

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Электроснабжение МБОУ СОШ № 55 станции Варениковской
муниципального образования Крымский район на 400 мест

Обучающийся

Ю. А. Мартыненко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., О. В. Самолина

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

Тольятти 2024

Аннотация

Темой выпускной квалификационной работы (ВКР) (бакалаврской работы) является: «Электроснабжение МБОУ СОШ № 55 станицы Варениковской муниципального образования Крымский район на 400 мест».

Ключевые слова: система электроснабжения, электрическая нагрузка, электрооборудование, мощность, трансформаторная подстанция, напряжение, ток, электрический аппарат, заземление.

Объект исследования: МБОУ СОШ № 55.

Предмет исследования: система электроснабжения МБОУ СОШ № 55.

Цель работы: разработка рациональной системы электроснабжения МБОУ СОШ № 55 с учетом современных требований норм и правил проектирования.

В данной выпускной квалификационной работе исследуются следующие важные аспекты, связанные с проектированием системы электроснабжения:

- краткий анализ характеристик проектируемого объекта;
- расчет электрических нагрузок и системы наружного освещения;
- выбор и расчет количества силовых трансформаторов и их мощностей; расчет токов короткого замыкания;
- выбор и расчет электрических аппаратов; вопросы внешнего электроснабжения;
- выбор системы коммерческого учета электрической энергии;
- расчет заземления трансформаторной подстанции.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки, которая включает рисунки, таблицы и список используемой литературы, а также графическую часть, оформленную на шести листах формата А1.

Содержание

Введение.....	4
1 Краткая характеристика объекта проектирования.....	6
2 Расчет электрических нагрузок и системы наружного освещения.....	10
2.1 Расчет электрических нагрузок.....	10
2.2 Расчет системы наружного освещения.....	15
3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов.....	21
4 Расчет токов короткого замыкания.....	24
5 Выбор и расчет электрических аппаратов.....	34
5.1 Выбор и расчет высоковольтных электрических аппаратов	34
5.2 Выбор и расчет низковольтных электрических аппаратов.....	38
6 Внешнее электроснабжение.....	42
6.1 Выбор трассы ЛЭП 10 кВ и 0,4 кВ.....	42
6.2 Выбор сечения и марки проводников ЛЭП 10 кВ.....	46
6.3 Выбор сечения и марки проводников ЛЭП 0,4 кВ.....	51
7 Выбор системы коммерческого учета электрической энергии.....	54
8 Расчет заземления трансформаторной подстанции.....	56
Заключение.....	60
Список используемой литературы.....	62

Введение

Данная бакалаврская работа посвящена разработке проекта системы электроснабжения (СЭС) для средней общеобразовательной школы № 55, расположенной в станице Варениковской Крымского района.

Школа рассчитана на 400 ученических мест, что делает ее одним из ключевых образовательных учреждений в населенном пункте.

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания современной и надежной системы электроснабжения для обеспечения бесперебойного функционирования учебного процесса.

Современная школа – это не только учебные классы, но и лаборатории, компьютерные классы, спортивные залы, библиотеки и другие помещения, требующие постоянного доступа к электроэнергии.

Цель работы: разработать эффективную систему электроснабжения для МБОУ СОШ № 55, отвечающую актуальным нормам и правилам проектирования, которая бы обеспечивала надежным и качественным электроснабжением все электроприемники школы.

Предмет исследования: система электроснабжения МБОУ СОШ № 55, включая ее основные элементы: вводно-распределительные устройства (ВРУ), трансформаторные подстанции (ТП), распределительные сети, распределительные щиты (РЩ), резервные источники питания (дизель-генераторные установки (ДГУ)) и системы автоматизированного управления (АСУ).

Задачи работы:

- представить краткую характеристику проектируемого объекта;
- провести расчеты электрических нагрузок и системы наружного освещения;
- определить необходимое количество и мощность трансформаторов, обеспечивающих бесперебойную подачу электроэнергии во всех

помещениях школы;

- выполнить расчеты токов короткого замыкания для обеспечения безопасности системы электроснабжения и предотвращения аварийных ситуаций;
- провести расчет системы внешнего электроснабжения;
- выбрать систему коммерческого учета электрической энергии, позволяющую эффективно контролировать потребление электроэнергии и оптимизировать затраты;
- выполнить расчет заземления трансформаторной подстанции, обеспечивающий безопасное функционирование оборудования и защиту от поражения электрическим током.

Методы исследования:

- теоретические: изучение нормативно-технической документации, учебных пособий и научных статей по проектированию систем электроснабжения;
- аналитические: анализ существующих проектов систем электроснабжения, выявление их преимуществ и недостатков, разработка оптимальных решений для конкретного объекта;
- математические: применение математических методов для расчетов электрических нагрузок, токов короткого замыкания, заземления и других параметров системы электроснабжения.

Научная значимость работы: разработка проекта СЭС для школы – это не просто техническое задание, а важный шаг в обеспечении комфортных и безопасных условий обучения. Проект способствует развитию теоретических и практических навыков, необходимых для глубокого анализа выбранной темы, а также позволяет получить практический опыт в проектировании систем электроснабжения.

Полученные знания и навыки помогут грамотно рассчитывать и выбирать современное энергоэффективное электрооборудование, соответствующее нормативным документам и стандартам.

1 Краткая характеристика объекта проектирования

Объектом проектирования является общеобразовательная школа, расположенная по адресу: Краснодарский край, Крымский район, станица Варениковская, улица Транспортная, 28.

Школа осуществляет образовательную деятельность по образовательным программам начального и основного общего образования в соответствии с Федеральной образовательной программой.

Образовательная деятельность осуществляется в формате одной смены. В одном классе обучается двадцать пять учеников.

Здание школы имеет сложную форму, состоит из двух этажей с подвалом и имеет размеры 95,83×42,1 м по осям.

Состав помещений школы и их размещение предусмотрено на 400 учащихся.

Общая площадь территории в границах участка составляет 33416 м².

На территории участка школы предусмотрены следующие зоны:

- хозяйственная зона;
- спортивная зона;
- зона, предназначенная для организации торжеств, лекций по ОБЖ и благоустроенная рекреационная территория.

Хозяйственная зона, расположенная в северо-западной части территории, включает в себя следующие объекты:

- котельную,
- дизельную электростанцию (ДЭС),
- резервуары-отстойники,
- накопительный резервуар для бытовых стоков,
- место для мусорных контейнеров,
- место для чистки ковров и парковку.

Спортивная зона, расположенная на севере и востоке территории, представляет собой площадки открытых различных спортивных площадок и

сооружений

Зона, предназначенная для организации торжеств, лекций по ОБЖ и благоустроенная рекреационная территория, расположена в центральной части территории.

В юго-восточной зоне территории предусматривается площадка для детей младшего школьного возраста (1-4 классы), а также за территорией предусмотрена парковка для гостей.

На юго-западе и западе размещаются резервуары для хранения пожарного запаса воды, а также насосная станция с площадкой для разворота.

В южной части за территорией предусмотрена парковка для родителей.

Основной источник питания – подстанция напряжением 110/35/10/6 кВ (ПС-110/35/10/6 кВ) Варениковская предприятия ПАО «Россети Кубань».

Источником резервного (аварийного) электроснабжения в случае перерыва в электроснабжении от основного источника электропитания предусматривается ДЭС мощностью 312 кВт контейнерного исполнения, напряжение 0,4 кВ (ДЭС-0,4 кВ), обеспечивающая автоматический пуск по сигналу от устройства автоматического включения резерва (АВР) вводного устройства здания.

Точкой подключения для электроснабжения потребителей объекта в работе предусматривается установка ТП-10/0,4 кВ.

Категории надежности электроснабжения объекта – I, II и III.

Электроприемники (ЭП) классифицируются в зависимости от уровня надежности электроснабжения:

а) к первой категории относятся:

1) противопожарное оборудование:

- системы пожарной и охранной сигнализации;
- ЭП насосной станции пожаротушения и вентиляции дымоудаления;
- ЭП системы аварийного освещения и оповещения об

эвакуации в случае возникновения пожара;

2) ЭП видеонаблюдения, серверной, и часофикации звонков.

б) ко второй категории относятся ЭП:

- 1) рабочего освещения;
- 2) насосной станции;
- 3) котельной;
- 4) технологического оборудования;
- 5) систем вентиляции и кондиционирования.

в) к третьей категории относятся ЭП системы наружного освещения.

Электроснабжение ЭП первой категории надежности обеспечивается установкой в электрощитовой распределительного устройства с АВР, системой автоматического запуска ДЭС при пропадании напряжения от основного источника [13].

Электроснабжение ЭП второй категории обеспечивается в рабочем режиме от ТП. В условиях аварийной ситуации предусмотрено обеспечение электроснабжения от ДЭС [13].

Электроснабжение ЭП III категория надежности обеспечивается от проектируемой ТП-10/0,4 кВ [13].

Для подключения объекта от ТП-10/0,4 кВ в работе предусматривается установка шкафа учета (ШУ-0,4 кВ) на проектируемой опоре ВЛ-0,4 кВ на границе участка и ВРУ-0,4 кВ.

Питание электроприемников наружного освещения осуществляется от щита наружного освещения (ЩНО), который расположен в помещении электрощитовой школы.

Для низковольтной распределительной сети выбрана система электропитания с уровнем напряжения 380/220 В, с глухозаземленной нейтралью трансформаторов и заземлением TN-C-S.

Групповые, как и распределительные сети организованы по трех- и пяти-проводной системе с выделенными нулевыми рабочим (N) и нулевым защитными (PE) проводниками.

Электроснабжение внешнего освещения территории школы обеспечивается от щита ЩНО, установка которого предусматривается в помещении щитовой здания школы.

Внутренняя система электроснабжения объекта выполняется на напряжение 380/220 В переменного тока. Электрическая сеть предусмотрена с глухозаземленной нейтралью, а система заземления принята TN-C-S.

Для распределения электроэнергии внутри здания предусмотрены вводные и распределительные устройства, установленные в помещении электрощитовой.

Также предусмотрены ВРУ ВНС, размещенная в помещении противопожарной насосной, и ВРУ котельной, расположенная в здании котельной (комплектная поставка).

Все шкафы обладают степенью защиты не ниже IP44. Для питания проектируемой ТП-10/0,4 кВ предусмотрено строительство ВЛ-10 кВ от РУ-10 кВ ПС-110/35/10/6 кВ «Варениковская».

Согласно СП 256.1325800.2016 [17], установка устройств для компенсации реактивной мощности не является необходимой.

Выводы по разделу.

Проект общеобразовательной школы в станице Варениковская является масштабным и комплексным, требующим тщательной проработки всех инженерных систем, в том числе электроснабжения.

Проект предусматривает:

- надёжное электроснабжение для комфортного обучения, безопасности и бесперебойной работы всех важных объектов;
- систему резервного электроснабжения;
- разделение электроприемников на категории надежности для оптимизации системы и гарантирования необходимого уровня надежности для каждого типа потребителя.

2 Расчет электрических нагрузок и системы наружного освещения

2.1 Расчет электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок является важным этапом при проектировании системы электроснабжения (СЭС) для любого объекта, будь то здание или сооружение. Правильный расчет позволяет:

- определить максимальные и расчетные нагрузки необходимые для дальнейшего правильного, рационального выбора электрооборудования, распределительных устройств и кабельно-проводниковой продукции;
- обеспечить надежное электроснабжение: гарантирует, что система сможет предоставлять необходимое количество электроэнергии всем потребителям;
- оптимизировать схему питания: определить наиболее эффективный способ распределения нагрузки между различными потребителями, что может уменьшить затраты на электроэнергию.

Расчет электрических нагрузок в общественных зданиях, таких как школы, регламентируется нормами проектирования, установленными СП 256.1325800.2016 [17].

Для определения потребности в электроэнергии на вводе в здание применяется специальная формула, которая учитывает различные режимы работы (рабочий и аварийный) и типы потребителей (силовые электроприемники, технологическое оборудование и электрическое освещение):

$$P_p = K \cdot (P_{p.p} + P_{p.o} + P_{p.c.to}) \quad (1)$$

«где K – коэффициент несовпадения максимумов нагрузок силовых электрических приемников, включая холодильное оборудование и электроосвещение;

$P_{p.p}$ – нагрузка силовых электрических приемников, подключенных к розеткам, в кВт;

$P_{p.o}$ – нагрузка электроосвещения, кВт;

$P_{p.c.to}$ – общая нагрузка технологического оборудования, кВт» [17].

Чтобы определить потребление электроэнергии силовыми электроприборами, подключенными к розеткам, используется следующая формула:

$$P_{p.p} = K_{c.p} \cdot P_{уд.p} \cdot n_p \quad (2)$$

«где $K_{c.p}$ – коэффициент спроса розеток;

$P_{уд.p}$ – удельная мощность розетки, кВт;

n_p – число розеток» [17].

Чтобы определить нагрузку освещения, используется следующая формула:

$$P_{p.o} = K_{c.o} \cdot P_{уд.o} \quad (3)$$

«где $K_{c.o}$ – коэффициент спроса электроосвещения,

$P_{уд.o}$ – удельная мощность электроосвещения, кВт» [17]

Для расчета суммарной нагрузки технологического оборудования используется следующая формула:

$$P_{p.c.to} = P_{p.пм} + 0,65 \cdot (P_{p.т} + 0,7 \cdot P_{p.ст.х}) \quad (4)$$

«где $P_{p.пм}$ – нагрузка посудомоечных машин, кВт;

$P_{p.т}$ – нагрузка электрических приемников технологического оборудования, в кВт

$P_{p.ст.х}$ – нагрузка сантехнического оборудования и холодильных машин, кВт» [17].

Трехфазный расчетный ток определяется с использованием следующей формулы:

$$I_{p.3\phi} = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.3\phi} \cdot \cos\varphi} \quad (5)$$

«где P_p – расчетная нагрузка ЭП или группы ЭП, кВт;

$U_{ном.3-ф}$ – номинальное напряжение 3-фазной сети, кВ;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности, определяемый по паспортным данным ЭП или по справочным данным» [23] .

Однофазный ток определяется с использованием следующей формулы:

$$I_{p.1\phi} = \frac{P_p}{U_{ном.1\phi} \cdot \cos\varphi} \quad (6)$$

где $U_{ном.1\phi}$ является номинальным напряжением 1-фазной сети, кВ;

Все электроприборы и оборудование школы разделены на группы в соответствии с их расположением и функцией.

Силовые электроприемники (ЭП) и технологическое оборудование подключаются к силовым распределительным щитам.

Установки рабочего и аварийного освещения подключаются к щитам освещения и щитам аварийного освещения соответственно.

Расчет нагрузок по группам ЭП и суммарная расчетная нагрузка на вводе школы в рабочем и аварийном режимах производится в табличной форме.

Результаты расчета электрических нагрузок приводятся в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета нагрузок школы

Обозначение группы ЭП	P_y , кВт	P_p , кВт	$\cos\varphi$	I_p , А
1	2	3	4	5
ВРУ-1				
РП-1				
ЩО-1	7,42	7,42	0,95	11,27
ЩО-3	3,33	3,33	0,95	5,33
ЩО-5	3,42	3,42	0,95	5,2
ЩВ-2	5,28	5,06	0,85	8,59
ЩВ-3	4,42	2,47	0,85	4,20
ЩВП-2	7,4	4,81	0,75	9,26
ЩНО	6,862	6,862	0,95	10,97
ЩС-3	3,48	3,48	0,95	5,29
ЩКон-1	27,93	22,34	0,85	37,94
ЩС-4	25,15	11,21	0,95	17,03
ЩС-5	23,17	8,48	0,95	12,88
ЩС-6	18,07	7,68	0,95	11,67
ЩО-4	3,93	3,93	0,95	5,97
ЩО-6	3,38	3,38	0,95	5,14
ЩО-7	2,25	2,25	0,95	3,42
ЩС-7	37,67	15,48	0,95	23,52
ЩС-8	13,28	6,37	0,95	9,68
ЩВК-1	9,33	4,32	0,75	8,31
ЩСН-ДЭС	2	2	0,95	3,03
ЩЧЗ-1	0,83	0,83	0,65	1,84
ВРУст-1				
ЩО-2	2,53	2,53	0,95	4,05
ЩВ-1	17,67	11,91	0,85	20,22
ЩС-1	86,4	38,88	0,98	57,26
ЩС-2	153,02	45,91	0,98	67,62
ЩВП-1	6,35	6,35	0,75	12,22
Итого по ВРУст-1	260,5	92,46	0,98	136,74
Итого по РП-1	490,16	238,64	0,94	385,73
ППУ-1				
ЩАО-1	0,92	0,92	0,95	1,41
ШУЛ	4,1	4,1	0,65	9,1
ЩПС	0,06	0,06	0,65	0,42
ЩСБ-1	7,98	7,98	0,65	17,72
ЩАО-2	1,05	1,05	0,95	1,59
ЩАО-3	0,83	0,83	0,95	1,26
ЩАО-4	1,57	1,57	0,95	2,38
ЩАО-5	0,79	0,79	0,95	1,2
ЩАО-6	1,16	1,16	0,95	1,76
ЩАО-7	0,77	0,77	0,95	1,17
ЩУ ВД-1	5,5	5,5	0,85	9,34
ЩУ ВД-2	5,5	5,5	0,85	9,34
ЩУ ВД-3	5,5	5,5	0,85	9,34
ЩУ ВД-4	5,5	5,5	0,85	9,34

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
ЩУ ПД-1	3,0	3,0	0,75	5,09
ЩУ ПД-2	3,0	3,0	0,75	5,09
ЩУ ПД-3	3,0	3,0	0,75	5,09
ЩУ ПД-4	3,0	3,0	0,75	5,09
ЩУ ПД-5	3,0	3,0	0,75	5,09
Итого по ППУ-1 (рабочий режим)	56,23	27,29	0,83	41,46
Итого по ППУ-1 (пожар)	56,23	85,06	0,83	129,24
ВРУ котельная	26,0	19,5	0,95	31,18
ВНС	11,42	9,12	0,90	15,4
Обозначение группы ЭП	P_y , кВт	P_p , кВт	$\cos\varphi$	I_p , А
Итого по ВРУ-1 (нормальный/послеаварийный режим)	534,64	246,77	0,95	374,93
Итого по ВРУ-1 (нормальный режим при пожаре)	534,64	201,86	0,95	306,69

Таким образом, расчетная нагрузка школы составляет:

$$P_{p.ш} = 246,77 \text{ кВт}$$

Далее определяется расчетная реактивная нагрузка школы по следующей формуле [15]:

$$Q_{p.ш} = P_{p.ш} \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (7)$$

где $P_{p.ш}$ – расчетная нагрузка школы, кВт;

$\operatorname{tg}\varphi$ – коэффициент реактивной мощности.

Используем формулу (7) для расчета:

$$Q_{p.ш} = 246,77 \cdot 0,33 = 81,43 \text{ квар}$$

Для определения полной нагрузки школы используется формула:

$$S_{p.ш} = \sqrt{P_{p.ш}^2 + Q_{p.ш}^2} \quad (8)$$

Используем формулу (8) для расчета:

$$S_{p.ш} = \sqrt{246,77^2 + 81,43^2} = 259,86 \text{ кВА}$$

В данном подразделе был рассмотрен «Расчет электрических нагрузок».

Правильно выполненные расчеты, основанные на нормативных документах и учитывающие специфику объекта, позволяют:

- определить потребность в электроэнергии для всех потребителей, включая силовые электроприемники, технологическое оборудование и освещение;
- оптимизировать схему питания, минимизируя потери энергии и обеспечивая эффективное распределение нагрузки;
- выбрать оптимальное электрооборудование, обеспечивая надежное и безопасное электроснабжение всех территорий школы.

Проведенный расчет электрических нагрузок, учитывающий различные режимы работы и типы потребителей, является основой для последующего проектирования и выбора оборудования СЭС, гарантирующего бесперебойную работу школы и создание комфортных условий обучения.

2.2 Расчет системы наружного освещения

В соответствии с нормами СП 52.13330.2016 [18], уровень освещенности проездов и тротуаров на территории учебного заведения должен составлять 5 лк, тогда как освещенность спортивных площадок на этой же территории должна достигать 50 лк.

Для системы освещения территории учебного заведения в качестве

источника света используются LED лампы.

Освещение проезжих частей и пешеходных зон осуществляется с использованием консольных светильников модели ASTZ-ДКУ62-40-001 Champion мощностью лампы – 40 Вт. Эти светильники устанавливаются на металлические опоры типа ОКГ-7 высотой 7 м.

Освещение спортивных площадок на территории учебного заведения будет обеспечено с помощью прожекторов следующих моделей:

- ASTZ-ДО15-240-301 Kosmos 750, мощностью лампы – 235 Вт;
- ASTZ-ДО15-240-401 Kosmos 750, мощностью лампы – 235 Вт;
- ASTZ-ДО15-160-201 Kosmos 750, мощностью лампы – 151 Вт.

Данные модели прожекторов устанавливаются на металлические опоры типа ОКГ-12 высотой 12 м.

Кроме прожекторов, для освещения открытых спортивных площадок предусматриваются консольные светильники следующих моделей:

- ASTZ-ДКУ62-100-001 Champion 750, мощностью лампы – 100 Вт;
- ASTZ-ДКУ62-150-001 Champion 750, мощностью лампы – 150 Вт;
- ASTZ-ДКУ63-200-002 Favorit 750, мощностью лампы – 200 Вт.

Данные модели светильников монтируются на металлических опорах типа ОКГ-7 высотой 7 м.

Металлические опоры наружного освещения предусмотрены кабельным вводом.

Чтобы определить нужное количество светильников для освещения, используют формулу, которая учитывает нормированную освещенность, освещаемую площадь и тип светильника:

$$N_{\text{св}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S}{\eta_{\text{и}} \cdot \Phi_{\text{св}}} \quad (9)$$

«где $E_{\text{н}}$ – нормированная освещенность, лк;

S – площадь территории, м²;

$\eta_{\text{и}}$ – коэффициент использования светового потока;

$\Phi_{\text{св}}$ – световой поток светильника, лм» [14].

В соответствии с формулой (9) проводится расчет количества светильников проездов и тротуаров на территории школы:

$$N_{\text{св}} = \frac{5 \cdot 18848,4}{0,5 \cdot 4520} \approx 42 \text{ шт}$$

Для освещения проездов и тротуаров на территории школы будет использовано 42 консольных светильника модели ASTZ-ДКУ62-40-001 Champion 750, каждый из которых имеет мощность 40 Вт.

Чтобы определить общую мощность, потребляемую группой светильников, используется следующая формула: [23]

$$P_{\text{св}} = P_{\text{н.св}} \cdot N_{\text{св}} \cdot 10^{-3} \quad (10)$$

«где $P_{\text{н.св}}$ – номинальная мощность одного светильника, Вт;

$N_{\text{св}}$ – количество светильников, шт» [23].

Согласно формуле (10), рассчитывается мощность светильников проездов и тротуаров на территории школы:

$$P_{\text{св}} = 40 \cdot 42 \cdot 10^{-3} = 1,68 \text{ кВт}$$

Расчеты количества светильников для освещения других зон на территории школы проводятся по аналогии расчетов для проездов и тротуаров. Результаты расчетов сводятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов наружного освещения школы

Наименование территории	E_n , лк	S , м ²	η_n	$\Phi_{св}$, лм	$N_{св}$, шт.	Тип светильника	$P_{св}$, кВт
Проезды и тротуары	5	18848	0,5	4520	42	ASTZ-ДКУ62-40-001 Champion 750	1,68
Поле для футбола	50	680	0,5	21376	2	ASTZ-ДО15-160-201 Kosmos 750	0,302
		1530	0,5	32472	4	ASTZ-ДО15-240-401 Kosmos 750	0,94
Беговые дорожки	50	1517	0,6	32412	4	ASTZ-ДО15-240-301 Kosmos 750	0,94
Зона для толкания ядра	50	215	0,5	22500	4	ASTZ-ДКУ62-150-001 Champion 750	0,6
Баскетбольная площадка	50	540	0,5	22500	4	ASTZ-ДКУ62-150-001 Champion 750	0,6
Зона для метания диска в сетку	50	68	0,5	22500	2	ASTZ-ДКУ62-150-001 Champion 750	0,3
Площадка для настольного тенниса	50	144	0,5	22500	2	ASTZ-ДКУ62-150-001 Champion 750	0,3
Волейбольная площадка	50	360	0,5	15500	4	ASTZ-ДКУ62-100-001 Champion 750	0,4
Зона для прыжков в длину	50	188	0,5	30000	4	ASTZ-ДКУ63-200-002 Favorit 750	0,8

Для электропитания приборов наружного освещения будет использоваться щит наружного освещения (ЩНО). ЩНО будет установлен в помещении электрощитовой здания школы.

Расчетная мощность питающей линии ЩНО определяется как сумма мощности светильников, освещаемых территории школы и вычисляется по следующей формуле:

$$P_{р.ЩНО} = K_c \sum_{i=1}^n P_{св.i} \quad (11)$$

где K_c – коэффициент спроса освещения, выбирается по [19];

$P_{св.i}$ – мощность i -той освещаемой территории, кВт;

n – количество освещаемых территорий, шт.

Определяется расчетная мощность питающей линии ЩНО по

выражению (11):

$$P_{p.щно} = 1 \cdot (1,68 + 0,302 + 0,94 + 0,94 + 0,6 + 0,6 + 0,3 + 0,3 + 0,4 + 0,8) = 6,862 \text{ кВт.}$$

Расчетный ток ЩНО определяется по формуле (5):

$$I_{p.щно} = \frac{6,862}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 10,97 \text{ А}$$

Щит управления наружным освещением (ЩНО) предназначен для автоматизации и управления системами уличного освещения на территории школы. ЩНО выполняет ряд функций, обеспечивающих эффективное и безопасное управление освещением:

- автоматическое управление освещением: позволяет включать и выключать освещение по заранее заданным программам и графикам, что оптимизирует потребление электроэнергии и повышает безопасность на территории школы в ночное время;
- ручное управление освещением: ЩНО оснащен выключателями, которые позволяют включать и выключать освещение вручную, что удобно в нестандартных ситуациях;
- управление освещением из помещения охраны: позволяет контролировать работу системы освещения и включать или выключать освещение в необходимых случаях.

Был проведен расчет системы наружного освещения для территории школы, учитывая нормативы освещенности для различных зон, используя современные LED светильники.

Определены типы светильников и опоры для освещения проездов, тротуаров и спортивных площадок, а также рассчитано необходимое количество осветительных приборов для каждой зоны.

Проведенные расчеты позволили определить мощность питающей

линии ЩНО и обеспечивают правильный подбор электрооборудования и кабельно-проводниковых изделий для эффективной и безопасной работы системы наружного освещения.

Вывод по разделу.

Расчет электрических нагрузок является важным этапом в проектировании системы электроснабжения (СЭС) для общеобразовательной школы. Правильно выполненные расчеты, основанные на нормативных документах и учитывающие специфику объекта, позволяют:

- определить потребность в электроэнергии для всех потребителей, включая силовые электроприемники, технологическое оборудование и освещение;
- оптимизировать схему питания, минимизируя потери энергии и обеспечивая эффективное распределение нагрузки;
- выбрать оптимальное электрооборудование, обеспечивая надежное и безопасное электроснабжение всех территорий школы.

3 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов

Для электроснабжения потребителей школы, относящихся к третьей категории надежности, предусмотрена установка однотрансформаторной трансформаторной подстанции (ТП) в соответствии с требованиями ПУЭ [13].

При выборе трансформатора учитывается расчетная полная нагрузка объекта, а также потери мощности в самом трансформаторе.

Для определения потерь мощности в трансформаторе используются следующие формулы:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot S_p, \quad (12)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot S_p, \quad (13)$$

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{\Delta P_{\text{тр}}^2 + \Delta Q_{\text{тр}}^2}. \quad (14)$$

«где S_p – полная, расчетная мощность потребителя, кВА» [15].

Потери мощности вычисляются с использованием уравнений (12)- (14):

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 \cdot 259,86 = 5,2 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot 259,86 = 25,99 \text{ квар},$$

$$\Delta S_{\text{тр}} = \sqrt{5,2^2 + 25,99^2} = 26,5 \text{ кВА}.$$

Номинальная мощность трансформатора рассчитывается с помощью формулы [15]:

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{р.ВН}}}{n_{\text{тр}} \cdot k_3} \quad (15)$$

«где $S_{\text{р.ВН}}$ – расчетная полная нагрузка на стороне высокого напряжения (ВН) трансформатора (ВН), кВА;

$n_{\text{тр}}$ – количество трансформаторов, шт.;

k_3 – коэффициент загрузки, принимается $k_3=0,95$ [19].

Чтобы определить нагрузку на стороне высокого напряжения трансформатора, используются для вычисления следующие формулы:

$$P_{\text{р.ВН}} = P_{\text{р}} + \Delta P_{\text{тр}}, \quad (16)$$

$$Q_{\text{р.ВН}} = Q_{\text{р}} + \Delta Q_{\text{тр}}, \quad (17)$$

$$S_{\text{р.ВН}} = \sqrt{P_{\text{ВН}}^2 + Q_{\text{ВН}}^2}. \quad (18)$$

По приведенным выше выражениям (16)-(18) определяются нагрузки на высокой стороне трансформатора:

$$P_{\text{р.ВН}} = 246,77 + 5,2 = 251,97 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.ВН}} = 81,43 + 25,99 = 107,42 \text{ квар},$$

$$S_{\text{р.ВН}} = \sqrt{251,97^2 + 107,42^2} = 273,91 \text{ кВА}.$$

Номинальная мощность трансформатора проектируемой трансформаторной подстанции (ТП) вычисляется по формуле (15):

$$S_{\text{ном.тр}} = \frac{273,91}{1 \cdot 0,95} = 288,33 \text{ кВА}$$

Стандартную мощность трансформатора выбираем по следующему условию:

$$S_{\text{ном.тр.с}} \geq S_{\text{ном.тр}} \quad (19)$$

где $S_{\text{ном.тр.с}}$ – стандартная мощность трансформатора, кВА.

Выбираем стандартную мощность трансформатора, равную $S_{\text{ном.тр.с}} = 400\text{кВА}$, по условию (19).

Расчеты показали, что выбранный трансформатор соответствует необходимым требованиям. В связи с этим в проектируемой трансформаторной подстанции будет установлен силовой трансформатор марки ТМГ33-400/10-УХЛ1-ХЗК2.

Коэффициент загрузки трансформатора рассчитывается по следующей формуле:

$$k_3 = \frac{S_{\text{р.ВН}}}{n_{\text{тр}} \cdot S_{\text{ном.тр}}} \quad (20)$$

Определяется фактический коэффициент загрузки трансформатора по выражению (20).

$$k_3 = \frac{273,91}{1 \cdot 400} = 0,68$$

Согласно нормативным требованиям [6] выбранный силовой трансформатор соответствует допустимой загруженности.

Технические характеристики трансформатора ТМГ33-400/10-УХЛ1-ХЗК2 указаны в таблице 3.

Таблица 3 – Технические характеристики трансформатора ТМГ33-400/10-УХЛ1-ХЗК2

Марка силового трансформатора	$S_{\text{ном.тр}}$, кВА	$U_{\text{ном.ВН}}$, кВ	$U_{\text{ном.НН}}$, кВ	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{\text{кз}}$, кВт	$u_{\text{к}}$, %	$i_{\text{х}}$, %
ТМГ33-400/10-УХЛ1-ХЗК2	400	10	0,4	0,52	4,175	4,5	0,35

Вывод по разделу.

В данном разделе был рассмотрен «выбор и расчет числа и мощности трансформаторов».

Проведенный анализ показывает, что выбранный силовой трансформатор удовлетворяет всем необходимым проектным нормам и является оптимальным решением для данного объекта.

В проектируемой комплектной трансформаторной подстанции КТП-10/0,4 кВ установлен трансформатор типа ТМГЗЗ-400/10-УХЛ1-ХЗК2. Это трехфазный герметичный трансформатор с естественной циркуляцией масла, имеющий схему и группу соединения обмоток «треугольник/звезда с нулем», мощностью 400 кВА.

Производителем оборудования является Минский электротехнический завод имени В. И. Козлова.

4 Расчет токов короткого замыкания

Значения токов короткого замыкания в электрической сети применяются для оценки способности оборудования выдерживать электродинамические и тепловые нагрузки, а также для настройки и проверки работы релейной защиты и автоматики (РЗА) [3, 12]. Для выполнения расчетов создаются расчетная схема и схема замещения, которые показаны на рисунке 1. В схеме замещения указываются активные и индуктивные сопротивления элементов.

Сопротивление системы рассчитывается по следующей формуле [23]:

$$X_c = \frac{U_{\text{ип}}}{\sqrt{3} \cdot I_{\text{п0}}^{(3)}} \quad (21)$$

«где $U_{\text{ип}}$ – напряжение источника питания, кВ;

$I_{\text{п0}}^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания на шинах ПС, кА»
[23].

В соответствии исходным данным на шинах 10 кВ РУ-10 кВ ПС-110/35/10/6 кВ «Варениковская» составляет $I_{\text{п0}}^{(3)} = 9,461$ кА.

Рассчитывается сопротивление системы по выражению (21):

$$X_c = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 9,461} = 0,641 \text{ Ом}$$

Затем выполняется расчет активного и индуктивного сопротивлений линии (воздушной и кабельной).

Для определения активного сопротивление линии электропередачи используем следующую формулу:

$$R_{\text{л}} = r_{0,\text{л}} \cdot l_{\text{л}} \quad (22)$$

«где $r_{0,л}$ – удельное активное сопротивление линии, принимаемое по данным справочника [11], Ом/км;
 $l_{л}$ – длина линии, км» [16].

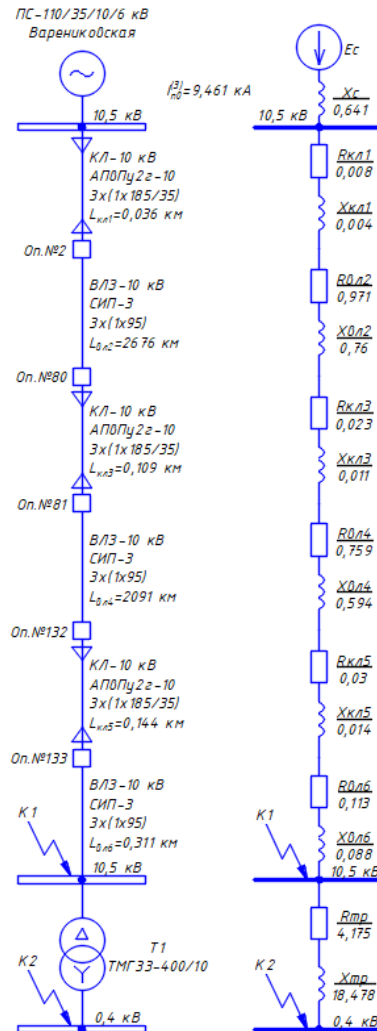


Рисунок 1 – Схема для расчета и эквивалентная схема замещения, используемые при вычислении токов короткого замыкания (КЗ).

Индуктивное сопротивление линии рассчитывается по выражению:

$$X_{л} = x_{0,л} \cdot l_{л} \quad (23)$$

где $x_{0,л}$ – удельное индуктивное сопротивление линии, принимается по справочнику [10], Ом/км.

Используя формулы (22) и (23), определим активное и индуктивное сопротивления каждого участка линии электропередачи согласно расчетной схемы. Полученные значения активного и индуктивного сопротивлений заносятся на схему замещения (рисунок 1).

$$\begin{aligned}
 R_{\text{кл}1} &= 0,211 \cdot 0,036 = 0,008 \text{ Ом}, \\
 X_{\text{кл}1} &= 0,098 \cdot 0,036 = 0,004 \text{ Ом}, \\
 R_{\text{вл}2} &= 0,363 \cdot 2,676 = 0,971 \text{ Ом}, \\
 X_{\text{вл}2} &= 0,284 \cdot 2,676 = 0,76 \text{ Ом}, \\
 R_{\text{кл}3} &= 0,211 \cdot 0,109 = 0,023 \text{ Ом}, \\
 X_{\text{кл}3} &= 0,098 \cdot 0,109 = 0,011 \text{ Ом}, \\
 R_{\text{вл}4} &= 0,363 \cdot 2,091 = 0,759 \text{ Ом}, \\
 X_{\text{вл}4} &= 0,284 \cdot 2,091 = 0,594 \text{ Ом}, \\
 R_{\text{кл}5} &= 0,211 \cdot 0,144 = 0,03 \text{ Ом}, \\
 X_{\text{кл}5} &= 0,098 \cdot 0,144 = 0,014 \text{ Ом}, \\
 R_{\text{вл}6} &= 0,363 \cdot 0,311 = 0,113 \text{ Ом}, \\
 X_{\text{вл}6} &= 0,284 \cdot 0,311 = 0,088 \text{ Ом}.
 \end{aligned}$$

Ток трёхфазного короткого замыкания в точке К1 вычисляется следующим образом [12]:

$$I_{\text{к}}^{(3)} = \frac{U_{\text{к}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma \text{к}}} \quad (24)$$

«где $U_{\text{к}}$ – напряжение в точке короткого замыкания, кВ;

$Z_{\Sigma \text{к}}$ – общее (полное) сопротивление до точки короткого замыкания, Ом» [12].

Ток двухфазного короткого замыкания в точке вычисляется следующим образом [12]:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k^{(3)} \quad (25)$$

«где $I_k^{(3)}$ – ток трехфазного КЗ в точке, кА» [12].

Для определения полного сопротивления до точки короткого замыкания, используется формула: [12]:

$$Z_{\Sigma k} = \sqrt{R_{\Sigma k}^2 + X_{\Sigma k}^2} \quad (26)$$

«где $R_{\Sigma k}$ – суммарное активное сопротивление до точки КЗ, Ом;

$X_{\Sigma k}$ – суммарное индуктивное сопротивление до точки КЗ, Ом» [12].

Суммарное активное сопротивление до точки КЗ вычисляется по выражению:

$$R_{\Sigma k1} = R_{кл1} + R_{вл2} + R_{кл3} + R_{вл4} + R_{кл5} + R_{вл6}, \text{ Ом.} \quad (27)$$

Суммарное индуктивное сопротивление до точки КЗ вычисляется по выражению:

$$X_{\Sigma k1} = X_c + X_{кл1} + X_{вл2} + X_{кл3} + X_{вл4} + X_{кл5} + X_{вл6} \text{ Ом.} \quad (28)$$

Вычислим суммы сопротивлений с использованием выражений (27) и (28):

$$R_{\Sigma k1} = 0,008 + 0,971 + 0,023 + 0,759 + 0,03 + 0,113 = 1,904 \text{ Ом,}$$

$$X_{\Sigma k1} = 0,004 + 0,76 + 0,011 + 0,594 + 0,014 + 0,088 = 2,111 \text{ Ом.}$$

Рассчитывается полное сопротивление в точке К1 согласно схеме

(рисунок 1) по формуле (26):

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{1,904^2 + 2,111^2} = 2,843 \text{ Ом.}$$

Расчетный ток трехфазного КЗ в точке К1, согласно схеме (рисунок 1), определяется по выражению (24):

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 2,843} = 2,132 \text{ кА.}$$

Расчетный ток двухфазного КЗ в точке К1 определяется по выражению (25):

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,132 = 1,847 \text{ кА.}$$

Ударный ток в точках короткого замыкания рассчитывается по формуле [23]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot I_k^{(3)} \cdot K_{уд} \quad (29)$$

«где $K_{уд}$ – ударный коэффициент» [23].

Ударный коэффициент определяется следующим образом [23]:

$$K_{уд} = 1 + e^{-\frac{t}{T_a}} \quad (30)$$

«где T_a – постоянная времени, с, вычисляемая по формуле» [23].

$$T_a = \frac{X_{\Sigma k}}{\omega_c R_{\Sigma k}} \quad (31)$$

«где ω_c – угловая частота сети, Гц» [23].

Угловая частота напряжения электросети рассчитывается следующим образом:

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с}$$

Для определения постоянной времени в точке К1 используется формула (31):

$$T_{a.k1} = \frac{2,111}{314 \cdot 1,904} = 0,004 \text{ с}$$

Чтобы рассчитать ударный коэффициент в точке К1, используется выражение (30):

$$K_{уд.k1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,004}} = 1,08$$

Для определения ударного тока в точке К1 используется выражение (29):

$$i_{уд.k1} = \sqrt{2} \cdot 2,132 \cdot 1,08 = 3,257 \text{ кА}$$

Далее проводятся расчеты для определения тока короткого замыкания в точке К2, где напряжение составляет $U_k = 0,4 \text{ кВ}$.

Активное и индуктивное сопротивления силового трансформатора следует рассчитывать по следующим формулам:

$$R_{тр} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_k^2}{S_{ном.тр}^2}, \quad (32)$$

$$X_{\text{тр}} = \sqrt{u_{\text{к}}^2 - \left(\frac{100 \cdot \Delta P_{\text{кз}}}{S_{\text{ном.тр}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{к}}^2}{S_{\text{ном.тр}}}. \quad (33)$$

«где $\Delta P_{\text{кз}}$ – потери активной мощности при коротком замыкании, кВт;

$U_{\text{к}}$ – напряжение в точке короткого замыкания, кВ;

$S_{\text{ном.тр}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА;

$u_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %» [23].

По формулам (32) и (33) определяются активное и индуктивное сопротивления выбранного силового трансформатора проектируемой ТП-10/0,4 кВ:

$$R_{\text{тр}} = \frac{4,175 \cdot 0,4^2}{400^2} \cdot 10^6 = 4,175 \text{ мОм},$$

$$X_{\text{тр}} = \sqrt{4,5^2 - \left(\frac{100 \cdot 4,175}{400} \right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{400} \cdot 10^4 = 18,478 \text{ мОм}.$$

Рассчитанные активное и индуктивное сопротивления приводятся к стороне 0,4 кВ согласно следующим формулам, соответственно:

$$R_{\Sigma \text{к}0,4} = R_{\Sigma \text{к}10,5} \left(\frac{U_{0,4}}{U_{10,5}} \right)^2, \quad (34)$$

$$X_{\Sigma \text{к}0,4} = X_{\Sigma \text{к}10,5} \left(\frac{U_{0,4}}{U_{10,5}} \right)^2. \quad (35)$$

Согласно формулам (34) и (35) рассчитываются активное и индуктивное сопротивления на стороне 0,4 кВ:

$$R_{\Sigma \text{к}0,4} = 1,904 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 \cdot 10^3 = 2,764 \text{ мОм},$$

$$X_{\Sigma \text{к}0,4} = 2,111 \cdot \left(\frac{0,4}{10,5} \right)^2 \cdot 10^3 = 3,064 \text{ мОм}.$$

Активное сопротивление до точки К2 необходимо вычислять по выражению:

$$R_{\Sigma K2} = R_{\Sigma K0,4} + R_{тр} \quad (36)$$

Индуктивное сопротивление до точки К2 необходимо вычислять по следующему выражению:

$$X_{\Sigma K2} = X_{\Sigma K0,4} + X_{тр} \quad (37)$$

Активное и индуктивное сопротивления до точки К2 определяются по формулам (36) и (37):

$$\begin{aligned} R_{\Sigma K2} &= 2,764 + 4,175 = 6,939 \text{ Ом}, \\ X_{\Sigma K2} &= 3,064 + 18,478 = 21,542 \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Полное сопротивление до точки К2 рассчитывается по выражению (26):

$$Z_{\Sigma K2} = \sqrt{6,939^2 + 21,542^2} = 22,632 \text{ Ом}$$

Расчетный ток трехфазного КЗ в точке К2, согласно схеме (рисунок 1), определяем по выражению (24):

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 22,632} = 10,205 \text{ кА}$$

Расчетный ток двухфазного КЗ в точке К2 определяем по выражению (25):

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 10,205 = 8,837 \text{ кА}$$

По справочной литературе [...] принимается ударный коэффициент в точке К2 равный $K_{уд.к2} = 1$.

Ударный ток в точке К2 рассчитывается по выражению (29):

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 10,205 \cdot 1 = 14,431 \text{ кА}$$

Вывод по разделу.

В данном разделе был рассмотрен «расчет токов короткого замыкания», что позволило сделать ряд выводов:

- расчет токов короткого замыкания позволяет оценить устойчивость электрооборудования к динамическим и тепловым нагрузкам, возникающим при коротком замыкании;
- настроить и проверить работу релейной защиты и автоматики (РЗА), обеспечивая своевременное отключение поврежденного участка сети и предотвращая аварии.

Была проведена детальная процедура расчета, включающая создание расчетной схемы и схемы замещения, определение сопротивления системы, активного и индуктивного сопротивления линии электропередачи.

Данные расчёты являются важным этапом при выборе и проверке электрооборудования, что обеспечивает надежную защиту электрических сетей от аварийных ситуаций и безопасную эксплуатацию электроустановок [9, 12, 16, 25].

5 Выбор и расчет электрических аппаратов

5.1 Выбор и расчет высоковольтных электрических аппаратов

В рамках проектирования комплектной трансформаторной подстанции (КТП) напряжением 10/0,4 кВ и мощностью 400 кВА проводится выбор электрических аппаратов.

Однолинейная электрическая схема проектируемой КТП-400-10/0,4 кВ изображена на рисунке 2.

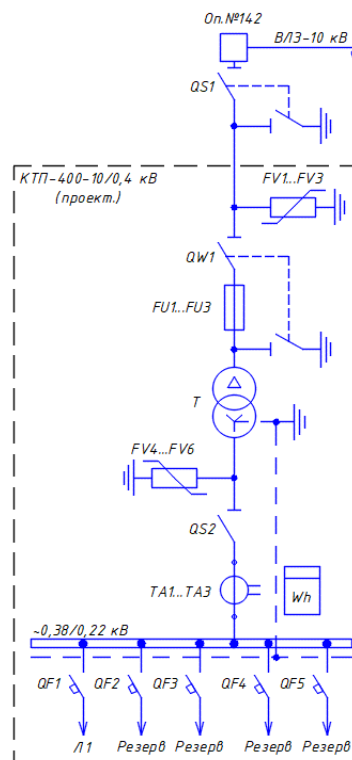


Рисунок 2 – Однолинейная электрическая схема КТП-400-10/0,4 кВ

При выборе и проверке высоковольтных электрических аппаратов (ЭА) учитывают следующие критерии: [9]

– по напряжению электрической сети:

$$U_{\text{ном.ЭА}} \geq U_{\text{ном.с}} \quad (38)$$

где $U_{\text{ном.ЭА}}$ – это номинальное напряжение ЭА, кВ;

$U_{\text{ном.с}}$ – это номинальное напряжение электрической сети, кВ.

– по номинальному току:

$$I_{\text{ном.ЭА}} \geq I_{\text{ном.тр.ВН}} \quad (39)$$

где $I_{\text{ном.ЭА}}$ – это номинальный ток ЭА, А;

$I_{\text{ном.тр.ВН}}$ – это номинальный ток трансформатора на стороне высокого напряжения (ВН), А.

– по отключающей способности:

$$I_{\text{ном.откл.ЭА}} \geq I_{\text{к1}}^{(3)} \quad (40)$$

где $I_{\text{ном.откл.ЭА}}$ – это номинальный ток отключения ЭА, А;

$I_{\text{к1}}^{(3)}$ – это расчетный ток трехфазного короткого замыкания в точке К1, кА.

– по электродинамической стойкости:

$$i_{\text{дин.ЭА}} \geq i_{\text{уд.к1}} \quad (41)$$

где $i_{\text{дин.ЭА}}$ – это ток электродинамической стойкости ЭА, кА;

$i_{\text{уд.к1}}$ – это расчетный ударный ток короткого замыкания в точке К1, кА.

5 – по термической стойкости:

$$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq I_{\text{т}}^2 t \quad (42)$$

где $I_{\text{т}}$ и $t_{\text{т}}$ – это параметры тока короткого замыкания и время его

продолжительности, кА;

Номинальный ток трансформатора на стороне высокого напряжения (ВН) вычисляется с использованием следующей формулы [9]:

$$I_{\text{ном.тр.ВН}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.ВН}}} \quad (43)$$

«где $S_{\text{ном.тр-ра}}$ – номинальная мощность трансформатора, А;

$U_{\text{ном.ВН}}$ – это номинальное напряжение на стороне ВН трансформатора, кВ»[9].

Используя формулу (43) можно вычислить номинальный ток трансформатора на стороне ВН:

$$I_{\text{ном.тр.ВН}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 23,09 \text{ А}$$

Для защиты силового трансформатора в КТП-400-10/0,4 кВ устанавливаются высоковольтные выключатель нагрузки и предохранители.

Принимается к установке выключатель нагрузки марки ВНА-10/630-20УЗ. Результаты расчета выбора и проверки высоковольтного выключателя нагрузки представлены в таблице 4.

Выбор высоковольтных предохранителей выполняется по условиям (38), (39) и (40) [9].

Токи срабатывания плавких вставок высоковольтных предохранителей следует подбирать так, чтобы избежать их случайного срабатывания при кратковременных токовых импульсах. Обычно рекомендуется устанавливать токи срабатывания в диапазоне от 1,5 до 2 номинальных токов защищаемого оборудования [23].

Устанавливаются предохранители типа ПКТ-102-10-50-31,5УЗ.

Результаты расчета выбора и проверки высоковольтных предохранителей представлены в таблице 5.

Таблица 4 – Результаты выбора и проверки выключателя нагрузки марки ВНА-10/630-20УЗ

Условия выбора и проверки аппарата	Расчетные данные выбора и проверки	Характеристики аппарата
$U_{\text{ном.вн}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.вн}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.вн}} \geq I_{\text{ном.тр.вн}}$	$I_{\text{ном.тр.вн}} = 23,09 \text{ А}$	$I_{\text{ном.вн}} = 630 \text{ А}$
$I_{\text{ном.откл.вн}} \geq I_{\text{кл}}^{(3)}$	$I_{\text{кл}}^{(3)} = 2,132 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.откл.вн}} = 0,8 \text{ кА}$
$i_{\text{дин.вн}} \geq i_{\text{уд.кл}}$	$i_{\text{уд.кл}} = 3,257 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.вн}} = 51 \text{ кА}$
$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq I_{\text{т}}^2 t$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 2,95 \text{ кА}^2 \text{с}$	$I_{\text{т}}^2 t = 260 \text{ кА}^2 \text{с}$

Таблица 5 – Результаты выбора и проверки предохранителя ПКТ-102-10-50-31,5УЗ

Условия выбора и проверки аппарата	Расчетные данные выбора и проверки	Характеристики аппарата
$U_{\text{ном.пр}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.пр}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.пл.вст}} \geq 2 \cdot I_{\text{ном.тр.вн}}$	$2 \cdot I_{\text{ном.тр.вн}} = 46,19 \text{ А}$	$I_{\text{ном.пл.вст}} = 50 \text{ А}$
$I_{\text{ном.откл.пр}} \geq I_{\text{кл}}^{(3)}$	$I_{\text{кл}}^{(3)} = 2,132 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.откл.пр}} = 31,5 \text{ кА}$

Следовательно, принятые высоковольтные выключатель нагрузки и предохранители соответствуют условия выбора и проверки.

Далее осуществляется выбор линейных разъединителей, устанавливаемых на проектируемых опорах № 2, 80, 81, 132, 133 и 142.

Выбор линейного разъединителя выполняется по условиям (38), (39) и (41) [9].

Принимаются к установке линейные разъединители марки РЛКВ.16-10.IV/400УХЛ1. Результаты расчета выбора и проверки представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты выбора и проверки линейного разъединителя РЛКВ.16-10.IV/400УХЛ1

Условия выбора и проверки аппарата	Расчетные данные выбора и проверки	Характеристики аппарата
$U_{\text{ном.р}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.р}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{ном.тр.ВН}}$	$I_{\text{ном.тр.ВН}} = 23,09 \text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 400 \text{ А}$
$i_{\text{дин.р}} \geq i_{\text{уд.к1}}$	$i_{\text{уд.к1}} = 3,257 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.р}} = 20 \text{ кА}$

Условия выбора и проверки выполняются.

Выбор ограничителей перенапряжения 10 кВ (ОПН-10 кВ) выполняется по условию (38) [9]. Выбирается ОПН-10 кВ марки ОПН-10/10-10/400(І)УХЛ1. В таблице 7 представлен выбор ОПН-10 кВ.

Таблица 7 – Результаты выбора и проверки ОПН-10/10-10/400(І)УХЛ1

Условия выбора и проверки аппарата	Расчетные данные выбора и проверки	Характеристики аппарата
$U_{\text{ном.опн}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.опн}} = 10 \text{ кВ}$

Условие выполняется.

Выбранные высоковольтные ЭА удовлетворяют условиям выбора и проверки.

5.2 Выбор и расчет низковольтных электрических аппаратов

На стороне низкого напряжения (НН) проектируемой КТП-400-10/0,4 кВ предусмотрена установка следующих низковольтных ЭА:

- разъединитель марки РЕ19-41 – на вводе;
- автоматические выключатели марки ВА57-31(35, 39) – на отходящих линиях;
- ОПН напряжением 0,4 кВ (ОПН-0,4 кВ).

Номинальный ток трансформатора на стороне низкого напряжения

(НН) вычисляется посредством следующей формулы [16]:

$$I_{\text{ном.тр.НН}} = \frac{S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.НН}}} \quad (44)$$

«где $S_{\text{ном.тр}}$ – это номинальная мощность трансформатора, А;

$U_{\text{ном.НН}}$ – это номинальное напряжение на стороне НН трансформатора, кВ» [16].

С использованием формулы (44) можно определить номинальный ток трансформатора на низкой стороне:

$$I_{\text{ном.тр.НН}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 607,75 \text{ А}$$

Выбор и проверка разъединителя марки РЕ19-41 осуществляется по условиям (38), (39) и (41) [16]. Результаты представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора и проверки разъединителя РЕ19-41

Условия выбора и проверки аппарата	Расчетные данные выбора и проверки	Характеристики аппарата
$U_{\text{ном.р}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 0,4 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.р}} = 0,4 \text{ кВ}$
$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{ном.тр.НН}}$	$I_{\text{ном.тр.НН}} = 607,75 \text{ А}$	$I_{\text{ном.р}} = 1000 \text{ А}$
$i_{\text{дин.р}} \geq i_{\text{уд.к1}}$	$i_{\text{уд.к1}} = 3,257 \text{ кА}$	$i_{\text{дин.р}} = 32 \text{ кА}$

Условия выбора и проверки выполняются.

Выбор и проверка автоматических выключателей (АВ) выполняется согласно следующим условиям [16]:

– по напряжению электросети:

$$U_{\text{ном.АВ}} \geq U_{\text{ном.с}} \quad (45)$$

где $U_{\text{ном.АВ}}$ – это номинальное напряжение АВ, кВ;

$U_{\text{ном.с}}$ – это номинальное напряжение электросети, кВ.

– по номинальному току АВ:

$$I_{\text{ном.АВ}} \geq I_{\text{р.л}} \quad (46)$$

где $I_{\text{ном.ВН}}$ – это номинальный ток АВ, А;

$I_{\text{р.л}}$ – это расчетный ток отходящей линии, А.

– по току уставки теплового расцепителя АВ:

$$I_{\text{у.т.р}} \geq K \cdot I_{\text{р.л}} \quad (47)$$

где $I_{\text{у.т.р}}$ – это номинальный ток уставки теплового расцепителя АВ, А;

K – это коэффициент, согласно справочным данным [10] принимается $K = 1,1$, кВ.

– по току уставки электромагнитного расцепителя автоматического выключателя (АВ):

$$I_{\text{у.э.р}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{р.л}} \quad (48)$$

где $I_{\text{у.э.р}}$ – это номинальный ток уставки электромагнитного расцепителя АВ, А;

– по отключающей способности автоматического выключателя (АВ):

$$I_{\text{ном.откл.АВ}} \geq I_{\text{к2}}^{(3)} \quad (49)$$

где $I_{\text{к2}}^{(3)}$ – это ток трехфазного короткого замыкания в точке К2, кА.

Для защиты отходящей линии (Л1), питающей школу, выбирается АВ марки ВА57-39. Результаты расчета выбора и проверки указаны в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора и проверки АВ марки ВА57-39

Условия выбора и проверки аппарата	Расчетные данные выбора и проверки	Характеристики аппарата
$U_{\text{ном.АВ}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 380 \text{ В}$	$U_{\text{ном.АВ}} = 660 \text{ В}$
$I_{\text{ном.АВ}} \geq I_{\text{р.л}}$	$I_{\text{р.л}} = 374,93 \text{ А}$	$I_{\text{ном.АВ}} = 250 \text{ А}$
$I_{\text{у.т.р}} \geq 1,1I_{\text{р.л}}$	$1,1I_{\text{р.л}} = 412,42 \text{ А}$	$I_{\text{у.т.р}} = 630 \text{ А}$
$I_{\text{у.э.р}} \geq 1,5I_{\text{р.л}}$	$1,5I_{\text{р.л}} = 562,4 \text{ А}$	$I_{\text{у.э.р}} = 6300 \text{ А}$
$I_{\text{ном.откл.АВ}} \geq I_{\text{к2}}^{(3)}$	$I_{\text{к2}}^{(3)} = 10,205 \text{ кА}$	$I_{\text{ном.откл.АВ}} = 25 \text{ кА}$

Условия выбора и проверки выполняются.

Выбор ограничителя перенапряжения (ОПН) 0,4 кВ осуществляется согласно условию (38) [16]. В результате выбран ОПН 0,4 кВ марки ОПНп-0,38/0,4/5/400УХЛ1. Выбор ОПН представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора и проверки ОПНп-0,38/0,4/5/400УХЛ1

Условия выбора и проверки аппарата	Расчетные данные выбора и проверки	Характеристики аппарата
$U_{\text{ном.опн}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 0,38 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.опн}} = 0,4 \text{ кВ}$

Условие выполняется.

Вывод по разделу.

Был рассмотрен выбор и расчет электрических аппаратов и сделан вывод, что выбранные высоковольтные и низковольтные ЭА удовлетворяют условиям выбора и проверки.

6 Внешнее электроснабжение

6.1 Выбор трассы ЛЭП 10 кВ и 0,4 кВ

Трасса проходит по землям станицы Варениковской (Варениковского сельского поселения), Крымского района, Краснодарского края.

Климатические условия для линий электропередачи (ЛЭП) напряжением 10 кВ и 0,4 кВ установлены в соответствии с действующими Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [13]:

- «район по гололеду – VI;
- нормативная толщина стенки гололеда – 35 мм;
- район по ветровым нагрузкам – VI (45 м/с, 1250 Па);
- количество грозových часов в году – 80 ч» [24];
- район по степени загрязнения атмосферы – III.

Трасса проектируемой ВЛЗ-10кВ начинается от РУ-10кВ ПС 110/35/10/6 кВ «Варениковская», переходит на опору № 2 и продолжается в южном направлении до проектируемой опоры № 18. Далее поворачивает на 58° и переходит на проектируемую опору № 19 и продолжается в восточном направлении до проектируемой опоры № 41. Затем идет в северном направлении по ул. Чкалова до проектируемой опоры № 68 и продолжается в восточном направлении до проектируемой опоры № 80. От проектируемой опоры № 80 до проектируемой опоры № 81 предусмотрена кабельная вставка для перехода методом горизонтально-направленным бурением (ГНБ) через автомобильную дорогу «Андреева Гора – станица Варениковская – г.Анапа».

Ситуационный план проектируемой трассы ЛЭП 10 кВ и 0,4 кВ изображен на рисунке 3.

От опоры №81 ВЛЗ-10 кВ двигается в северном направлении до проектируемой опоры № 87, далее двигается в восточном направлении до проектируемой опоры № 132. От проектируемой опоры № 132 до проектируемой опоры № 133 предусмотрена кабельная вставка для перехода

методом ГНБ железную дорогу ОАО «РЖД» на участке «Юровский – Варениковская».



Рисунок 3 – Ситуационный план трассы ЛЭП 10 кВ и 0,4 кВ

От опоры №133 ВЛЗ-10 кВ идет в северо-восточном направлении и оканчивается у проектируемой КТП-10/0,4 кВ.

На опоре № 142 запланирована установка линейного разъединителя в соответствии с типовым проектом 27.0002 [21].

На опорах № 80, 81, 132 и 133 будут установлены кабельные муфты и оборудование защитной изоляции (ОПИ) для напряжения 10 кВ.

Проектом предусмотрена установка опор со стойками СВ110-5 и СВ164-20 для подвески проводов линии электропередачи 10 кВ согласно типовым проектам 27.0002 [21].

Используемые провода защищены, с алюминиевыми токопроводящими жилами, марки СИП-3 сечением 1×95 мм².

Закрепление железобетонной опоры производится в сверленный котлован, диаметр котлована 350 мм и 630 мм. Засыпка производится вынутым грунтом после обязательной очистки от мусора с послойной

трамбовкой. Толщина уплотняемого слоя не более 20 см. Трамбовка производится одновременно тремя трамбовками длиной 4 м и массой не менее 5 кг. Выбор закрепления опор в грунте произведен с учетом геологических характеристик грунтов по трассе ВЛ в соответствии с рекомендациями типовых проектов опор и указан в ведомости закрепления опор.

Для крепления проводов марки СИП-3 используется линейная арматура производства ООО «НИЛЕД-ТД».

Крепление защищенных проводов на промежуточных опорах выполняется с использованием штыревых изоляторов марки ШФ-20Г, снабженных колпачками К-9.

На опорах анкерного типа провода крепятся с помощью натяжной изолирующей подвески, которая включает в себя: подвесной изолятор ПС-70Е, серьгу СРС-7-16, звено промежуточное трехлапчатое ПРТ-7, ушко однолапчатое У1-7-16.

Провода крепятся к штыревым изоляторам с помощью спиральной вязки.

В населенных пунктах (согласно ПУЭ [13]) на промежуточной опоре провод крепят к одному штыревому изолятору двумя спиральными вязками ВС 70/95.1.

Кабельные вставки 10 кВ по трассе в проекте предусмотрены на участках:

- выход КЛ-10 кВ из КРУН-10 кВ ячейка №5, ПС-110/35/6/10 кВ Варениковская до опоры № 2;
- пересечение автомобильной дороги «Андреева Гора – станция Варениковская» в пролетах опор № 80 – № 81;
- пересечение КЛ-10 кВ с железнодорожными путями ОАО «РЖД» на участке «Юровский – Варениковская», в пролёте опор № 132 -№ 133.

Прокладка кабеля предусматривается в траншее в земле с расположением фаз кабеля в «треугольник».

Кабельные вставки защищены от перенапряжения с применением ОПН с установкой на переходных опорах.

Прокладка кабеля закрытым способом осуществляется методом ГНБ в кабельной трубной блочной канализации, каждая жила кабеля предусмотрена в отдельной термостойкой трубе диаметром 160 мм. Дополнительно предусмотрена резервная труба для обеспечения замены или ремонта КЛ-10 кВ.

Глубина залегания труб ГНБ на всем протяжении переходов составляет не менее – 4,5 м от дна кювета автомобильной дороги и ж/д до верхней образующей защитного футляра.

Проектируемая КЛ-10 кВ выполнена одножильным силовым кабелем АПвПу2г-10 3×(1×185/35), экранированным, с алюминиевыми жилами, бронированным, с продольной герметизацией с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Кабельная линии прокладываются в соответствии с указаниями типовой серии А5-92 «Прокладка кабелей напряжением до 35 кВ в траншеях» [22].

Кабельная линия прокладывается в земле в траншее на глубине не менее 0,7 м от поверхности земли, в слое песка.

По всей длине КЛ-10 кВ укладывается сигнальная лента, а в местах пересечения с подземными коммуникациями и с проезжей частью защита выполняется полиэтиленовой трубой или плитами ПЗК.

Концевые муфты внутренней и наружной установки приняты на основе термоусаживаемых изделий марки 1ПКВТ-10-150...240, 1ПКНТ-10-150...240.

Проектируемая ВЛИ-0,4 кВ начинается от РУ-0,4 кВ проектируемой КТП-10/0,4 кВ переходит на опору № 143 и движется северном направлении до проектируемой опоры № 144 границы земельного участка школы.

Проектируемая ВЛИ-0,4 кВ предусматривается на железобетонных стойках с изолированными проводами. Опоры приняты со стойками СВ110-5, для подвески изолированных проводов ВЛИ-0,4 кВ по типовому проекту

25.0017 [20].

Провод принят самонесущий изолированный с алюминиевыми токопроводящими жилами, с изоляцией из сшитого светостабилизированного полиэтилена с изолированной нулевой несущей жилой марки СИП-2 сечением $3 \times 95 + 1 \times 95$.

Крепление проводов марки СИП-2 предусмотрено с помощью линейной арматуры ООО «НИЛЕД-ТД». Крепление несущей жилы СИП-2 на промежуточных опорах выполняется с помощью комплекта промежуточной подвески. Крепление несущей жилы СИП на опорах анкерного типа выполняется с помощью анкерных кронштейнов и натяжных зажимов.

Расчетные пролеты ВЛЗ-10 кВ и ВЛИ-0,4 кВ приняты, исходя из климатических условий.

Был рассмотрен выбор трассы ЛЭП 10 кВ и 0,4 кВ, что позволило сделать вывод:

- проект предусматривает прокладку кабельной вставки 10 кВ методом ГНБ с использованием бронированных кабелей в защитной блочной канализации;
- ВЛЗ-10 кВ и ВЛИ-0,4 кВ будут проложены на железобетонных опорах с использованием самонесущего изолированного провода СИП-3 и СИП-2.

Обе линии спроектированы с учетом климатических условий и требований безопасности.

6.2 Выбор сечения и марки проводников ЛЭП 10 кВ

Выбор проводников для линий электропередачи (ЛЭП) напряжением 10 кВ осуществляется в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [13], учитывая экономическую плотность тока, допустимый продолжительный ток, термическую стойкость и потери напряжения. В конкретном случае проводится подбор провода для ЛЭП 10

кВ.

Экономическая плотность тока рассчитывается по следующей формуле:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_{\text{р}}}{j_{\text{эк}}} \quad (50)$$

где $I_{\text{р}}$ – расчетный ток в линии, А;

$j_{\text{эк}}$ – экономическая плотность тока, А/мм², которая принимается равной $j_{\text{эк}} = 1,9 \text{ А/мм}^2$, согласно ПУЭ [13].

Расчетный ток в линии определяется, исходя из расчетного тока на стороне высокого напряжения (ВН) трансформатора проектируемой комплектной трансформаторной подстанции (КТП-400-10/0,4 кВ).

$$I_{\text{ном.тр.ВН}} = 23,09 \text{ А}$$

Сечение провода вычисляется по формуле (50):

$$F_{\text{эк}} = \frac{23,09}{1,9} = 12,16 \text{ мм}^2$$

Принимается провод сечением 95 мм² марки СИП-3(1×95). Принятое сечение отвечает требованием ПУЭ [13] по минимальному сечению провода для данного района по гололеду.

Выбор провода осуществляется на основании длительного допустимого тока по следующему условию:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}} \quad (51)$$

где $I_{\text{доп}}$ – длительный допустимый ток проводника, А.

Для данного сечения длительный допустимый ток составляет

$I_{\text{доп}} = 370 \text{ А}$ по справочнику [19].

Условие (51) выполняется, что подтверждает правильность выбора провода:

$$370 \text{ А} > 23,09 \text{ А}$$

Выбранный провод также проверяется на термическую стойкость с помощью следующей формулы:

$$S_{\text{терм}} = I_{\text{кз}}^{(3)} \frac{\sqrt{t_{\text{откл}}}}{C_{\text{Т}}} \quad (52)$$

где $I_{\text{кз}}^{(3)}$ – ток трехфазного короткого замыкания, А;

$t_{\text{откл}}$ – время отключения линии при возникновении короткого замыкания, с;

$C_{\text{Т}}$ – коэффициент, зависящий от предельно допустимой температуры при коротком замыкании и материала проводника, $\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$.

Согласно данным справочной литературы [19], принимаются значения:
 $C_{\text{Т}} = 90 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2}/\text{мм}^2$, $t_{\text{откл}} = 0,56 \text{ с}$

С использованием формулы (52) проверяется термическая стойкость выбранного провода:

$$S_{\text{терм}} = 9461 \cdot \frac{\sqrt{0,56}}{90} = 78,67 \text{ мм}^2$$

Следовательно, выбранный провод марки СИП-3(1×95) термически стойкий.

Таким образом, выбранный провод марки СИП-3(1×95) имеет достаточную термическую стойкость.

Далее провод проверяется на потери напряжения по следующему выражению [2]:

$$\Delta U_{\text{л}} = \sqrt{3} I_{\text{р.л}} l_{\text{л}} (r_{\text{уд}} \cos \varphi + x_{\text{уд}} \sin \varphi) \cdot \frac{100}{U_{\text{ном}}} \quad (53)$$

«где $I_{\text{р.л}}$ – расчетный ток в линии, А;

$l_{\text{л}}$ – длина линии, км;

$r_{\text{уд}}$ – удельное активное сопротивление линии, которое принимается по справочнику [18], Ом/км;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

$x_{\text{уд}}$ – удельное индуктивное сопротивление линии, также принимаемое по справочнику [18], Ом/км;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение линии, В» [2].

Рассчитываются потери напряжения в конце линии по формуле (53):

$$\Delta U_{\text{вЛЗ}} = \sqrt{3} \cdot 23,09 \cdot 5,078 \cdot (0,363 \cdot 0,95 + 0,284 \cdot 0,31) \cdot \frac{100}{10000} = 0,88\%,$$
$$0,88\% < 5\%.$$

В соответствии требованиям норм [7] допустимые потери в линии напряжением 10 кВ составляют не более 5% в нормальном режиме работы.

Следовательно, условие выполняется.

Таким образом, выбор сечения провода по критериям экономической плотности тока, длительно допустимого тока, термической устойчивости и допустимой потери напряжения в нормальных условиях эксплуатации удовлетворяет требованиям.

Аналогичным образом осуществляется подбор и проверка кабеля на напряжение 10 кВ.

Для линий электропередачи выбран кабель марки АПвПу2г-10 с сечением 185 мм², имеющий конфигурацию 3×(1×185/35). Согласно

справочным данным [10], этот кабель выдерживает длительный ток

$$I_{\text{доп}} = 371 \text{ А.}$$

Согласно проведенному анализу экономической плотности тока, выбранный кабель удовлетворяет заданным требованиям.

Дополнительно проводится проверка на нагрев в условиях максимальной нагрузки.

Для проверки соответствия кабеля длительному допустимому току используется следующее условие:

$$I'_{\text{доп}} = k_1 k_2 I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.л}} \quad (54)$$

«где k_1 – поправочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды, принимаемый по ПУЭ [13], $k_1 = 1$;

k_2 – поправочный коэффициент, учитывающий количество работающих кабелей и расстояние между ними, принимаемый по ПУЭ [13], $k_2 = 1$ » [16].

В соответствии с условием проводится проверка выбранного кабеля:

$$1 \cdot 1 \cdot 371 = 371 \text{ А} > 23,09 \text{ А}$$

Условие (54) выполняется.

На основании расчета по формуле (52) выбранный кабель термически устойчив.

Рассчитываются потери напряжения по формуле (53) на участках кабельных вставок 10 кВ по трассе ВЛЗ-10 кВ:

– Участок № 1 (от ПС Варениковская до опоры № 2):

$$\Delta U_{\text{кл1}} = \sqrt{3} \cdot 23,09 \cdot 0,036 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,098 \cdot 0,31) \cdot \frac{100}{10000} = 0,003\%$$

$$0,003\% < 5\%.$$

– Участок №2 (от опоры № 80 до опоры № 81):

$$\Delta U_{\text{кл}2} = \sqrt{3} \cdot 23,09 \cdot 0,109 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,098 \cdot 0,31) \cdot \frac{100}{10000} = 0,01\%$$

$$0,01\% < 5\%.$$

– Участок №3 (от опоры № 132 до опоры № 133):

$$\Delta U_{\text{кл}3} = \sqrt{3} \cdot 23,09 \cdot 0,144 \cdot (0,211 \cdot 0,95 + 0,098 \cdot 0,31) \cdot \frac{100}{10000} = 0,013\%$$

$$0,013\% < 5\%.$$

Требования по потере напряжения выполняются.

В данном подразделе был рассмотрен выбор сечения и марки проводников ЛЭП 10 кВ, и сделан вывод, что условия выбора сечения кабеля по критериям экономической плотности тока, допустимого длительного тока, термической стойкости и потерь напряжения в нормальном режиме выполнены.

6.3 Выбор сечения и марки проводников ЛЭП 0,4 кВ

Для подключения школы проектом предусматривается прокладка ВЛИ-0,4 кВ от РУ-0,4 кВ ТП до ШУ-0,4 и прокладка КЛ-0,4 кВ от ШУ-0,4 кВ до ВРУ-1 школы.

Прокладка ВЛИ-0,4 кВ осуществляется проводом 2×СИП-2(3×95+1×95) по проектируемым опорам в две цепи.

Прокладка КЛ-0,4 кВ осуществляется кабелем марки АВББШв-1(4×185) в земле в траншее по территории школы.

Выбор сечения проводников ЛЭП 0,4 кВ выполняется по длительному допустимому току на основании условия (51):

– по справочной литературе [10] длительный допустимый ток провода

марки СИП-2(3×95+1×95) равен $I_{\text{доп}} = 300 \text{ А}$.

Нагрузка линии распределяется по двум цепям, тогда по условию (51):

$$2 \cdot 300 = 600 \text{ А} > 374,93 \text{ А}$$

Условие (51) выполняется.

По справочной литературе [10] длительный допустимый ток кабеля марки АВБбШв-1(4×185) равен $I_{\text{доп}} = 406 \text{ А}$.

Нагрузка линии распределяется по двум КЛ, тогда по условию (51):

$$2 \cdot 355 = 710 \text{ А} > 374,93 \text{ А}$$

Условие (51) выполняется.

Рассчитываются потери напряжения в конце линии ВЛИ-0,4 кВ и КЛ-0,4 кВ по формуле (53):

$$\Delta U_{\text{вли}} = \sqrt{3} \cdot \left(\frac{374,93}{2} \right) \cdot 0,04 \cdot (0,411 \cdot 0,95 + 0,0762 \cdot 0,31) \cdot \frac{100}{380} = 1,42\%$$

$$1,42\% < 5\%,$$

$$\Delta U_{\text{кл}} = \sqrt{3} \cdot \left(\frac{374,93}{2} \right) \cdot 0,095 \cdot (0,169 \cdot 0,95 + 0,078 \cdot 0,31) \cdot \frac{100}{380} = 1,5\%$$

$$1\% < 5\%,$$

$$\Delta U_{\text{лп}} = \Delta U_{\text{вли}} + \Delta U_{\text{кл}} = 1,42 + 1,5 = 2,92\%$$

Требования по потере напряжения выполняются.

В данном подразделе был рассмотрен выбор сечения и марки проводников ЛЭП 0,4 кВ и сделан вывод, что выбранные сечения и марки проводников обеспечивают безопасную и эффективную работу линии электропередачи, гарантируя бесперебойное электроснабжение школы.

Вывод по разделу.

Проект ЛЭП 10 кВ и 0,4 кВ, разработанный для обеспечения электроснабжения общеобразовательной школы в станице Варениковская, удовлетворяет всем необходимым требованиям безопасности и техническим условиям.

Проект предусматривает:

- прокладку кабельной вставки (КЛ-10 кВ) методом ГНБ с использованием бронированных кабелей в защитной блочной канализации;
- прокладку воздушной линии 10 кВ (ВЛЗ-10 кВ) на железобетонных опорах с использованием самонесущего изолированного провода СИП-3;
- прокладку воздушной линии 0,4 кВ (ВЛИ-0,4 кВ) на железобетонных опорах с использованием самонесущего изолированного провода СИП-2;

При выборе сечения и марки проводников для обеих линий были учтены: климатические условия и требования безопасности в исключении условий поражения электрическим током.

7 Выбор системы коммерческого учета электрической энергии

Для системы коммерческого учета электрической энергии предусматривается установка электронного счетчика типа Меркурий-230 ART-03 прямого и трансформаторного включения.

Для подключения трехфазного счетчика используются трансформаторы тока (ТТ) типа Т-0,66 с классом точности 0,5S.

При выборе и проверке трансформаторов тока учитываются следующие факторы:

– номинальное напряжение:

$$U_{\text{ном.ТТ}} \geq U_{\text{ном.с}} \quad (55)$$

«где $U_{\text{ном.ТТ}}$ – номинальное напряжение ТТ, кВ;

$U_{\text{ном.с}}$ – номинальное напряжение сети, кВ» [25].

– номинальный ток первичной обмотки:

$$I_{1\text{ном.ТТ}} \geq I_p \quad (56)$$

«где $I_{1\text{ном.ТТ}}$ – номинальное ток первичной обмотки ТТ, А;

I_p – расчетный ток, А» [25].

– электродинамическая стойкость:

$$i_{\text{дин.ТТ}} \geq \frac{i_{\text{уд}}}{\sqrt{2}} \quad (57)$$

«где $i_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости ТТ, А;

$i_{\text{уд}}$ – ударный ток короткого замыкания, кА» [25].

– термическая стойкость – проверяется по условию (42).

В результате установлены ТТ типа Т-0,66 с номинальным током

500/5 А. Результаты расчета выбора и проверки Т-0,66 представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Результаты выбора и проверки ТТ типа Т-0,66

Условия выбора и проверки аппарата	Расчетные данные выбора и проверки	Характеристики аппарата
$U_{\text{ном.тт}} \geq U_{\text{ном.с}}$	$U_{\text{ном.с}} = 0,38 \text{ кВ}$	$U_{\text{ном.тт}} = 0,66 \text{ кВ}$
$I_{1\text{ном.тт}} \geq I_{\text{р}}$	$I_{\text{р.ш}} = 374,93 \text{ А}$	$I_{1\text{ном.тт}} = 500 \text{ А}$
$i_{\text{дин.тт}} \geq \frac{i_{\text{уд}}}{\sqrt{2}}$	$i_{\text{уд}} = \frac{14,431}{\sqrt{2}} = 10,21 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 48 \text{ кА}$
$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq I_{\text{т}}^2 t$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 86,3 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_{\text{т}}^2 t = 3600 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Вывод по разделу.

ТТ выбраны правильно, условия выбора и проверки удовлетворяют требованиям.

Принятый счетчик имеет возможность включения в автоматизированную систему коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) с помощью цифровых интерфейсов RS-485.

Трансформаторы тока Т-0,66 и счетчик Меркурий-230 ART-03 устанавливаются в ШУ-0,4 кВ, который запроектирован на опоре ВЛ-0,4 кВ на границе участка школы.

8 Расчет заземления трансформаторной подстанции

Для защиты от поражения электрическим током в КТП-10/0,4 кВ предусмотрено защитное заземление [8, 13]. В соответствии с требованиями ПУЭ (ПУЭ 1.7.101) [13], сопротивление заземляющего устройства должно составлять не более 4 Ом в любое время года.

Принято эквивалентное сопротивление грунта $\rho_{\text{экв}} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Контур заземления КТП выполнен в виде замкнутой системы. Горизонтальный заземлитель выполняется полосовой сталью размером 40x4 мм. Вертикальные заземлители выполняются круглой сталью диаметром 18 мм, длиной 5 м. Заземлители расположены на глубине 0,5 м от поверхности земли.

Выполняется расчет сопротивления заземляющего устройства КТП.

Вычисляем сопротивление единичного вертикального заземлителя:

$$R_{\text{в1}} = \frac{\rho_{\text{экв}}}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{4 \cdot l}{d} \quad (58)$$

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

l – длина заземлителя, м;

d – диаметр заземлителя, м» [23].

По приведенной формуле (58) производим вычисления:

$$R_{\text{в1}} = \frac{100}{2\pi \cdot 5} \cdot \ln \frac{4 \cdot 5}{0,018} = 22,33 \text{ Ом}$$

Сопротивление горизонтального заземлителя вычисляется по следующей формуле:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{ЭКВ}}}{2\pi \cdot l \cdot k_{\text{и.Г}}} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} \quad (58)$$

«где $k_{\text{и.Г}}$ – коэффициент использования горизонтального заземлителя;

b – ширина заземлителя в метрах;

t – глубина залегания заземлителя в метрах» [23].

Производим вычисления по формуле (58):

$$R_{\Gamma} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 16,4 \cdot 0,64} \cdot \ln \frac{2 \cdot 16,4^2}{0,04 \cdot 0,7} = 15,47 \text{ Ом}$$

Сопротивление заземления (сопротивление растеканию электрического тока) определяется как величина "противодействия" растеканию электрического тока в земле, поступающего в неё через заземлитель и вычисляется по формуле:

$$R_{\text{В}} = \frac{R_{\text{В1}}}{n \cdot k_{\text{и.В}}} \quad (59)$$

«где n – количество вертикальных заземлителей;

$k_{\text{и.В}}$ – коэффициент использования вертикального заземлителя» [23].

Производим вычисления по формуле (59):

$$R_{\text{В}} = \frac{22,33}{8 \cdot 0,64} = 4,36 \text{ Ом}$$

Общее сопротивление заземляющего устройства вычисляется по следующей формуле:

$$R_{\text{зy}} = \frac{R_{\text{в}} \cdot R_{\text{г}}}{R_{\text{в}} + R_{\text{г}}} \quad (60)$$

«где $R_{\text{в}}$ – сопротивление вертикальных заземлителей, Ом;

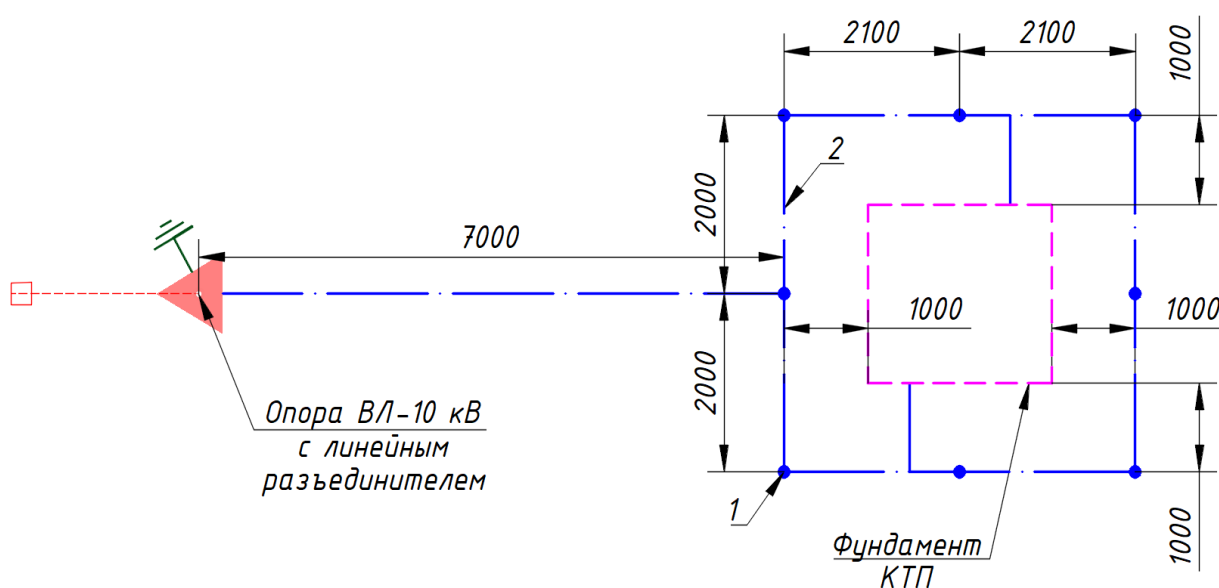
$R_{\text{г}}$ – сопротивление горизонтального заземлителя» [23].

Следовательно, общее сопротивление заземляющего устройства будет рассчитано по формуле (60):

$$R_{\text{зy}} = \frac{4,36 \cdot 15,47}{4,36 + 15,47} = 3,4 \text{ Ом}$$

Делаем вывод, что общее сопротивление заземляющего устройства удовлетворяет требованию ПУЭ [13].

Схема заземляющего устройства КТП-10/0,4 кВ показана на рисунке 4.



1 – вертикальный заземлитель; 2 – горизонтальный заземлитель

Рисунок 4 – Схема заземляющего устройства КТП-10/0,4 кВ

Вывод по разделу.

Проведённый расчёт сопротивления заземляющего устройства КТП-10/0,4 кВ показал, что его общее сопротивление составляет 3,4 Ом.

Это значение удовлетворяет требованиям ПУЭ [13], которые устанавливают максимально допустимое сопротивление заземляющего устройства в 4 Ом.

Расчёт показал, что:

– сопротивление единичного вертикального заземлителя:

$$R_{в1} = 22,33 \text{ Ом};$$

– сопротивление горизонтального заземлителя: $R_{г} = 15,47 \text{ Ом};$

– сопротивление вертикальных заземлителей: $R_{в} = 4,36 \text{ Ом}.$

Таким образом, устройство заземления КТП-10/0,4 кВ обеспечивает необходимый уровень безопасности при эксплуатации и соответствует требованиям нормативных документов.

Заключение

В данной бакалаврской работе разработан проект СЭС МБОУ СОШ № 55 станицы Варениковской муниципального образования Крымский район на 400 мест.

Для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

- представлена краткая характеристика проектируемого объекта;
- рассчитаны электрические нагрузки и выполнен анализ системы наружного освещения с соответствующими расчетами;
- определено количество и выбрана мощность силового трансформатора;
- установлены токи короткого замыкания;
- осуществлен расчет системы внешнего электроснабжения;
- выбрана система коммерческого учета потребления электрической энергии;
- выполнены расчеты заземления трансформаторной подстанции.

Запроектированная рациональная система электроснабжения школы отвечает требованиям обеспечения надежного и бесперебойного снабжения потребителей электрической энергией в требуемом объеме и с необходимыми параметрами качества, соответствующие современным требованиям норм и стандартов.

В проекте принята оптимальная схема электроснабжения с использованием современных надежных энергоэффективных и безопасных в эксплуатации электрооборудований, которая отвечает требованиям норм, стандартов и правил проектирования.

При проектировании СЭС использовались актуальные методы электротехнических и светотехнических расчетов, а также применены современные методики выбора и проверки электротехнического оборудования и кабельно-проводниковой продукции соответствующие

требованиям норм, стандартов и правил проектирования.

Расчеты заземляющего устройства КТП продемонстрировали, что использованные материалы гарантируют требуемое сопротивление, что в свою очередь обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что цели и задачи бакалаврской работы были полностью выполнены, и в результате была разработана рациональная СЭС школы.

В работе применены теоретические, аналитические, математические методы исследования. Проведен анализ нормативно-технической документации и учебных пособий по проектированию СЭС. Используются методы расчета электрических нагрузок, выбора электрооборудований и системы заземления.

Научная значимость выпускной квалификационной работы заключается в возможности совершенствования теоретических и практических навыков, необходимых для анализа выбранной темы.

Полученные навыки дают возможность грамотно рассчитывать и выбирать современное энергоэффективное электрооборудование, соответствуя нормативным документам и стандартам.

Список используемой литературы

1. Андрианов Д. П., Бадалян Н.П. Оптимизационные задачи электроснабжения: учебное пособие – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 156 с.
2. Бекиров Э.А, Электроснабжение промышленных предприятий, зданий, сооружений с использованием энергоагрегатов возобновляемой энергетики. Симферополь: Ариал, 2019. 372 с.
3. Боровиков В. А., Косарев В.К., Ходот Г.А. Электрические сети энергетических систем. Ленинград: Энергия, Ленингр. отделение. 1977. 391 с.
4. Бурдуков А. П. Методические указания по расчету электрических нагрузок. М.: Инфра-М, 2015. 536 с.
5. Васильева Т. Н. Надежность электрооборудования и систем электроснабжения. Москва: Гор. Линия – Телеком, 2015. 152 с.
6. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки.
7. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. N 400-ст: дата введения 2014-07-01.
8. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках: Учеб. пособие для вузов. М.: Энергоатомиздат, 2014. 448 с.
9. Кадомская К. П. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Новосибирск: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
10. Макаров Е. Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ, Том 1 М.: Папирус ПРО, 2016. 140 с.
11. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций.

Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2016.

12. Никитенко Г. В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование. СПб.: Лань, 2018. 316 с.

13. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е и 6-е изд. – М.: НЦ ЭНАС, 2017.

14. Родыгина С. В. Проектирование и эксплуатация систем электроснабжения. От теории к практике: учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. 100 с.

15. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций. Учеб. для техникумов. - 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2017. 648 с.

16. Сибикин Ю. Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов: учебное пособие. Москва: ФОРУМ – ИНФРА-М, 2021. 383 с.

17. СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа». Актуализированная редакция СП 31-110-2003. – М., 2016.

18. СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. N 777/пр). – М., 2017.

19. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

20. Типовой проект, шифр 25.0017. Одноцепные, двухцепные и переходные железобетонные опоры ВЛИ 0,4 кВ с СИП-2 и линейной арматурой ООО «НИЛЕД-ТД». ОАО РАО «ЕЭС России», Открытое акционерное общество по проектированию сетевых и энергетических объектов ОАО «РОСЭП», 2005 126 с.

21. Типовой проект, шифр 27.0002. Одноцепные железобетонные

опоры ВЛ 6-20 кВ с защищенными проводами с линейной арматурой ООО «НИЛЕД-ТД». ОАО РАО «ЕЭС России», Филиал ОАО «НТЦ электроэнергетики» - РОЭСП, 2007. 88 с.

22. Типовой проект, шифр А5-92. Прокладка кабелей напряжением до 35 кВ в траншеях. Выпуск 1. Материалы для проектирования и рабочие чертежи. ВНИПИ Тяжпромэлектропроект им. В.Б. Якубовского – М., 1992. 58 с.

23. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования: учеб. пособие. – 3-е изд., испр. – М.: Форум – ИНФРА-М, 2014. 216 с.

24. Шкляев А. Н., Энергосбережение в сетях 6-10/0,4 кВ при электроснабжении субъектов малого предпринимательства. Тольяттинский государственный университет, Институт химии и энергетики, Кафедра Электроснабжение и электротехника. 2021 г. 84 с.

25. Щербаков Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учеб. пособие – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: ФОРУМ – ИНФРА-М, 2019. 495 с.