,4	1,5	12,1	0,126	0,1	0,001	0,4	0
линия 2	0,95	0,81	3,8	14,4	1,5	12,1	0,126	0,26	0,001	1	0
линия 3	0,95	0,81	5	14,4	1,5	12,1	0,126	0,3	0,001	1,4	0
ЩС2											
линия 1	0,9	0,78	1,2	12,1	1,5	12,1	0,126	0,12	0,001	0,27	0
линия 2	0,8	0,71	3,8	5,9	1,5	12,1	0,126	0,18	0,001	0,4	0
линия 3	0,9	0,78	10	0,45	1,5	12,1	0,126	0,03	0,001	0,08	0
ЩС3											
линия 1	0,95	0,81	0,5	31,1	6	3,08	0,1	0,04	0,001	0,09	0
линия 2	0,95	0,81	1,7	31,1	6	3,08	0,1	0,13	0,001	0,3	0
линия 3	0,8	0,71	3,7	5,9	1,5	12,1	0,126	0,16	0,001	0,36	0
линия 4	0,8	0,71	4,4	22,1	4	4,61	0,107	0,28	0,001	0,6	0
линия 5	0,65	0,6	2	2,9	1,5	12,1	0,126	0,03	0,001	0,07	0
ЩС4											
линия 1	0,6	0,56	1,9	2,7	1,5	12,1	0,126	0,02	0,001	0,06	0
линия 2	0,6	0,56	8	8,3	1,5	12,1	0,126	0,36	0,001	0,8	0
линия 3	0,9	0,78	10,5	0,8	1,5	12,1	0,126	0,68	0,001	0,15	0
линия 4	0,9	0,78	112	1,2	1,5	12,1	0,126	0,11	0,001	0,25	0

Окончание таблицы 3.56

ЩС5											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
линия 1	0,7	0,64	23	1	1,5	12,1	0,126	0,16	0,001	0,37	0
линия 2	0,9	0,78	21	0,87	1,5	12,1	0,126	0,15	0,001	0,35	0
линия 3	0,9	0,78	122	2,3	1,5	12,1	0,126	0,13	0,001	0,29	0

Таблица 3.57 – Расчет потерь в кабелях, питающих ЩС (вариант 2)

№ СП	cosφ	sinφ	L, м	I _{раб} , А	S, мм ²	γ _{уд} , Ом/км	χ _{уд} , Ом/км	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔU, В	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ЩС-1	0,9	0,44	1	42,2	4	1,84	0,099	0,33	0,007	0,8	0
ЩС-2	0,9	0,44	7,3	4,05	6	12,1	0,126	0,12	0,016	0,5	0
ЩС-3	0,9	0,44	14,5	29,1	6	4,61	0,107	0,02	0,001	3	0,001
ЩС-4	0,9	0,44	52	4,85	4	12,1	0,126	0,91	0,03	0,47	0
ЩС-5	0,9	0,31	61	1,27	4	12,1	0,126	0,67	0,021	3,1	0

3.3.5 Техничко-экономическое сравнение вариантов

Таблица 3.58 – Расчет стоимости силовых пунктов (вариант 1)

Номер ЩС	I _p , А	Марка РП	Количество присоединений РП	Стоимость, руб
1	2	3	4	5
ЩС-1	30	ПР11-3055-21у3	4	6000
ЩС-2	12,1	ПР11-3008-21у3	4	4000
ЩС-3	22,3	ПР11-1045-21у3	3	3100
ЩС-4	4,85	ПР11-3008-21у3	4	4000
ЩС-5	1,27	ПР11-3008-21у3	3	4000
ИТОГО				21000

Таблица 3.59 – Расчет стоимости силовых пунктов (вариант 2)

Номер ЩС	I _p , А	Марка РП	Количество присоединений РП	Стоимость, руб
1	2	3	4	5
ЩС-1	43,2	ПР11-3055-21у3	3	6000
ЩС-2	4,05	ПР11-3008-21у3	3	4000
ЩС-3	29,1	ПР11-1045-21у3	5	3100
ЩС-4	4,85	ПР11-3008-21у3	4	4000
ЩС-5	1,27	ПР11-3008-21у3	3	4000
ИТОГО				21000

Стоимость кабельных линий определяется по выражению:

$$K_{\text{кл}} = \sum K_{\text{кли}} \cdot L_i, \quad (3.22)$$

где $K_{\text{кли}}$ – стоимость 1 м кабеля, L_i – длина кабеля.

Таблица 3.60 – Расчет стоимости кабельных линий

№ п/п	Сечение кабеля	L, м	Цена, руб./м	Стоимост ь, руб	№ п/п	Сечение кабеля	L, м	Цена, руб./м	Стоимость, руб
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Вариант 1					Вариант 2				
ЩС1					ЩС1				
Линия 1	5x1,5	1,4	45	63	Линия 1	5x1,5	1,4	45	63
Линия 2	5x1,5	3,8	45	171	Линия 2	5x1,5	3,8	45	171
Линия 3	5x1,5	5	45	225	Линия 3	5x1,5	5	45	225
Линия 4	3x1,5	10	19	190	ЩС2				
ЩС2					Линия 1	3x1,5	1,2	19	23
Линия 1	3x1,5	55	19	1045	Линия 2	3x1,5	62	19	1178
Линия 2	3x1,5	3,8	19	72	Линия 3	3x1,5	10	19	190
Линия 3	3x4	2,8	60	168	ЩС3				
Линия 4	3x1,5	1,2	19	23	Линия 1	3x6	0,5	90	45
ЩС3					Линия 2	3x6	1,7	90	153
Линия 1	3x6	0,5	90	45	Линия 3	3x1,5	3,7	19	167
Линия 2	3x6	1,7	90	153	Линия 4	3x4	4,4	60	264
Линия 3	3x1,5	2	19	38	Линия 5	3x1,5	2	19	38
ЩС4					ЩС4				
Линия 1	3x1,5	1,9	19	37	Линия 1	3x1,5	1,9	19	37
Линия 2	3x1,5	8	19	152	Линия 2	3x1,5	8	19	152
Линия 3	3x1,5	10,5	19	200	Линия 3	3x1,5	10,5	19	200
Линия 4	3x1,5	112	19	2128	Линия 4	3x1,5	112	19	2128
ЩС5					ЩС5				
Линия 1	3x1,5	23	19	437	Линия 1	3x1,5	23	19	437
Линия 2	3x1,5	21	19	399	Линия 2	3x1,5	21	19	399
Линия 3	3x1,5	200	19	3800	Линия 3	3x1,5	200	19	3800
Кабели, питающие ЩС					Кабели, питающие ЩС				
ЩС-1	5x10	1	209	209	ЩС-1	5x10	1	209	209
ЩС-2	3x1,5	7,3	19	139	ЩС-2	3x1,5	7,3	19	139
ЩС-3	3x4	14,5	60	870	ЩС-3	3x4	14,5	60	870
ЩС-4	3x1,5	52	19	988	ЩС-4	3x1,5	52	19	988
ЩС-5	3x1,5	63	19	1197	ЩС-5	3x1,5	63	19	1197
Итого				12749	Итого				13100

Таблица 3.61 – Стоимость автоматов

Место установки	Тип автомата	Номинальный ток, А	Цена автомата, руб.	Место установки	Тип автомата	Номинальный ток, А	Цена автомата, руб.
Вариант 1				Вариант 2			
1	2	3	4	5	6	7	8
ЩС-1	ВА57Ф35 34	61	2600	ЩС-1	ВА57Ф35 34	61	2600
ЩС-2	ВА57Ф35 34	19	2600	ЩС-2	ВА57Ф35 34	19	2600
ЩС-3	ВА57Ф35 34	34	2600	ЩС-3	ВА57Ф35 34	34	2600
ЩС-4	ВА57Ф35 34	19	2600	ЩС-4	ВА57Ф35 34	19	2600
ЩС-5	ВА57Ф35 34	19	2600	ЩС-5	ВА57Ф35 34	19	2600
ИТОГО			13000	ИТОГО			13000

Расчет стоимости капиталовложений:

$$K_{\text{ВАР1}} = K_{\text{КЛ}} + K_{\text{СП}} + K_{\text{АВТОМАТ}} = 12,749 + 21 + 13 = 46,7 \text{ тыс. руб.}$$

$$K_{\text{ВАР2}} = K_{\text{КЛ}} + K_{\text{СП}} + K_{\text{АВТОМАТ}} = 13,1 + 21 + 13 = 47,1 \text{ тыс. руб.}$$

Капиталовложения второго варианта больше чем у первого, следовательно выбираем первый вариант.

3.4 Электротехнический расчет электрического освещения

Для светильников общего освещения применяется напряжение 220 В. Электроснабжение рабочего и аварийного освещения выполняется самостоятельными линиями от главного щита освещения и главного щита аварийного освещения, подключенных к шинам низкого напряжения подстанции. При этом электроэнергия от подстанции передается питающими линиями на групповые осветительные щитки. Питание источников света осуществляется от групповых щитков групповыми линиями.

Распределение светильников по фазам по длине групповой линии выполняется для снижения потерь мощности и напряжения в проводе, уменьшения стробоскопического эффекта и снижения ущерба при исчезновении напряжения в одной из фаз.

Задачей данного раздела является оптимальное распределение светильников по фазам, выбор осветительного щита и питающего кабеля. Лампы распределяются относительно фаз таким образом, чтобы суммарная нагрузка фаз была равномерной.

На данном этапе определяется расчетная мощность и расчетный ток системы освещения.

Это необходимо для выбора сечений проводников системы освещения, а также для выбора электроустановочных изделий и защитных аппаратов. В электротехническом расчете следует уделить внимание равномерности распределения нагрузки по фазам, так как электроприемники системы освещения являются однофазными электроприемниками.

При электротехническом расчете системы освещения в данном проекте за основу взят принцип равномерности распределения нагрузки по фазам. Для этого все нагрузки системы рабочего освещения распределены на группы с примерно равными нагрузками. Так же следует отметить, что при выборе вариантов подключения электроприемников системы освещения следует руководствоваться наиболее экономически эффективным использованием кабельно-проводниковой продукции. Как правило, нагрузка одной группы системы освещения не должна превышать 4-5 кВт.

При проектировании данного объекта наиболее эффективным был принят вариант с разделением системы рабочего освещения на 13 групп с установленной мощностью соответственно: 0,84; 0,76; 1,43; 1,05; 0,53; 1,05; 0,06; 1,02; 0,8; 0,69; 1,05; 0,53; 1; 0,045кВт. Ввиду высокого коэффициента использования электроосвещения расчетную мощность следует признать равной установленной. В связи с малой мощностью нагрузки системы аварийного освещения щит аварийного освещения выполнен однофазного исполнения.

Таким образом, наибольшая расчетная мощность щита рабочего освещения – 2,57 кВт, щита аварийного освещения – 0,051 кВт.

Вариант распределения по группам электроприемников системы освещения указан на листах графической части.

3.5 Расчет токов короткого замыкания и проверка основного оборудования сети

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение в сети или в элементах электрооборудования короткого замыкания, вследствие повреждения изоляции или неправильных действий обслуживающего персонала. Для снижения ущерба, обусловленного выходом из строя электрооборудования при протекании токов КЗ, а также для быстрого восстановления нормального режима работы системы электроснабжения необходимо правильно определить токи КЗ и по ним выбрать электрооборудование, защитную аппаратуру (или же проверить уже выбранную на стойкость к току КЗ).

Расчет тока короткого замыкания в питающей сети

Расчет токов КЗ в сетях до 1000В в ВРУ выполняется в именованных единицах.

Определение токов КЗ начинается с составления схемы замещения. Составим схему замещения для ВРУ:

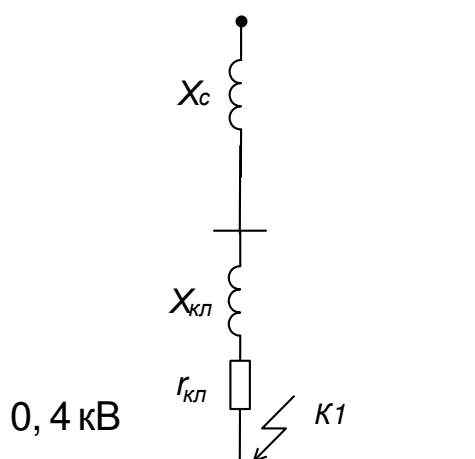


Рисунок 3.2 – Схема замещения тока короткого замыкания на ВРУ

На шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции ток короткого замыкания равен 8,1 кА (согласно полученным данным в школе). Тогда сопротивления внешней сети включающей в себя результирующее сопротивление сети 10 кВт сопротивление трансформатора находится по формуле:

$$X_{вн} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.нн}}, \quad (3.23)$$

где U – среднее номинальное напряжения 400 В.

$I_{к.з.нн}$ – ток короткого замыкания на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции.

$$X_{вн} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 8,1} = 28,5 \text{ мОм}$$

Для кабеля ВВГ 5x25 протяженностью $L_{кл1}=100\text{м}$ по справочным данным были определены удельные активное и реактивное сопротивления:

$$\text{Активное сопротивление: } R_{уд.кл1} = 0,727 \text{ Ом/км}$$

$$\text{Реактивное сопротивление: } X_{уд.кл1} = 0,091 \text{ Ом/км}$$

$$R_{л1} = R_{уд.кл1} \cdot L_{кл1}, \quad (3.24)$$

$$R_{л1} = 0,727 \cdot 100 = 72,7 \text{ мОм}$$

$$X_{л1} = X_{уд.кл1} \cdot L_{кл1}, \quad (3.25)$$

$$X_{л1} = 0,091 \cdot 100 = 9,1 \text{ мОм}$$

Рассчитаем сопротивление и ток к.з. в точке К1 на вводе низкого напряжения подстанции:

$$X_{\Sigma} = X_{Л1} + X_{ВН} \quad ,$$

(3.26)

$$X_{\Sigma} = 9,1 + 28,5 = 37,6 \text{ мОм.}$$

Суммарное активное сопротивление должно учитывать переходные сопротивления контактов. Для этой цели в расчет вводят добавочное сопротивление, которое на шинах подстанции и ВРУ 15 мОм, [22].

$$R_{\Sigma} = R_{доб} + R_{Л1} \quad ,$$

(3.27)

$$R_{\Sigma} = 15 + 72,7 = 87,7 \text{ мОм.}$$

Ток КЗ точке К1:

$$I_{К1} = \frac{U_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2}} \quad ,$$

(3.28)

$$I_{К1} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{37,6^2 + 87,7^2}} = 2,4 \text{ кА.}$$

Проверка оборудования ВРУ по току короткого замыкания

Проверку оборудования осуществляем по условиям электродинамической стойкости. При этом должно, выполняться условие:

$$i_{уд} \leq I_{эс} \quad ,$$

(3.29)

где $I_{эс}$ – ток электродинамической стойкости, кА;

$i_{уд}$ – ударный ток КЗ

$$i_{уд} = K_{уд} \cdot I_{m \text{ к.з.}} \quad ,$$

(3.30)

Так как $R_{\Sigma} > X_{\Sigma}$, то $K_{уд}=1$ и ударный ток равен амплитуде тока установившегося КЗ.

Проверка автоматических выключателей.

В силовых пунктах установлены автоматические выключатели серии ВА57Ф35 с номинальными токами расцепителя 100А для которых $I_{эс}=10$ кА, выбранный выключатель способен отключить ударный ток КЗ

$$I_{m \text{ к.з.}} = 2,4 \cdot \sqrt{2} = 3,4 \text{ кА}$$

(3.31)

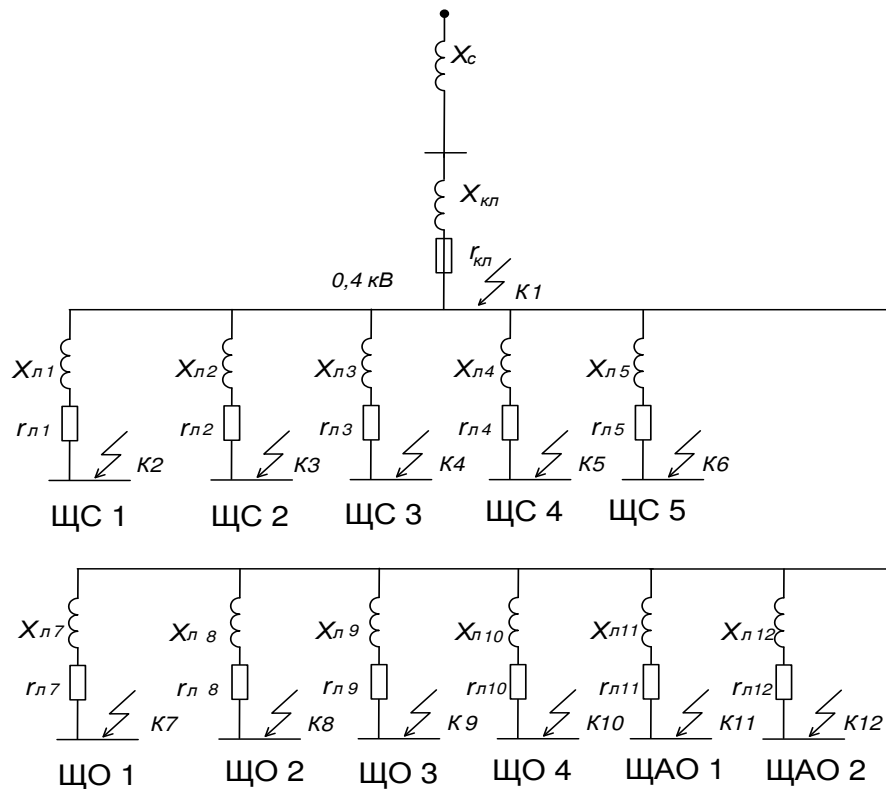
$$3,4 \text{ кА} < 10 \text{ кА}$$

Выбранный выключатель удовлетворяет условиям проверки.

Расчет токов трехфазного короткого замыкания

Расчет токов КЗ ниже 1000 В, как правило, вводится в именованных единицах. Особенностью расчетов КЗ в сетях ниже 1000 В является тот факт, что необходимо учитывать сопротивления дуги и трансформатора тока. На автоматах для этой цели вводится дополнительное сопротивление, величина которого зависит от места возникновения КЗ.

Рисунок 3.3 – Схема замещения тока трехфазного КЗ
Расчет тока трехфазного КЗ для точки К2:



Для кабеля ВВГ 3x10 протяженностью $L_{кл1}=1\text{м}$ по справочным данным были определены удельные активное и реактивное сопротивления:

Активное сопротивления : $R_{уд.кл} = 1,84 \text{ Ом/км}$

Реактивно сопротивления: $X_{уд.кл} = 0,099 \text{ Ом/км}$

$R_{л} = R_{уд.кл} \cdot L_{кл}, \text{ мОм}$

$$R_{л} = 1,84 \cdot 1 = 1,84 \text{ мОм} \tag{3.32}$$

$X_{л} = X_{уд.кл} \cdot L_{кл}, \text{ мОм}$

$$X_{л} = 0,099 \cdot 1 = 0,099 \text{ мОм} \tag{3.33}$$

Рассчитаем результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К2:

$$X_{\Sigma} = X_{л} + X_{л1} + X_{вн}, \tag{3.34}$$

$$X_{\Sigma} = 0,099 + 9,1 + 28,5 = 37,6 \text{ мОм.}$$

Суммарное активное сопротивление должно учитывать переходные сопротивления контактов. Для этой цели в расчет вводят добавочное сопротивление, которое на силовых пунктах 20 мОм, [22, стр187].

$$R_{\Sigma} = R_{\text{доб}} + R_{\text{л1}} + R_{\text{л}}, \quad (3.35)$$

$$R_{\Sigma} = 20 + 72,7 + 1,84 = 94,5 \text{ мОм.}$$

Ток трехфазного КЗ:

$$I_{\text{К-1}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_{\Sigma}^2 + R_{\Sigma}^2}}, \quad (3.36)$$

$$I_{\text{К-1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{37,5^2 + 94,5^2}} = 2,2 \text{ кА.}$$

Аналогичные расчеты производим и для остальных точек КЗ, полученные результаты расчетов сведем в таблицу 3.81

Таблица 3.62 – Трехфазный ток КЗ

точка КЗ	X _{внеш} , мОм	R _{л1} , мОм	X _{л1}	X _{уд.кл}	R _{уд.кл}	L _{кл} ,	R _л , мОм	X _л , мОм	R _{доб} , мОм	R _{сумм} , мОм	X _{сум} , Ом	I _{к.з} ,кА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
К2	28,5	72,7	9,1	0,099	1,84	1	1,84	0,099	20	94,5	37,6	2,2
К3	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	7,3	88,3	0,9	20	181	30	1,2
К4	28,5	72,7	9,1	0,107	4,61	14,5	66,8	1,5	20	159	30,6	1,4
К5	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	52	629	6,5	20	721	35,6	0,5
К6	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	61	738	7,6	20	830	36,7	0,27
К7	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	39	512	5,2	20	604	42,7	0,38
К8	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	7	85,2	0,85	20	179	29,5	1,1
К9	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	45	544	5,67	20	636	43,2	0,36
К10	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	12	145	1,5	20	237	39,1	0,9
К11	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	38	510	5,1	20	602	42,3	0,37
К12	28,5	72,7	9,1	0,126	12,1	43	520	5,4	20	612	43	0,37

Проверим выключатели, защищающие кабельные линии напряжением 0,4 кВ. Проверку будем проводить по току КЗ

$$I_{к.з.} \leq I_{0.с.}, \quad (3.37)$$

где $I_{0.с.}$ - предельная отключающая способность.

Таблица 3.63 – Проверка автоматических выключателей на откл.способность

№	точка к.з.	$I_{к.з.}$, кА	Тип выключателя	Предельная отключающая способность, кА
1	2	3	4	5
ЩС 1	К2	2,2	ВА57Ф35 34	10
ЩС 2	К3	1,2	ВА57Ф35 34	10
ЩС 3	К4	1,4	ВА57Ф35 34	10
ЩС 4	К5	0,5	ВА57Ф35 34	10
ЩС 5	К6	0,27	ВА57Ф35 34	10
ЩО 1	К7	0,38	ВА57Ф35 34	10
ЩО 2	К8	1,1	ВА57Ф35 34	10
ЩО 3	К9	0,36	ВА57Ф35 34	10
ЩО 4	К10	0,9	ВА57Ф35 34	10
ЩАО 1	К11	0,37	ВА57Ф35 34	10
ЩАО 2	К12	0,37	ВА57Ф35 34	10

Так как $I_{откл.ном} > I_K^{(3)}$, кА, то все автоматы выбраны правильно, и подходят по отключающей способности к токам КЗ.

Расчет токов однофазного короткого замыкания

Для правильного выбора параметров релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения наряду с токами трехфазных КЗ необходимо знать токи несимметричных КЗ – в нашем случае однофазного КЗ, для проверки чувствительности автоматов НН к таким КЗ.

Ток однофазного замыкания на землю в сети 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью, равен утроенному току нулевой последовательности и определяется по упрощенной формуле:

$$I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_n}, \quad (3.38)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжения сети;

$Z_T/3$ – сопротивления силового трансформатора при однофазном замыкании на корпус (принимается $Z_T = 10,6$ мОм при мощности трансформатора 630 кВА с обмотками Δ/Y_n-11).

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод:

$$Z_n = \sqrt{R_\Sigma^2 + X_\Sigma^2}, \quad (3.40)$$

$$R_\Sigma = (R_{\text{дуг.}} + R_{\text{Т.Т.}} + R_a + R_\phi + R_n + R_{\phi 1} + R_{n1}) \quad (3.41)$$

$$X_\Sigma = (X_{\text{ВН}} + X_{\text{Т.Т.}} + X_a + X_{\text{э}'0} + X_{\text{кл}} + X_{\text{кл1}}) \quad (3.42)$$

где R_A, X_A – активное и индуктивное сопротивление автоматических выключателей;

R_n – суммарные активные сопротивления фазного провода всех участков рассчитываемой цепочки;

$R_{\text{ТТ}}, X_{\text{ТТ}}$ – активное и индуктивное сопротивление трансформатора тока
 $R_{\text{ТТ}} = 0,00015 \text{ Ом}; X_{\text{ТТ}} = 0,00021 \text{ Ом};$

$X_{\text{ВН}}$ – сопротивления внешней сети трансформатора;

$R_{\text{дуг}}$ – сопротивление дуги в точке КЗ;

$X_{\text{э}'0}$ – внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, принимается равным $0,6 \text{ Ом/км};$

Полное сопротивление петли: фазный - нулевой провод для точки :

$$R_\Sigma = (30 + 0,15 + 0,4 + 72,7 + 72,7 + 1,84 + 1,84) = 179,63 \text{ мОм}$$

$$X_\Sigma = (28,54 + 0,21 + 0,99 + 60 + 9,1 + 0,099) = 98,89 \text{ мОм}$$

$$Z_n = \sqrt{179,63^2 + 98,89^2} = 205 \text{ мОм}$$

Определим ток однофазного КЗ для ЩС 1:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{400/\sqrt{3}}{\frac{10,6}{3} + 205} = 1,1 \text{ кА}$$

Расчет однофазных коротких замыканий у остальных электроприемников производится аналогичным образом, а расчет сведем в таблицу 3.64.

Таблица 3.64 –Расчет тока однофазного КЗ

точка к.з.	$X_{ВН}$	$Z_{ТРЗ}$	$R_{ДУ}$ Г	$R_{ТЛ}$	R_a	$X_{ТЛ}$	X_a	X ε' 0	$X_{кл}$ л	R ϕ	$R_{н1}$	$X_{кЛ1}$	$R_{\phi 1}$	$R_{н1}$	$Z_{н1}$	$I_{кз}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ЩС 1																
К2	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	0,099	1,84	1,84	205	1,1
ЩС 2																
К3	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	0,9	88,3	88,3	366	0,6
ЩС 3																
К4	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	1,5	66,8	66,8	325	0,7
ЩС 4																
К5	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	6,5	629	629	1437	0,15
ЩС 5																
К6	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	7,6	738	738	1655	0,13
ЩО1																
К7	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	5,2	512	512	695	0,23
ЩО 2																
К8	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	0,85	85,2	85,2	307	0,8
ЩО 3																
К9	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	5,67	544	544	675	0,22
ЩО 4																
К10	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	1,5	145	145	275	0,95
ЩАО 1																
К11	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	5,1	510	510	595	0,18
ЩАО 2																
К12	28,5	3,53	30	0,15	0,4	0,21	0,99	60	9,1	72,7	72,7	5,4	520	520	650	0,21

Проверка защитных аппаратов сети напряжением на чувствительность к токам короткого замыкания

Проверка на чувствительность к токам однофазного КЗ проводится по условию:

$$I_{\text{отклном}} \geq I_{\text{кзмах}} \cdot \quad (3.43)$$

Проверка выполнена в таблице, где определен коэффициент чувствительности равный отношению тока однофазного КЗ к номинальному току расцепителя.

Таблица 3.65 – Проверка чувствительности автоматов к однофазным КЗ в сети 0,4 кВ

№ линии	Ikз	Тип автомата	Предельная отключающая способность,кА	$I_{\text{отклном}} \geq I_{\text{кзмах}}$
1	2	3	4	5
ЩС 1				
линия 1	1,1	LR 3P C16	6	Проходит
линия 2	1,1	LR 3P C16	6	Проходит
линия 3	1,1	LR 3P C16	6	Проходит
линия 4	1,1	ABB S201 C1	6	Проходит
ЩС 2				
линия 1	0,6	LR 3P C1,6	6	Проходит
линия 2	0,6	ABB S203 C6	6	Проходит
линия 3	0,6	LR 3P C25	6	Проходит
линия 4	0,6	LR 3P C16	6	Проходит
ЩС 3				
линия 1	0,7	LR 3P C40	6	Проходит
линия 2	0,7	LR 3P C40	6	Проходит
линия 3	0,7	ABB S201 C1	6	Проходит
ЩС 4				
линия 1	0,15	ABB S201 C4	6	Проходит
линия 2	0,15	ABB S203 C10	6	Проходит
линия 3	0,15	ABB S201 C1,6	6	Проходит
линия 4	0,15	ABB S201 C1,6	6	Проходит
ЩС 5				
линия 1	0,13	ABB S201 C1,6	6	Проходит
линия 2	0,13	ABB S201 C1,6	6	Проходит
	0,13	ABB S201 C4	6	Проходит

Окончание таблицы 3.84

1	2	3	4	5
ЩО 1				
линия 1	0,23	ABB S201 C4	6	Проходит
линия 2	0,23	ABB S201 C4	6	Проходит
линия 3	0,23	ABB S201 C6	6	
ЩО 2				
линия 1	0,8	ABB S201 C6	6	Проходит
линия 2	0,8	ABB S201 C4	6	Проходит
линия 3	0,8	ABB S201 C6	6	
ЩО 3				
линия 1	0,22	ABB S201 C6	6	Проходит
линия 2	0,22	ABB S201 C4	6	Проходит
линия 3	0,22	ABB S201 C4	6	
ЩО 4				
линия 1	0,95	ABB S201 C6	6	Проходит
линия 2	0,95	ABB S201 C4	6	Проходит
ЩАО 1				
линия 1	0,18	ABB S201 C0,5	6	Проходит
ЩАО 2				
линия 1	0,21	ABB S201 C0,5	6	Проходит

Все выбранные выключатели удовлетворяют условию по чувствительности однофазному КЗ.

3.6 Расчет заземления и молниезащиты

Заземление основной общеобразовательной школы в поселке Притубинском Минусинского района будем осуществлять по системе TN-S, так как на данный момент эта система заземления является самой совершенной.

В системе TN-S от питающей подстанции до потребителя идут два разных нулевых провода: N – рабочий и PE- защитный ноль, тем самым, обеспечивается наибольшая электробезопасность, как для человека, так и для электропотребителей.

Система TN-S требует прокладки от трансформаторной подстанции пятижильного провода в трехфазной сети и трехжильного кабеля в однофазной сети.

Молниезащита

Молниеприемник выполняется сеткой с ячейкой 10x10м сталью сечением 8мм прокладываемой по кровле. Обязательным требованием является прохождение молниеприемника по конькам и периметру кровли.

Токоотводы от молниеприемника выполним стальным кругом сечением 10мм

Крепление токоотвода по стене и кровле выполним через 1 метр. Крепить скобами K729 непосредственно к кровле и к стенам.

Спуски расположим не ближе 3м от входов на расстоянии не более 25м по периметру (п.п. 2.11, 2.12 РД 34.21.122-87)

У каждого спуска выполним заземлитель состоящий из вертикального электрода длиной 3м сечением 18мм забитый в землю и заглубленный на 0,5м. Выполним соединение заземлителей горизонтальным электродом СТ40х4мм проложенным в земле по периметру здания на расстоянии не менее 1м от стен и пандусов.

Все соединения электродов заземлителей выполним сваркой. Соединение молниеприемников с токоотводами и токоотводов с заземлителями выполним сваркой, а при недопустимости огневых работ болтовыми соединениями с переходным сопротивлением не более 0,05 Ом при обязательном контроле перед началом грозового сезона.

Присоединим заземляющие устройства молниезащиты к ГЗШ ВРУ-0,4кВ шкеры сталью сечением 10мм.

Все металлические выступающие над кровлей части (ограждение кровли и т.п.) присоединить к молниеприемнику сталью 10мм.

Повторные заземлители и заземлители молниезащиты объединим. Защита стальных проводников молниезащиты и места сварки заземляющих устройств от коррозии выполняется:

- а) в помещении – окрашиванием кузбасслаком;
- б) в земле и вне помещений – битумным лаком.

4. Расчет альтернативной системы отопления с использованием конвекторов.

Произведем расчет новой системы отопления с использованием конвекторов HYUNDAI H-HV2-15-UI566 с электронным регулированием.

4.1 Расчет электрических нагрузок

$$P_{р.конв.} = P_{конвектор.} \cdot K_c = 132 \cdot 0,95 = 125,4 \text{ кВт} ,$$

где $P_{конвектор.}$ – суммарная мощность конверторной нагрузки;
 $K_c=0,95$ – расчетный коэффициент спроса.

Расчет электрических нагрузок первого уровня электроснабжения.

Расчетную нагрузку, создаваемую одним приемником электроэнергии принимают равной номинальной мощности приемника. По этой нагрузке выбираем сечение питающей линии и коммутационно защитную аппаратуру.

Расчет первого уровня электроснабжения на примере конвектора:

$P=1,5$ кВт ; $\cos\varphi =0,8$; $U=220$ В;

Определим полную мощность электропотребителя:

$$(4.1) \quad S=P/\cos\varphi, \text{кВа}$$

$$S = 1,5/0,8 = 1,875 \text{ кВа}$$

Определим расчетный ток электропотребителя:

$$(4.2) \quad I=S/U, \text{А,}$$

$$I = 1,875 / 220 \cdot 1000 = 8,5 \text{ А.}$$

Определим ток пусковой электропотребителя:

результаты расчетов сведем в таблицу 4.1

Таблица 4.1- результаты расчетов

№	Наименования	кол-во	P, кВт	класс U,В	COSΦ	S, кВа	I, А
1	2	3	4	5	6	7	8
1	конвектор	88	1,5	220	1	1,5	6,8

Расчет электрических нагрузок второго уровня электроснабжения

Определение нагрузки создаваемой группой электроприемников присоединенных к силовому щиту производится для выбора сечения линии питающей эту группу и коммутационно защитной аппаратуры. Расчет мощности электроприемников на силовом щите осуществляется по формуле:

$$(4.3) \quad P_{рас} = K_c \cdot P_{\Sigma усг.} \text{ Вт,}$$

где, K_c – коэффициент спроса.

Данные для расчета электроснабжения для ЩС 1 линии 1:

Конвектор : $P_1=1500$ Вт ;

$K_c=0,9$;

$\cos\varphi =1$;

$U=220$ В.

Определим суммарную мощность электроприёмников :

$$P_{сумм}=P_1 \cdot N, \text{Вт} \tag{4.4}$$

$$P_{сумм} = 1500 \cdot 12 = 18000 \text{ Вт}$$

Определим расчетную мощность:

$$P_{\text{рас}} = 0,9 \cdot 18000 = 16200 \text{ Вт}$$

Определим полную расчетную мощность:

$$S_{\text{рас}} = P_{\text{рас}} / \cos\phi, \text{ВА}$$

(4.5)

$$S_{\text{рас}} = 16200 / 1 = 16200 \text{ ВА}$$

Определим расчетный ток:

$$I_{\text{рас}} = S_{\text{рас}} / \sqrt{3} \cdot U, \text{А}$$

(4.6)

$$I_{\text{рас}} = 16200 / \sqrt{3} \cdot 0,22 = 42,6 \text{ А}$$

Аналогичные расчеты производим и для остальных линий и ЩС, полученные результаты расчетов сведем в таблицу 4.2

Таблица 4.2 – Расчет второго уровня электроснабжения

№	Наименование ЭП	Количество ЭП п, шт	P, Вт	K _C	P _{РАСЧ} , Вт	S _{расч} , ВА	I _p , А
1	2	3	4	5	6	7	8
ЩС 1							
линия 1							
	конвектор	12	1500				
	Итого:	12	18000	0,9	16200	16200	42,6
линия 2							
	конвектор	12	1500				
	Итого:	12	18000	0,9	16200	16200	42,6
линия 3							
	конвектор	12	1500				
	Итого:	12	18000	0,9	16200	16200	42,6
Линия 4							
	конвектор	12	1500				
	Итого:	12	18000	0,9	16200	16200	42,6
ЩС 1		48	72000	0,9	64800	64800	170,4
ЩС 2							
линия 1							
	конвектор	10	1500				
	Итого:	10	15000	0,9	13500	13500	35,5
линия 2							
	конвектор	10	1500				
	Итого:	10	15000	0,9	13500	13500	35,5
линия 3							
	конвектор	10	1500				
	Итого:	10	15000	0,9	13500	13500	35,5

линия 4							
	конвектор	10	1500				
	Итого:	10	15000	0,9	13500	13500	35,5
ЩС 2		40	60000	0,9	54000	54000	141,8

Таблица 4.3 - Выбор сечений кабельных линий

№	I_p, A	Марка кабеля	$I_{доп}, A$	$r_{уд.кл}, Ом/км$	$x_{уд.кл}, Ом/км$
1	2	3	4	5	6
ЩС 1	170,4	ВВГнгLS - 5x70	215	0,265	0,0612
ЩС 2	141,8	ВВГнгLS - 5x70	215	0,265	0,0612

Таблица 4.4 – Выбор сечений проводов и кабельных линий

№ линии	I_p, A	Марка кабеля	$I_{доп}, A$	$r_{уд.кл}, Ом/км$	$x_{уд.кл}, Ом/км$
1	2	3	4	5	6
ЩС 1					
линия 1	42,6	ВВГнгLS - 4x10	73	1,84	0,073
линия 2	42,6	ВВГнгLS - 4x10	73	1,84	0,073
линия 3	42,6	ВВГнгLS - 4x10	73	1,84	0,073
линия 4	42,6	ВВГнгLS - 4x10	73	1,84	0,073
ЩС 2					
линия 1	35,5	ВВГнгLS - 4x10	73	1,84	0,073
линия 2	35,5	ВВГнгLS - 4x10	73	1,84	0,073
линия 3	35,5	ВВГнгLS - 4x10	73	1,84	0,073
линия 4	35,5	ВВГнгLS - 4x10	73	1,84	0,073

4.2 Выбор распределительных пунктов

Распределительные пункты выбираем исходя из количества присоединений и рабочего тока самого пункта, [22, стр187].

Таблица 4.5 – Выбор распределительных пунктов

Наименование	расчетный ток, А	Тип РП	Число отходящих линий
1	2	3	4
ЩС 1	170,4	ПР11-Х054-21у3	4
ЩС 2	141,8	ПР11-Х054-21у3	4

Выбор коммутационно – защитных аппаратов.

Выбор автоматических выключателей производим по условию:

а) по номинальному току:

$$I_{\text{ср.рас}} \geq I_p, \quad (4.7)$$

где $I_{\text{ср.рас}}$ – номинальный ток автомата, А.

б) по номинальному току теплового расцепителя:

$$I_{\text{НОМ.Т.В}} \geq K_H \cdot I_p, \quad (4.8)$$

где $I_{\text{НОМ.Т.В}}$ – номинальный ток срабатывания токовой отсечки, А;
 $K_H = 1,1$ – коэффициент надежности.

в) Защиты автомат и защищаемая линия, должны быть согласованны по условию:

$$I_{\text{ср.рас}} \geq I_3, \quad (4.9)$$

$$I_{\text{ср.рас}} = \frac{K_{\text{ус.прок}} \cdot I_{\text{доп}}}{K_{\text{защ}}} \quad (4.10)$$

где $K_{\text{ус.прок}}$ – прокладочный коэффициент на условия прокладки кабеля [18]
 $I_{\text{доп}}$ – длительный ток кабеля, А;
 $K_{\text{защ}}$ – коэффициент защиты который равен 1, представляющий собой отношения длительного тока для провода или кабеля к параметру защитного устройства,[1];
 I_3 – ток срабатывания автомата.

Таблица 4.6 – Выбор вводных автоматов на силовой пункт

№	I_p , А	сечение кабеля	$I_{\text{ном}}$, А	$K_{\text{ус.п.рок}}$	$K_{\text{защ}}$	$I_{\text{ср.рас}}$, А	Тип выключателя	номинальный ток выключателя, А	уставка по току срабатывания, А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ВРУ	312	250	429	0,95	1	430.2	МЭК 60947-2, UL 489	450	700
ЩС 1	170,4	70	234.1	0,95	1	235	ВА57Ф35 Х4	250	500
ЩС 2	141,8	70	194.9	0,95	1	181.8	ВА57Ф35 Х3	200	400

Таблица 4.7 – Выбор автоматов защиты отходящих линий

№ линии	I_p , А	Марка кабеля	Идо п, А	Кус. прок.	Кза щ.	Иср.ра с, А	тип автомата	номинальный ток выключателя, А	Отключающая способность, $I_{откл.кА}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЩС 1									
линия 1	42,6	ВВГнгLS - 4x10	70	0,95	1	66.7	GV3P65	65	6
линия 2	42,6	ВВГнгLS - 4x10	70	0,95	1	66.7	GV3P65	65	6
линия 3	42,6	ВВГнгLS - 4x10	70	0,95	1	66.7	GV3P65	65	6
линия 4	42,6	ВВГнгLS - 4x10	70	0,95	1	66.7	GV3P65	65	6
ЩС 2									
линия 1	35,5	ВВГнгLS - 4x10	70	0,95	1	66.7	GV3P65	65	6
линия 2	35,5	ВВГнгLS - 4x10	70	0,95	1	66.7	GV3P65	65	6
линия 3	35,5	ВВГнгLS - 4x10	70	0,95	1	66.7	GV3P65	65	6
линия 4	35,5	ВВГнгLS - 4x10	70	0,95	1	66.7	GV3P65	65	6

Расчет потерь активной и реактивной мощности и напряжения

Произведем расчет потерь мощности и напряжения в кабельных линиях. Потеря напряжения в процентах к номинальному напряжению сети [12, с. 54]:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi), \quad (4.11)$$

где l - длина кабельной линии, км; $r_{уд}$, $x_{уд}$ - удельное активное и реактивное сопротивление кабеля, Ом/км; I_p - расчетный ток электроприемника, А.

Потеря напряжения в процентах к номинальному напряжению сети:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100\%}{U_{\text{ном}}}, \quad (4.12)$$

где $U_{\text{ном}}$ - номинальное напряжение сети, В.

Потеря активной и реактивной мощности:

$$\Delta P = 3 \cdot I_p^2 \cdot r_{\text{уд}} \cdot l, \quad (4.13)$$

$$\Delta Q = 3 \cdot I_p^2 \cdot x_{\text{уд}} \cdot l, \quad (4.14)$$

где $I_{\text{РАС}}$ – максимальный рабочий ток электроприемника, А; l – длина кабельной линии, км; $r_{\text{уд}}, x_{\text{уд}}$ – удельное активное и реактивное сопротивление кабеля, Ом/км.

Результат расчета потерь в кабельной линии к электроприемникам соответственно представлен в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет потерь мощности и напряжения

№	cosφ	sinφ	Длина линии L, м	Ток расч I, А	Сече- ние кабеля S, мм ²	r _{уд} , Ом/к м	x _{уд} , Ом/к м	ΔU, %	ΔP, кВт	ΔQ, квар
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
линия 1	0,95	0,81	28	42,6	10	1,84	0,073	0,21	0,01	0
линия 2	0,95	0,81	23	42,6	10	1,84	0,073	0,18	0,01	0
линия 3	0,95	0,81	18	42,6	10	1,84	0,073	0,14	0,01	0
линия 4	0,95	0,81	26	42,6	10	1,84	0,073	0,2	0,01	0
линия 1	0,95	0,81	32	35,5	10	1,84	0,073	0,21	0,01	0
линия 2	0,95	0,81	23	35,5	10	1,84	0,073	0,15	0,01	0
линия 3	0,95	0,81	25	35,5	10	1,84	0,073	0,16	0,01	0
линия 4	0,95	0,81	21	35,5	10	1,84	0,073	0,14	0,01	0

Расчет капиталовложений в систему отопления

Данные о стоимости взяты с сайта [26].

Таблица 4.9 – Расчет стоимости силовых пунктов

Номер ЩС	I _p , А	Марка РП	Количество присоединений РП	Стоимость, руб
1	2	3	4	5
ЩС-1	170,4	ПР11-Х054-21у3	4	8000
ЩС-2	141,8	ПР11-Х054-21у3	4	8000

Стоимость кабельных линий определяется по выражению:

$$K_{\text{кл}} = \sum K_{\text{кли}} \cdot L_i, \quad (4.15)$$

где $K_{\text{кли}}$ – стоимость 1 м кабеля, L_i – длина кабеля.

Данные о стоимости взяты с сайта [27].

Таблица 4.10 – Расчет стоимости кабельных линий

№ п/п	Сечение кабеля	L, м	Цена, руб./м	Стоимость, руб
1	2	3	4	5
ЩС1				
Линия 1	4x10	28	190	5320
Линия 2	4x10	23	190	4370
Линия 3	4x10	18	190	3420
Линия 4	4x10	26	190	4940
ЩС2				
Линия 1	4x10	32	190	6080
Линия 2	4x10	23	190	4370
Линия 3	4x10	25	190	4750
Линия 4	4x10	21	190	3990

Данные о стоимости взяты с сайта [28].

Таблица 4.11 – Стоимость автоматов

Место установки	Тип автомата	Номинальный ток, А	Цена автомата, руб.
1	2	3	4
ЩС-1	ВА57Ф35 Х4	250	3285
ЩС-2	ВА57Ф35 Х3	200	2986
ВРУ	МЭК 60947-2, UL 489	450	3500

Данные о стоимости взяты с сайта [29].

Стоимость конвекторов определяется по выражению:

$$K_{\text{конв.об.}} = \sum K_{\text{конв}} \cdot N = 3500 \cdot 88 = 30800 \quad (4.16)$$

где $K_{\text{конв}}$ – стоимость 1 конвектора, N – количество конвекторов

$$K = K_{\text{КЛ}} + K_{\text{СП}} + K_{\text{АВТОМАТ}} + K_{\text{конв.об.}} = 37240 + 16000 + 9771 + 35200 + 308000 = 406,2 \text{ тыс. руб.}$$

4.3 Расчет экономической эффективности замены системы отопления

Таблица 4.12 - Расход электроэнергии в кВт за 3 года

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
2016	93943	92716	57240	38156	23881	1243
2017	91109	66241	48836	25477	22709	1337
2018	103108	95417	61155	42689	21112	3038

июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
575	729	3754	35098	78475	56944	482754
1122	115	12122	48765	48654	74894	441381
271	708	37440	51326	52508	69568	538340

Рисунок 4.1- Расход электроэнергии в кВт за 3 года

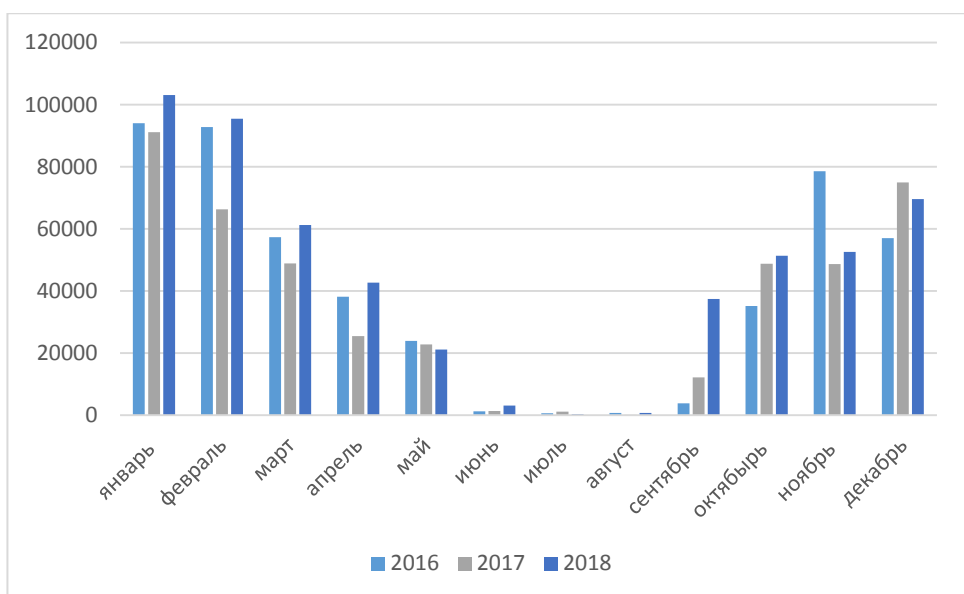
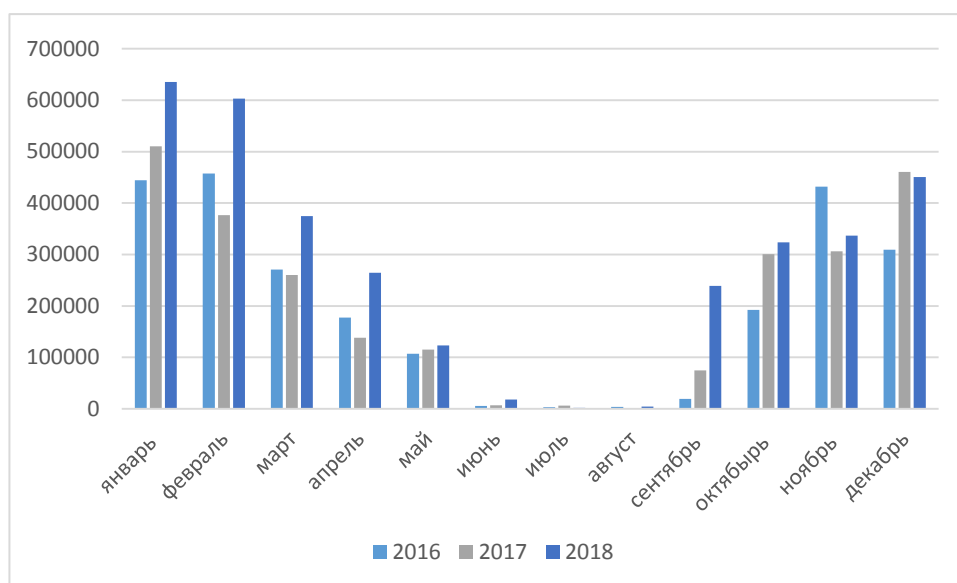


Таблица 4.13 - Расход электроэнергии в рублях за 3 года

год	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
2016	444261,1	457233	270926	177082	106741	5397
2017	510227,7	376361	260007	138215	115222	6829
2018	635479,3	603334	374858	264725	123076	17969

июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	год
2908	3699,7	19444,8	192213,8	431665,08	309330,6	2420901
6415	688	74665,2	300525,5	306063,83	460346,5	2555564
1630	4191,7	238960	323661,8	336487,54	450825	3375196

Рисунок 4.2 - Расход электроэнергии в рублях за 3 года



Традиционная система отопления имеет мощность 300 кВт, что в свою очередь избыточно для площади 823 м² школьного помещения.

Конвекторная система отопления подобрана так, чтобы покрывать нужды школы на отопление.

Максимальное электропотребление составит:

$$\Sigma P_{\text{конв}} = N \cdot P_{\text{конв}} \quad (4.17)$$

$$\Sigma P_{\text{конв}} = 132 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$$

где $P_{\text{конв}}$ – мощность одного конвектора, N – количество конвекторов

Так как система отопления проектировалась с учетом суровых сибирских погодных условий, принято было решение увеличить число конвекторов и, соответственно, увеличить отапливаемую площадь $S_{\text{от}}$, равную произведению мощности одного конвектора $S_{\text{конв}}$ на число конвекторов $N_{\text{конв}}$, принять с запасом.

Тогда коэффициент запаса для системы отопления составит:

$$K_{\text{зап}} = \frac{S_{\text{от}}}{(N_{\text{конв}} \cdot S_{\text{конв}})} \quad (4.18)$$

По данным производителя мы можем увидеть, что на 1,5 кВт мощности конвектора приходится 15 м² отапливаемого помещения.

Найдем количество конвекторов в расчете на площадь школы $S_{\text{школы}} = 823 \text{ м}^2$:

$$(4.19) \quad N_{\text{конв}} = \frac{S_{\text{школы}}}{S_{\text{конв}}}$$

$$N_{\text{конв}} = 823 / 15 = 55 \text{ шт.}$$

Учитывая планировку помещения школы, мы приняли к установке $N_{\text{конв}} = 88$ конвекторов. Исходя из формулы (4,18), произведем расчет коэффициента запаса, который равен:

$$K_{\text{зап}} = 823 / 1320 = 0,625$$

Тогда расчётная мощность отопления школы составит:

$$\begin{aligned} P_{\text{расч}} &= \sum P_{\text{конв}} \cdot K_{\text{зап}} \\ P_{\text{расч}} &= 132 \cdot 0,625 = 82,5 \text{ кВт.} \end{aligned} \quad (4.20)$$

Исходя из этого, можем произвести расчет годового потребления электроэнергии:

$$(4.21) \quad A_{\text{расчет}} = P_{\text{расч}} \cdot T_{\text{от}}$$

Где $T_{\text{от}}$ число часов использования отопительной нагрузки в год

$$T_{\text{от}} = 200 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 4800 \text{ часов}$$

$$\text{Тогда } A_{\text{расчет}} = 82,5 \cdot 4800 = 396000 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Экономия электроэнергии по данным 2018 года (таблица 4.12) составит:

$$A_{\text{эконом}} = A_{\text{факт}} - A_{\text{расчет}} = 538340 - 396000 = 142\,340 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Конвекторы будут обслуживать так же, как и старую систему отопления, три работника, которые в зависимости от погодных условий смогут контролировать потребление электроэнергии, что в свою очередь снизит ее расход.

В школе учащиеся обучаются в одну смену, поэтому после занятий, можно будет уменьшить мощность конвекторов, что в свою очередь аналогично приведет к снижению потребления электроэнергии.

Для экономического сравнения возьмем среднегодовую стоимость электроэнергии $C_{\text{э}}$ равную 6,3 рубля за кВт·ч. Капиталовложения в систему отопления составят $K = 406,2$ тыс. руб. без учета демонтажа старой системы,

установки новой и создания центра автономного регулирования.

Экономия в оплате электроэнергии $C_{\text{эконом}}$ составит:

$$C_{\text{эконом}} = A_{\text{эконом}} \cdot C_{\text{ээ}} = 142\,340 \cdot 6,3 = 896\,742 \text{ руб.} = 896,742 \text{ тыс.руб.}$$

Срок окупаемости системы отопления $T_{\text{окуп}}$ составит:

$$T_{\text{окуп}} = K / C_{\text{эконом}} = 406,2 / 896,742 = 0,453 \text{ года.}$$

Из полученного результата мы можем сделать вывод, что система полностью окупится за 166 дней работы, но этот срок окупаемости не учитывал демонтаж старой и установку новой системы отопления, а также транспортные расходы и расходы для создания системы автоматического регулирования. По предварительной оценке, проведенным руководством школы, стоимость этих работ ориентировочно составят 1,0 – 1,5 миллиона рублей, с учетом этой суммы срок окупаемости может увеличиться до 3,0 – 3,5 лет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом бакалаврской работы является изменение системы электроснабжения школы в поселке Притубинском Минусинского района. Система электроснабжения проектировалась с учетом современных требований к системам, таким как надежность, экономичность, безопасность для человека и окружающей среды.

Были рассчитаны электрические нагрузки ЭП в целом по зданию, рассчитаны электрические нагрузки по уровням электроснабжения.

Были рассчитана система отопления с использованием конвекторов.

Были выбраны кабельные линии, ВРУ и вводные автоматы, распределительные пункты, сечение проводов и кабельных линий и параметры коммутационно – защитных аппаратов.

Выбранное электротехническое оборудование проверено на действие токов короткого замыкания.

Проведены светотехнический и электротехнический расчеты освещения. В проекте предусмотрено также аварийное освещение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анастасиев, П.И. Проектирование кабельных сетей и проводок : учебное пособие / П.И. Анастасиев, Е.З. Бранзбург, А.В. Коляда; под общ. ред. Г. Е. Хромченко – Москва : "Энергия", 1980. – 384с.
2. Андреев, В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения : учебное пособие / В.А. Андреев – Ульяновск : Издательство «Мастерство», 2007. – 150 с.
3. Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения : справочник / Ю.Г. Барыбин – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 200 с.
4. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках до 1кВ – введ. 01.01. 1995 – Москва : Стандартиформ, 1995. – 20 с.
5. ГОСТ Р 52635-2007 Короткие замыкания в электроустановках. – Введ. 01.07. 2007 – Москва : Стандартиформ, 2007. – 15 с.
6. Киреева, Э.А. Электроснабжение жилых и общественных зданий : приложение к журналу энергетик / Э.А Киреева – Москва : ИПК ТЭК, 2005. – 20 с.
7. Князевский, Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий : Учеб. для студ. вузов по спец. «Электропривод и автоматизация промышленных установок» / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин. - 3-е изд., перераб. и доп. - / 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Высш. шк., 1986. – 400 с.
8. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов : методические указания к выполнению курсовой работы / Е.А. Конюхова – Москва : Издательство «Мастерство», 2001. – 70 с.
9. Кочетков, В.П. Основы электромеханики : учебное пособие для студ. высш. учебных заведений / В. П. Кочетков, В. Я. Беспалов, Е. Я. Глушкин – Красноярск : СФУ, 2010. – 624 с.
10. Мукаев, А.И. Управление энергосбережением и повышение энергетической эффективности в организациях и учреждениях бюджетной сферы : Практическое пособие / А.И. Мукаев – Фаменское: ИПК ТЭК, 2011. – 212 с.
11. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. М.: АООТ ОТК ЗВНИ ПКИ Тяжпромэлектропроект, 1994 (1-я редакция). – 78 с.
12. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 131 с
13. Латушкина, Л.Л. Электромагнитные переходные процессы : учебно-методическое пособие / Л.Л. Латушкина – Красноярск : КГТУ, 2006. – 160 с.
14. Мукаев, А.И. Управление энергосбережением и повышение энергетической эффективности в организациях и учреждениях

- бюджетной сферы : Практическое пособие / А.И. Мукаев – Фаменское : ИПК ТЭК, 2011. – 65 с.
15. Нагорная, Н.В. Экономика энергетики: учеб. пособие / Н.В. Нагорная – Владивосток : Изд. ДВГТУ, 2007. – 157 с
 16. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – Москва : Издательство МЭИ, 2003. – 131 с.
 17. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение. – введ. 01.01.1995 – Москва : Стандартиформ, 1995. – 45 с.
 18. СО 153-34.21.122-2003 Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций – введ. 30.06.2003 – Москва : ФГУП ЦПП, 2003. – 44 с.
 19. СП 31.110-2003 Свод правил по проектированию и строительству – введ. 01.08.2003 – Москва : ОАО ЦПП, 2004. – 40 с
 20. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий; дата введ. 01.01.2004. – М. : ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2011. – 65 с.
 21. Торопов, А.С. Дипломное проектирование по специальности 140211.65 «Электроснабжение» : Учебное пособие / Л.Л. Латушкина, А.Д. Макаревич, А.С. Торопов, А.Н. Туликов. – Абакан : Ред.изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2012. – 232 с.
 22. Федоров, А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий : учебное пособие для вузов / А.А. Федоров, Л.Е. Старкова – МОСКВА : Энергия, 1987. – 386 с.
 23. Филатов, И.В. Электроснабжение осветительных установок : учебное пособие / И.В. Филатов, Е.В. Гурнина – Москва : Издательство московского государственного открытого университета, 2009. – 220 с.
 24. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения : Методическое пособие для курсового проектирования / В.П. Шеховцов – Москва : Форум, 2005. – 70 с.
 25. Энциклопедия электротехники [Электронный ресурс] : Каталог кабелей – Режим доступа : <http://kabel-vvg.ru>
 26. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tiu.ru/Punkt-raspreditelnyj-pr11.html>
 27. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tiu.ru/search/ВВГ>
 28. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tiu.ru/search/ВА57Ф35>
 29. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.citilink.ru/heaters/convect

Бакалаврская работа выполнена мной самостоятельно. Используемые в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

Отпечатано в 1 экземплярах.

Библиография 29 наименований.

« _____ » _____ 20 ____ г.
(дата)

(подпись)

Свитов Андрей Николаевич
(ФИО)

Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО

«Сибирский федеральный университет»

Институт

«Электротехника»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Г. Н. Чистяков

подпись инципалы, фамилия

«14» 06 20 19 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электротехника и электротехника»

код – наименование направления

Реконструкция системы электроснабжения МКОУ «Приютинская основная
общеобразовательная школа №22»

тема

Руководитель Докан, Дюпент, К.Т.Н. 08.06.2019
подпись, дата
должность, ученая степень

Выпускник

08.06.2019
подпись, дата

Нормоконтролер 08.06.2019
подпись, дата

Е. В. Платонова
инципалы, фамилия

А. Н. Свитов
инципалы, фамилия

И. А. Кычакова
инципалы, фамилия

Абакан 2019