

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 Разработка системы электроснабжения дачного поселка

Обучающийся

С.Ю. Мозговой

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н. В.И. Платов

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

## Аннотация

Актуальность темы обусловлена необходимостью создания устойчивых и энергоэффективных решений для загородных территорий, где традиционные подходы к энергоснабжению могут быть ограничены из-за удаленности от централизованных сетей или специфики нагрузок. Разработанная система должна соответствовать требованиям ГОСТ, ПУЭ и других нормативных документов, а также учитывать экологические и экономические аспекты.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения дачного поселка, обеспечивающей надежное, безопасное и экономически эффективное энергоснабжение. В рамках работы решаются задачи анализа потребности в электроэнергии, выбора оптимальной схемы электроснабжения, подбора оборудования и расчета параметров системы с учетом современных стандартов и технологий.

На основании поставленной цели следует выделить следующие задачи:

- привести общие сведения о поселке и особенности его электроснабжения, определить цели и задачи работы,
- рассчитать электрические нагрузки,
- выбрать мощность и тип трансформаторов,
- рассчитать токи короткого замыкания,
- разработать схемы РЗиА,
- выбрать провода и кабели,
- выбрать коммутационное оборудование,
- разработать систему освещения,
- разработать молниезащиту и заземление подстанции.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, трёх разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 62 листах формата А4, содержит 12 таблиц и 10 рисунков.

## Содержание

Введение.....	4
1 Определение целей, задач и направлений исследований .....	6
1.1 Общие сведения о поселке и особенности его электроснабжения .....	6
1.2 Определение целей и задач работы .....	7
2 Разработка системы электроснабжения.....	9
2.1 Расчёт электрических нагрузок.....	9
2.2 Выбор мощности и типа трансформаторов .....	11
2.3 Расчет токов короткого замыкания .....	17
2.4 Разработка схемы РЗиА .....	20
2.5 Выбор проводов и кабелей .....	27
2.6 Выбор коммутационного оборудования.....	30
3 Обеспечение надежности и безопасности .....	45
3.1 Разработка системы освещения .....	45
3.2 Молниезащита и заземление подстанции.....	51
Заключение .....	58
Список используемой литературы и используемых источников.....	60

## Введение

В условиях активного развития загородного строительства и повышения интереса к комфортному проживанию за пределами города, обеспечение надежного и эффективного электроснабжения дачных поселков становится актуальной задачей. Стабильное энергоснабжение является основой для функционирования современных бытовых и инженерных систем, обеспечивающих комфорт и безопасность жителей. Разработка системы электроснабжения дачного поселка требует комплексного подхода, учитывающего особенности объекта, требования нормативной документации, а также перспективы дальнейшего развития инфраструктуры.

Актуальность темы обусловлена необходимостью создания устойчивых и энергоэффективных решений для загородных территорий, где традиционные подходы к энергоснабжению могут быть ограничены из-за удаленности от централизованных сетей или специфики нагрузок. Разработанная система должна соответствовать требованиям ГОСТ, ПУЭ и других нормативных документов, а также учитывать экологические и экономические аспекты.

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения дачного поселка, обеспечивающей надежное, безопасное и экономически эффективное энергоснабжение. В рамках работы решаются задачи анализа потребности в электроэнергии, выбора оптимальной схемы электроснабжения, подбора оборудования и расчета параметров системы с учетом современных стандартов и технологий.

На основании поставленной цели следует выделить следующие задачи:

- привести общие сведения о поселке и особенности его электроснабжения, определить цели и задачи работы,
- рассчитать электрические нагрузки,
- выбрать мощность и тип трансформаторов,
- рассчитать токи короткого замыкания,
- разработать схемы РЗиА,

- выбрать провода и кабели,
- выбрать коммутационное оборудование,
- разработать систему освещения,
- разработать молниезащиту и заземление подстанции.

Теоретическая значимость данной выпускной квалификационной работы заключается в систематизации и углублении знаний в области проектирования систем электроснабжения для объектов с нестандартными характеристиками, таких как дачные поселки. В рамках работы проводится анализ современных подходов к организации электроснабжения, включая изучение нормативной базы (ПУЭ, ГОСТ, СП), принципов выбора схем распределения электроэнергии и применения энергоэффективных технологий.

Практическая значимость выпускной квалификационной работы заключается в разработке проекта системы электроснабжения дачного поселка, который может быть использован в реальных условиях для обеспечения надежного и эффективного энергоснабжения. Разработанная система учитывает специфику объекта, включая расчет электрических нагрузок, выбор оптимальной схемы распределения электроэнергии, подбор оборудования и обеспечение соответствия нормативным требованиям (ПУЭ, ГОСТ, СП).

Проект предлагает конкретные технические решения, такие как схемы подключения, типы кабелей, трансформаторов и защитных устройств, которые могут быть применены при строительстве или модернизации инфраструктуры дачных поселков. Разработанные расчеты и чертежи обеспечивают готовую основу для реализации системы, минимизируя риски ошибок на этапе проектирования и эксплуатации.

# 1 Определение целей, задач и направлений исследований

## 1.1 Общие сведения о поселке и особенности его электроснабжения

В данной ВКР рассматривается дачный поселок. План дачного поселка приведен на рисунке 1.

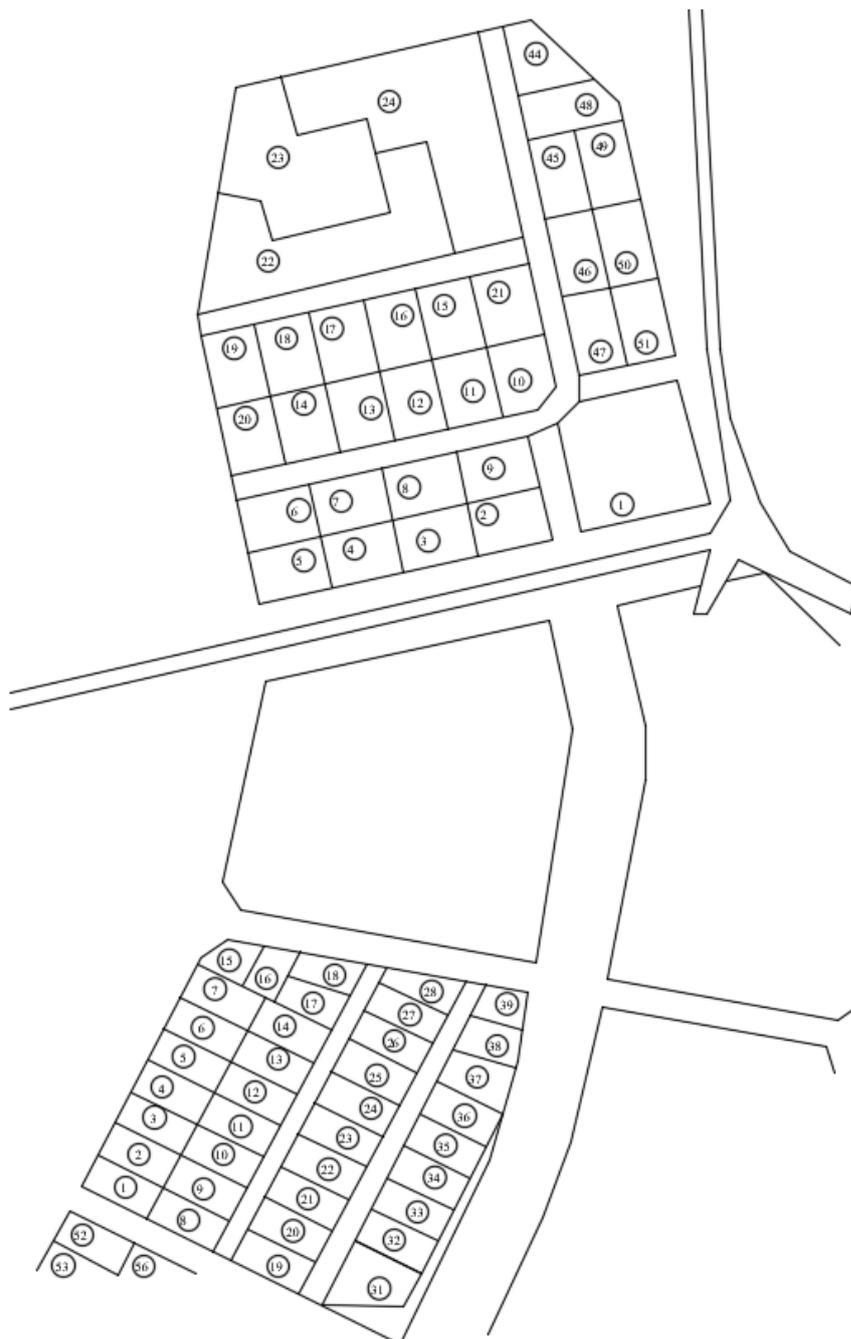


Рисунок 1 – План дачного поселка

«Район характеризуется низким потенциалом загрязнения атмосферы с чётко выраженным годовым ходом приземных инверсий, максимум которых приходится на зимние месяцы.

Согласно карты климатического районирования для строительства (СП 131.13330.2012 Строительная климатология), место строительства дачного поселка относится к району II–А. Температура воздуха для проектирования отопления составляет минус 30 °С, для проектирования вентиляции – минус 17 °С. Продолжительность отопительного периода – 266 дней» [13].

«На территории рассматриваемого дачного поселка располагаются 80 участков под строительство жилых домов. Разрешенная мощность для электроприемников на каждый участок составляет  $P_{уст} = 20$  кВт» [7].

## **1.2 Определение целей и задач работы**

Целью выпускной квалификационной работы является проектирование системы электроснабжения дачного поселка, обеспечивающей надежное, безопасное и экономически эффективное энергоснабжение. В рамках работы решаются задачи анализа потребности в электроэнергии, выбора оптимальной схемы электроснабжения, подбора оборудования и расчета параметров системы с учетом современных стандартов и технологий.

На основании поставленной цели следует выделить следующие задачи:

- привести общие сведения о поселке и особенности его электроснабжения, определить цели и задачи работы,
- рассчитать электрические нагрузки,
- выбрать мощность и тип трансформаторов,
- рассчитать токи короткого замыкания,
- разработать схемы РЗиА,
- выбрать провода и кабели,
- выбрать коммутационное оборудование,
- разработать систему освещения,

– разработать молниезащиту и заземление подстанции.

Выводы по разделу.

В первом разделе ВКР сформулированы цель и задачи выпускной квалификационной работы, направленные на разработку системы электроснабжения дачного поселка.

Направления исследований включают изучение нормативной базы, анализ современных подходов к проектированию систем электроснабжения, а также учет специфики дачных поселков, таких как сезонные колебания нагрузок и удаленность от централизованных сетей. Особое внимание уделено энергоэффективности, безопасности и возможности интеграции перспективных технологий.

Сформулированные цели, задачи и направления исследований обеспечивают четкую структуру работы, позволяя комплексно подойти к решению поставленной проблемы и создать проект, обладающий теоретической и практической значимостью.

## 2 Разработка системы электроснабжения

### 2.1 Расчёт электрических нагрузок

«Расчет нагрузок рассматриваемого дачного поселка выполняется по методу коэффициента спроса. Так как максимальная мощность для всех потребителей будет в утреннее и вечернее время, когда все большинство жителей дачного поселка находится дома, то коэффициент спроса для отдельных шкафов РЩ дачного поселка и всего дачного поселка в целом принимается

$$k_c = 0,85.$$

Расчетная активная мощность группы каждого электроприемников определяется по выражению» [12]:

$$P_p = n \cdot P_{уст} \cdot k_c; \quad (1)$$

где  $P_{уст}$  – «установленная мощность участка, согласно исходных данных мощность для электроприемников на каждый участок составляет  $P_{уст} = 20$  кВт» [12].

«Так для щита РЩ1, от которого подключено четыре участка рассматриваемого дачного поселка

$$P_p = 4 \cdot 20 \cdot 0,85 = 68,0 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность группы каждого электроприемников определяется по выражению» [12]:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi; \quad (2)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – «коэффициент мощности, определяется из заданного  $\cos\varphi$ .

Так для щита РЩ1, от которого подключено четыре участка рассматриваемого дачного поселка при  $\cos\varphi = 0,92$   $\operatorname{tg}\varphi = 0,426$

$$Q_p = 68 \cdot 0,426 = 29,0 \text{ кВт.}$$

Расчетная полная мощность группы каждого электроприемников определяется по выражению» [12]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (3)$$

«Так для щита РЩ1, от которого подключено четыре участка рассматриваемого дачного поселка

$$S_p = \sqrt{68^2 + 29,0^2} = 73,9 \text{ кВА.}$$

Расчетная полная мощность группы каждого электроприемников определяется по выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}. \quad (4)$$

Так для щита РЩ1, от которого подключено четыре участка рассматриваемого дачного поселка» [12]:

$$I_p = \frac{73,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 112,4 \text{ А.}$$

«Расчетная мощность всего дачного поселка определяется как сумма расчетных мощностей отдельных шкафов РЩ. Результаты расчета нагрузок дачного поселка приведена в таблице 1» [12].

Таблица 1 – Расчет нагрузок дачного поселка

Обозначение на плане	Кол-во	$P_{уст}$ , кВт	$P_{сум}$ , кВт	$P_p$ , кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$Q_p$ , кВт	$S_p$ , кВт	$I_p$ , кВт
РЩ1	4	20	80	68	0,92	0,426	29,0	73,9	112,4
РЩ2	4	20	80	68	0,92	0,426	29,0	73,9	112,4
РЩ3	6	20	120	102	0,92	0,426	43,5	110,9	168,6
РЩ4	5	20	100	85	0,92	0,426	36,2	92,4	140,5
РЩ5	4	20	80	68	0,92	0,426	29,0	73,9	112,4
РЩ6	5	20	100	85	0,92	0,426	36,2	92,4	140,5
РЩ7	4	20	80	68	0,92	0,426	29,0	73,9	112,4
Наружное освещение, линия 1	–	–	4,24	4,24	0,92	0,426	1,8	4,6	7,0
РЩ8	10	20	200	170	0,92	0,426	72,4	184,8	281,1
РЩ9	10	20	200	170	0,92	0,426	72,4	184,8	281,1
РЩ10	9	20	180	153	0,92	0,426	65,2	166,3	253,0
РЩ11	9	20	180	153	0,92	0,426	65,2	166,3	253,0
Наружное освещение, линия 2	–	–	2,9	2,9	0,92	0,426	1,2	3,2	4,8
Итого	–	–	1407,1	1196,1	–	–	510,0	1301,2	1979,4

Далее на основании рассчитанных нагрузок будет проведен выбор оборудования системы электроснабжения посёлка.

## 2.2 Выбор мощности и типа трансформаторов

Выбор компенсирующих устройств.

При выборе трансформаторов для трансформаторной подстанции дачного поселка в первую очередь необходимо уделить внимание подбору компенсирующих устройств, предназначенных для минимизации влияния реактивной мощности в электросети. Реактивная мощность снижает качество электроэнергии, что может привести к увеличению затрат на электроэнергию из-за дополнительных платежей за низкий коэффициент мощности, росту

потерь энергии в сети из-за нагрева проводников, перегреву проводов и кабелей, снижению их срока службы, перегрузке подстанционного оборудования, включая трансформаторы, а также необходимости использования трансформаторов с завышенной мощностью и проводников с увеличенным сечением, что повышает капитальные затраты. Для компенсации реактивной мощности применяются конденсаторные установки, которые подключаются на сборные шины напряжением 0,4 кВ подстанции дачного поселка. Использование конденсаторных установок позволяет существенно снизить потребление реактивной мощности, улучшив коэффициент мощности в сети, сократить потери электроэнергии, что способствует экономии ресурсов, обеспечить экономический эффект за счет уменьшения эксплуатационных затрат и повышения эффективности работы сети, а также поддерживать напряжение на сборных шинах в пределах номинальных значений, установленных стандартами, таких как ГОСТ 32144-2013. Это исключает необходимость установки дополнительных устройств регулирования напряжения, например стабилизаторов, на стороне потребителей, снижая их затраты. Для правильного выбора конденсаторной установки необходимо определить расчетную реактивную мощность, которая рассчитывается на основе анализа нагрузок в сети, включая данные о потреблении реактивной мощности в различные периоды времени, тип установки, где выбор между автоматическими с регулируемой мощностью или нерегулируемыми установками зависит от характера нагрузки и требований к гибкости системы, например, для дачных поселков с переменной нагрузкой предпочтительны автоматические установки, а также напряжение установки, которое должно соответствовать номинальному напряжению сети, в данном случае 0,4 кВ, чтобы обеспечить безопасную и эффективную работу оборудования. Грамотный подбор и установка конденсаторных установок не только повышают надежность и эффективность электроснабжения дачного поселка, но и способствуют снижению эксплуатационных затрат,

соответствию нормативным требованиям и улучшению качества электроэнергии для потребителей.

«Мощность компенсирующих устройств выбирается с учетом приказа Минэнерго РФ №380 от 23.06.2015 г., согласно которому устанавливается рекомендуемый коэффициент мощности на шинах НН подстанции дачного поселка ( $\text{tg}\varphi_{\text{рек.}}$ ). Так как подстанцию дачного поселка планируется подключить по ВЛ 10 кВ, соответственно напряжение системы 10 кВ, то  $\text{tg}\varphi_{\text{рек}} = 0,4$ » [9].

«Минимальная мощность компенсирующих устройств определяется по формуле» [3]:

$$Q_{\text{ку}} \approx P_{\text{р}\Sigma} (\text{tg}\varphi_{\text{факт}} - \text{tg}\varphi_{\text{рек}}), \quad (5)$$

где  $P_{\text{р}}$  – «расчетная активная мощность на шинах 0,4 кВ ТП, кВт;

$\text{tg}\varphi_{\text{факт}}$  – фактический коэффициент мощности на шинах ВН до установки компенсирующих устройств» [3];

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = Q_{\text{р}\Sigma} / P_{\text{р}\Sigma}; \quad (6)$$

где  $\text{tg}\varphi_{\text{рек}}$  – «рекомендуемый энергосистемой коэффициент мощности, согласно приказу Минэнерго №380 от 23.06.2015 г. для сетей 10 кВ необходимо принимать равным  $\text{tg}\varphi_{\text{рек}} = 0,4$ » [9]

$$\text{tg}\varphi_{\text{факт}} = 510,0 / 1196,1 = 0,426.$$

$$Q_{\text{ку}} \approx 1196,1 \cdot (0,426 - 0,4) = 34,3 \text{ кВар.}$$

«Принимается к установке конденсаторная установка УKM58–0,38–100–25 УЗ. Мощности конденсаторной установки устанавливается на 50 кВар. Технические характеристики выбранных компенсирующих устройств представлена в таблице 2» [21].

Таблица 2 – Технические характеристики выбранных компенсирующих устройств

Технические характеристики	Величина
Тип компенсирующих устройств	УКМ58–0,69–100–25 У3
Номинальная мощность	100 кВар
Шаг регулировки	25 кВар
Номинальный ток	144,3 А
Сечение медного питающего кабеля, мм <sup>2</sup>	3×70

«Реактивная мощность на СШ 0,4 кВ ТП равна

$$Q_{p.cкУ} = Q_{p\Sigma} - Q_{кУ}, \quad (7)$$

$$Q_{p.cкУ} = 510 - 1 \cdot 50 = 460 \text{ кВар},$$

таким образом, после установки КУ коэффициент мощности составляет

$$\text{tg}\varphi = 460 / 1196,1 = 0,385,$$

что соответствует максимально допустимому значению, а значит выбор КУ выполнен верно.

Полная расчетная мощность силовой нагрузки определяется по формуле» [6]:

$$S_{p.ц.} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q_{p.cкУ}^2}; \quad (8)$$

$$S_{p.ц.} = \sqrt{1196,1^2 + 460^2} = 1281,5 \text{ кВА}.$$

Полный расчетный ток силовой нагрузки:

$$I_p = \frac{S_{p.ц.}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (9)$$

$$I_p = \frac{1281,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1949,4 \text{ А}.$$

Трансформаторы составляют основу оборудования трансформаторных подстанций, и их выбор по типу, количеству и мощности должен быть тщательно обоснован с технической и экономической точек зрения, чтобы обеспечить надежное, эффективное и рациональное электроснабжение потребителей. Правильный подбор трансформаторов позволяет оптимизировать затраты на оборудование и эксплуатацию, минимизировать потери электроэнергии и обеспечить соответствие системы электроснабжения проектным и нормативным требованиям.

При определении количества трансформаторов для подстанции необходимо учитывать категорию надежности электроприемников, подключенных к сети. Для электроприемников третьей категории надежности, которые составляют значительную часть нагрузки в дачных поселках или аналогичных объектах, нормативные документы, такие как ПУЭ (Правила устройства электроустановок), допускают использование одного источника питания. Это означает, что в таких случаях достаточно установить однострансформаторную подстанцию, что снижает капитальные затраты на строительство и упрощает эксплуатацию системы электроснабжения.

Кроме того, важным аспектом является наличие у обслуживающей организации резервных трансформаторов, которые обеспечивают дополнительную гарантию бесперебойного электроснабжения. В случае аварийной ситуации, если ремонт вышедшего из строя трансформатора невозможно завершить в течение 24 часов, обслуживающая организация обязуется заменить его на резервный трансформатор. Такая мера позволяет соблюсти условия договора технологического присоединения, гарантирующего потребителям стабильное и своевременное обеспечение электроэнергией, а также минимизировать перерывы в электроснабжении, что особенно важно для поддержания комфорта и безопасности жителей дачного поселка.

«Номинальная мощность трансформаторов определяется по условию:

$$S_{н.тр} \geq \frac{S_{р.ц.}}{K_{д.п.}}, \quad (10)$$

где  $K_{д.з.}$  – допустимый коэффициент загрузки трансформатора, для масляного трансформатора при однострансформаторной КТП  $K_{д.з.} = 0,9$ » [7];

$$S_{н.тр} \geq \frac{1281,5}{0,9} = 1423,9 \text{ кВА.}$$

Принимается трехфазный масляный герметичный силовой трансформатор мощностью 1600 кВА типа ТМГ – 1600/10/0,4 УХЛ1. Климатическое исполнение УХЛ1 (умеренно-холодный климат, эксплуатация на открытом воздухе при температурах от -60 °С до +40 °С) обеспечивает его надежную работу в сложных погодных условиях.

«Фактический коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме определяется по формуле» [14]:

$$K_з \geq \frac{S_{р.ц.}}{n \cdot S_{н.тр}}, \quad (11)$$

где  $n$  – «количество трансформаторов,  $n = 1$  шт.

$$K_з \geq \frac{1423,9}{1 \cdot 1600} = 0,89 < 0,9.$$

Из расчетов видно, что трансформаторы удовлетворяют условиям загрузки в нормальном режиме работы. Технические характеристики выбранного силового трансформатора ТМГ – 1600/10/0,4 УХЛ1 приведены в таблице 3» [18].

Таблица 3 – Технические характеристики трансформатора ТМГ – 1600/10/0,4 УХЛ1

Технические характеристики	Величина
Наименование трансформаторы	ТМГ–1600/10/0,4 УХЛ1
Напряжение первичной обмотки ВН, кВ	10
Напряжение вторичной обмотки НН, кВ	0,4
Номинальная частота, Гц	50
Потери ХХ, кВт	1,65
Потери КЗ, кВт	12,4
Мощность, кВА	1600
Ток ХХ, %	2
Напряжение КЗ, %	6,0
Схема и группа соединения обмоток	У/У <sub>Н</sub> –О
Габариты, ДхШхВ мм	2150 x 1250 x 2100
Полная масса, кг	3000

Для выбора остального электрооборудования системы электроснабжения дачного посёлка необходимо выполнить расчёт токов КЗ.

### 2.3 Расчет токов короткого замыкания

«На данном этапе выполняется расчет тока КЗ на стороне 0,4 кВ КТП дачного поселка.

Расчет токов КЗ следует начинать с составления расчетной схемы электрической сети, представленной на рисунке 2. На расчетной схеме необходимо указать все параметры, которые влияют на значение тока короткого замыкания (средненоминальное значение ступени напряжения, технические характеристики электрического оборудования) и расчетные точки, в которых нужно рассчитать токи КЗ. Ток КЗ при проектировании системы электроснабжения дачного поселка необходимо определять только на сборных шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции» [14].

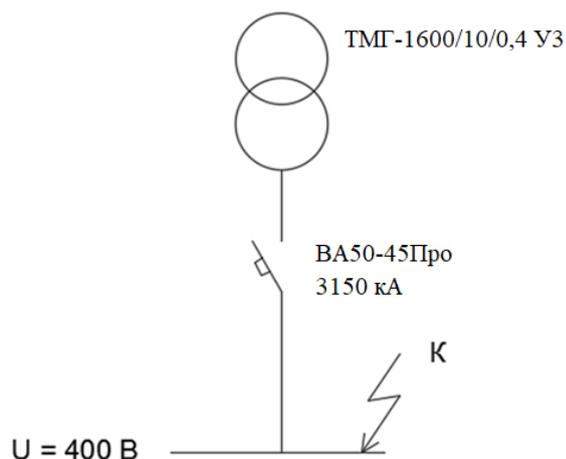


Рисунок 2 – Расчетная схема электрической сети

«На схеме отмечается точка КЗ. После этого рассчитывается ток в этой точке. Схема замещения сети приведена на рисунке 3» [14].

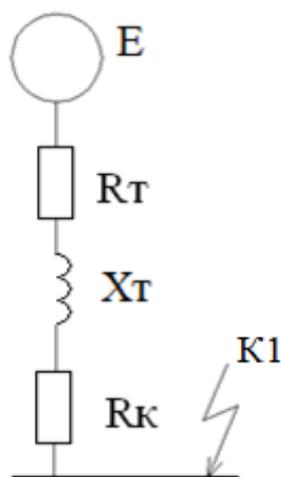


Рисунок 3 – Схема замещения сети

«Суммарное сопротивление в точке К1. Сопротивление энергосистемы до силового трансформатора принимается равным нулю, вследствие его малости относительно сопротивления трансформатора ТП и элементов сети 0,4 кВ. В сети напряжением ниже 1000 В следует учитывать и индуктивные и активные сопротивления.

Полное сопротивление трансформатора ТП» [4]:

$$z_T = \frac{U_{КЗ}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}}, \quad (12)$$

где  $S_B$  – «базисная мощность, принимается равной  $S_B = 1000$  МВА;

$$z_T = \frac{6,0}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{1600} = 37,5 \text{ о. е.}$$

активное сопротивление трансформатора» [4]

$$r_T = \Delta P_{КЗ} \cdot \frac{S_B}{S_{HT}^2}, \quad (13)$$

$$r_T = 12,4 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{1600^2} = 4,84 \text{ о. е.};$$

индуктивное сопротивление трансформатора [4]

$$x_T = \sqrt{z_T^2 - r_T^2}, \quad (14)$$

$$x_T = \sqrt{37,5^2 - 4,84^2} = 37,2 \text{ о. е.}$$

Согласно [4] «для РУ ЦТП переходное сопротивление контактов равно  $r_K=0,015$  Ом. Данное сопротивление переводится в относительные единицы

$$r_{K*} = \frac{r_K}{r_B} = r_K \cdot \frac{S_B}{U_B^2}, \quad (15)$$

$$r_{K*} = 0,015 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 93,75 \text{ о. е.}$$

Суммарное активное сопротивление

$$r_\Sigma = r_T + r_K; \quad (16)$$

$$r_\Sigma = 4,84 + 93,75 = 98,59 \text{ о. е.};$$

суммарное индуктивное сопротивление» [4]

$$x_{\Sigma} = x_{T12} = 37,2, \quad (17)$$

«полное сопротивление

$$z_{\Sigma} = \sqrt{x_{\Sigma}^2 + r_{\Sigma}^2}, \quad (18)$$
$$z_{\Sigma} = \sqrt{37,2^2 + 98,59^2} = 105,4 \text{ о. е.}$$

Мощность КЗ в точке короткого замыкания К1:

$$S_{K31} = S_B / z_{\Sigma}, \quad (19)$$

где  $S_B$  – базисная мощность,

$$S_{K31} = 1000 / 105,4 = 9,49 \text{ МВА.}$$

Ток КЗ определяется по выражению» [4]:

$$I_{K1} = \frac{S_{K31}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (20)$$
$$I_{K1} = \frac{9,49}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 13,7 \text{ кА.}$$

## 2.4 Разработка схемы РЗиА

Для защиты трансформатора ТМГ–1600/10/0,4 УХЛ1 в трансформаторной подстанции дачного посёлка применяются следующие виды защит, каждая из которых выполняет свою функцию для предотвращения повреждений и обеспечения надёжной работы:

- токовая отсечка для защиты от коротких замыканий (КЗ) в обмотках трансформатора, на выводах или в отходящих линиях;
- МТЗ с выдержкой времени для защиты от длительных перегрузок и внешних КЗ, которые не достигают тока срабатывания токовой отсечки, но опасны для трансформатора;
- защита от перегруза предотвращает перегрев обмоток и масла из-за длительной работы при токе выше номинального, что может привести к деградации изоляции;
- газовая защита для защиты от внутренних повреждений (межвитковые замыкания, пробой изоляции, частичные разряды), вызывающих разложение масла и выделение газов.

Для релейной защиты силового трансформатора применяется микропроцессорным терминалом релейной защиты «Сириус-Т», производства ЗАО «РАДИУС Автоматика». Функции данного реле:

- токовая отсечка (максимальная и дифференциальная).
- МТЗ с программируемой выдержкой времени.
- защита от перегруза (по току и с подключением термометров).
- обработка сигналов от газовой защиты (клапана сброса давления).
- автоматика регулирования напряжения (РПН, если применимо).
- осциллографирование, регистрация событий, самодиагностика [22].

Технические характеристики:

- входы: до 8 аналоговых каналов (токи ВН и НН, напряжения),
- протоколы: МЭК 61850, МЭК 60870-5-103, Modbus,
- интерфейсы: Ethernet, RS-485, USB,
- климатическое исполнение: УХЛ1 (с дополнительной защитой для наружной установки) [22].

Преимущества:

- высокая вычислительная мощность и точность измерений, что снижает ступени селективности,

- гибкая программируемая логика для настройки под конкретный трансформатор,
- широкое применение на подстанциях России, включая объекты ПАО «Россети» [22].

Токовая отсечка.

Срабатывает мгновенно (0,02–0,1 с) при превышении тока уставки, которая определяется на основе максимального тока КЗ в зоне защиты. Уставка должна учитывать броски тока намагничивания при включении трансформатора (обычно 5–7× номинальный ток).

Максимальный рабочий ток трансформатора [25]:

$$I_{\text{maxраб}} = \frac{S_{\text{номГ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}}, \quad (21)$$

$$I_{\text{maxраб}} = \frac{1600 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 92 \text{ А.}$$

Выбираем трансформатор тока ТЛК–10–100–0,5/10Р:  $I_{1н} = 100 \text{ А}$ ,  $I_{2н} = 5 \text{ А}$ . Коэффициент трансформации трансформатора тока [25]:

$$k_I = \frac{I_{1н}}{I_{2н}}, \quad (22)$$

$$k_I = \frac{I_{1н}}{I_{2н}} = \frac{100}{5} = 20.$$

«Трансформаторы тока включены по схеме неполной звезды:  $k_{\text{сх}} = 1$ .

Ток срабатывания защиты отстраивается от максимального тока трехфазного короткого замыкания на стороне низкого напряжения, приведенного к ВН» [25]:

$$I_{сз} = k_{отс} \cdot I_{к.з.}^{(3)} \cdot \frac{0,4}{10}, \quad (23)$$

где  $k_{отс}$  – «коэффициент отстройки,  $k_{отс} = 1,2$ .

$$I_{сз} = 1,2 \cdot 13,7 \cdot \frac{0,4}{10} = 0,66 \text{ кА.}$$

Коэффициент чувствительности определяется при двухфазном коротком замыкании в минимальном режиме на шинах, к которым подключен трансформатор» [25]:

$$K_{ч} = \frac{I_{к.з.ВН}^{(2)}}{I_{сз}}, \quad (24)$$

где  $I_{сз}$  – «ток срабатывания защиты, А,

$I_{к.з.ВН}^{(2)}$  – двухфазный ток КЗ на сборных шинах ВН, кА,

$$I_{к.з.ВН}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к.з.ВН}^{(3)}, \quad (25)$$

где  $I_{к.з.ВН}^{(3)}$  – трёхфазный ток КЗ на сборных шинах ВН, согласно исходным данным  $I_{к.з.ВН}^{(3)} = 2,8 \text{ кА}$ ,

$$I_{к.з.ВН}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,8 = 2,42 \text{ кА,}$$

$$K_{ч} = \frac{2,42}{0,66} = 3,7 > 2.$$

Так как коэффициент чувствительности превышает нормируемое значение, то защита удовлетворяет требованию чувствительности.

Ток срабатывания реле» [25]:

$$I_{\text{ср}} = \frac{k_{\text{сх}}}{k_I} \cdot I_{\text{сз}}, \quad (26)$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{1}{20} \cdot 0,66 = 0,033 \text{ кА} = 33 \text{ А.}$$

Максимальная токовая защита с выдержкой времени.

Срабатывает с заданной выдержкой времени (0,3–2 с) при превышении тока уставки, что позволяет игнорировать кратковременные пусковые токи.

Определим ток срабатывания защиты, который отстраивается от максимального рабочего тока на ВН трансформатора:

$$I_{\text{сз}} = \frac{k_{\text{отс}}}{k_B} \cdot I_{\text{махраб}}, \quad (27)$$

где  $k_{\text{отс}} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$I_{\text{махраб}}$  – «максимальный рабочий ток трансформатора,

$$I_{\text{сз}} = \frac{1,2}{0,9} \cdot 92 = 123 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности в основной зоне проверяем по току двухфазного короткого замыкания за трансформатором на шинах НН, приведенному к шинам ВН» [25]:

$$K_{\text{ч}}^{\text{осн}} = \frac{I_{\text{к.з.}}^{(2)\text{НН}} \cdot \frac{0,4}{10}}{I_{\text{сз}}}, \quad (28)$$

где  $I_{\text{к.з.}}^{(2)\text{НН}}$  – «двухфазный ток КЗ на шинах НН, приведенный к шинам ВН, кА,

$$I_{к.з.}^{(2)НН} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к.з.}^{(3)}, \quad (29)$$

$$I_{к.з.}^{(2)НН} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 13700 = 11851 \text{ А},$$

$$K_{ч}^{осн} = \frac{11851 \cdot \frac{0,4}{10}}{123} = 3,9 > 1,5.$$

Ток срабатывания реле» [25]:

$$I_{ср} = \frac{k_{сх}}{k_I} \cdot I_{сз}, \quad (30)$$

$$I_{ср} = \frac{1}{20} \cdot 123 = 6,2 \text{ А}.$$

«Время срабатывания защиты принимается по условию отстройки от времени срабатывания защиты на автоматическом выключателе, установленном на вводе НН. Поскольку это время равно нулю, то отстраиваемся на ступень селективности  $\Delta t = 0,3 \text{ с}$ » [25].

$$t_{сз} = t_{сз}^{аб} + \Delta t = 0 + 0,3 = 0,3 \text{ с}.$$

Защита от перегруза.

Данная защита контролирует ток нагрузки и температуру масла. При превышении допустимых значений выдаётся сигнал для персонала или происходит отключение трансформатора.

«Режим перегруза – симметричный, поэтому устанавливаем реле в одну фазу с действием на сигнал.

Определим ток срабатывания защиты, который отстраивается от максимального рабочего тока на ВН трансформатора» [25]:

$$I_{сз} = \frac{k_{отс}}{k_B} \cdot I_{maxраб} , \quad (31)$$

где  $k_{отс} = 1,2$  – коэффициент отстройки;

$I_{maxраб}$  – максимальный рабочий ток трансформатора,

$$I_{сз} = \frac{1,2}{0,9} \cdot 92 = 123 \text{ А.}$$

«Коэффициент чувствительности не определяется.

Ток срабатывания реле» [25]:

$$I_{ср} = \frac{k_{сх}}{k_I} \cdot I_{сз} , \quad (32)$$

$$I_{ср} = \frac{1}{20} \cdot 123 = 6,2 \text{ А.}$$

Выдержка времени отстраивается от кратковременных перегрузок и равна  $t_{сз} = 9$  с.

Для контроля температуры масла применяется манометрический сигнализирующий термометр (встроен в трансформатор) для контроля температуры верхних слоёв масла. Также используются релейные схемы, интегрированные в микропроцессорные терминалы.

Газовая защита.

Реализуется с помощью газового реле (реле Бухгольца), установленного в трубопроводе между баком трансформатора и расширительным баком. Однако ТМГ–1600 – герметичный трансформатор без маслорасширителя, поэтому вместо классического реле Бухгольца используется клапан сброса давления или аналогичный датчик для обнаружения резкого повышения давления в баке из–за выделения газов.

Настройка:

- сигнализация: при медленном накоплении газов или незначительном повышении давления (например, 10–15 кПа) для диагностики.
- отключение: при резком выбросе газов или давлении выше  $25 \pm 5$  кПа (максимальная прочность бака ТМГ).

Клапан сброса давления на крышке бака срабатывает при аномальном давлении, вызывая отключение трансформатора через релейную схему. Для ТМГ–1600 газовая защита может быть дополнена датчиками давления, интегрированными в систему мониторинга. Для трансформаторов мощностью 1600 кВА газовая защита обязательна, так как они обеспечивают питание значительного числа потребителей. В герметичных ТМГ защита упрощена из-за отсутствия маслорасширителя, но клапан сброса давления эффективно реагирует на внутренние неисправности.

## 2.5 Выбор проводов и кабелей

Распределительная сеть дачного поселка «от КТП до щитов РЩ, а также подключение некоторых прожекторных мачт выполнено проводом марки СИП, проложенными на столбах. Подключение отдельных электроприемников от щитов РЩ выполнено кабелями ВВГнг в металлорукаве. Режим работы нейтрали распределительной сети глухозаземленная.

Сечение проводов выбирается по длительно допустимому току по условию нагрева.

$$I_p \leq I_d, \quad (33)$$

где  $I_d$  – длительно допустимый ток кабеля;

$I_p$  – расчетный ток линии» [24],

$$I_p = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U_n}; \quad (34)$$

где  $P_n$  – номинальная мощность шкафов РЩ, кВт;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности, согласно СП 256.1325800.2016 [12];

$U_n$  – номинальное напряжение, кВ;

$$I_p = \frac{80}{\sqrt{3} \cdot 0,92 \cdot 0,38} = 132,3 \text{ А.}$$

«Например, для питания РЩ1 с рабочим током  $I_p = 132,3 \text{ А}$  следует применить кабель ВББШв–5×70 с длительным допустимым током  $I_d = 196 \text{ А}$ » [8].

$$I_p = 132,6 \text{ А} \leq I_d = 196 \text{ А} \text{ – верно.}$$

«Выбранные кабели необходимо согласовать с током теплового расцепителя автоматического выключателя, защищающего данный провод по формуле

$$I_d \geq I_{т.р.} \quad (35)$$

Например, защиты кабеля до РЩ1 применяется плавкий предохранитель с током плавкой вставки 160 А, т.е. условие

$$I_{д.д} = 196 \text{ А} \geq I_{т.р.} = 160 \text{ А}$$

откуда можно сделать вывод, что кабель выбран верно» [24].

«Выбранные по допустимому длительному току и согласованные с током защиты аппаратов сечения проводников внутрицеховых электрических сетей должны быть проверены на потерю напряжения.

Потери напряжения во внутрицеховой распределительной сети можно рассчитать методом момента нагрузки по мощности» [24]:

$$\Delta U = \frac{P \cdot l}{C \cdot F}, \quad (36)$$

где  $P$  – «активная мощность, передаваемая по линии, кВт;

$l$  – длина линии, м;

$F$  – сечение проводника, мм<sup>2</sup>;

$C$  – коэффициент определяемых уровнем напряжения и системой сети, родом тока и материалом жил провода или кабеля. Для сети 380/220 В при системе сети три фазы и нулевой провод и использовании кабеля с медными жилами  $C = 77 \text{ кВт} \cdot \text{м} / \text{мм}^2$ » [24].

«Для кабеля от КТП до РЩ1:

$$\Delta U = \frac{80 \cdot 210}{77 \cdot 70} = 3,12 \% < 5\%,$$

а значит выбранный кабель удовлетворяет данному условию.

Выбор проводников дачного поселка приведен в таблице 4» [24].

Таблица 4 – Выбор проводников дачного поселка

Узел питания	Потребитель				$I_{вст}, \text{ А}$	Проводник			
	Наименование	$P_{ном}, \text{ кВт}$	$P_p, \text{ кВт}$	$I_{ном}, \text{ А}$		Марка	$I_{дл}, \text{ А}$	Длина	$\Delta U, \%$
КТП	РЩ1	80	80	132,3	160	ВБбШв-5×70	196	210	3,12
КТП	РЩ2	200	170	281	315	ВБбШв-5×150	321	280	2,58
РЩ2	РЩ3	120	120	198,4	–	ВБбШв-5×95	242	20	0,33
КТП	РЩ4	180	153	253	315	ВБбШв-5×150	321	400	3,31
РЩ4	РЩ5	80	80	132,3	–	ВБбШв-5×70	196	18	0,27
КТП	РЩ6	100	100	165,3	200	ВБбШв-5×150	321	475	4,11
КТП	РЩ7	80	80	132,3	160	ВБбШв-5×150	321	525	3,64
КТП	РЩ8	200	200	330,7	355	3×ВБбШв-5×240	1314	1100	3,97
КТП	РЩ9	200	200	330,7	355	ВБбШв-5×240	438	330	3,57
КТП	РЩ10	180	180	297,6	315	ВБбШв-5×240	438	310	3,02

Продолжение таблицы 4

Узел питания	Потребитель				I <sub>вст</sub> , А	Проводник			
	Наименование	P <sub>ном</sub> , кВт	P <sub>р</sub> , кВт	I <sub>ном</sub> , А		Марка	I <sub>дл</sub> , А	Длина	ΔU, %
КТП	РЩ11	180	180	297,6	315	ВБбШв–5×240	438	190	1,85
КТП	Наружное освещение	7,1	7,1	12,0	16	ВБбШв–5×4 СИП–2– 3×25+1×35+1×16	32	10	0,23

Далее выполняется выбор коммутационного оборудования в дачном посёлке.

## 2.6 Выбор коммутационного оборудования

Для электроснабжения дачного поселка «применяется блочная трансформаторная подстанция БКТП–1600/10/0,4 кВ, производства компании НИПО РУСЭНЕРГО» [17]. Общий вид данной подстанции приведен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Блочная трансформаторная подстанция БКТП–1600/10/0,4 кВ

«Технические характеристики применяемой БКТП–1600/10/0,4 кВ представлены в таблице 5» [17].

Таблица 5 – Параметры применяемой БКТП–1600/10/0,4 кВ

Наименование параметра	Значение параметра
Мощность силового трансформатора, кВА	1600
Номинальное напряжение на стороне высшего напряжения (стороне ВН), кВ	6; 10; 20
Наибольшее рабочее напряжение ВН, кВ	7, 2; 12; 24
Номинальное напряжение НН, кВ	0,4
Высота над уровнем моря	не более 2000м
Температура окружающего воздуха	от минус 45°С до плюс 40°С.
Относительная влажность	80% при температуре 20°С
Район по ветру и гололёду в соответствии с ПУЭ	I–IV
Сейсмичность площадок установки	7–9 баллов
Климатическое исполнение	У3
Окружающая среда	взрыво и пожаробезопасная, не содержащая токопроводящей пыли, химически активных газов и испарений разрушающих металлы и изоляцию
Масса одного блока ОБ с оборудованием (без силового трансформатора)	не более –14 т.
Масса одного фундаментного блока кабельного ФБК	не более –8 т.

«Блочные комплектные трансформаторные подстанции БКТП 600–10(6)/0,4 предназначены для использования в городских электрических сетях и объектах различного назначения» [10]. «Подстанция служит для приема и транзита электрической энергии трехфазного переменного тока частотой 50Гц напряжением 20–10(6) кВ, преобразования на напряжение 0,4 кВ и распределения ее среди потребителей.

Особенности БКТП 1600 кВА:

- соответствие требованиям ГОСТ 14695.
- полная заводская готовность: значительно упрощенный монтаж и сниженные затраты на пусконаладку оборудования;
- различные варианты схем ВН: выключатели нагрузки, вакуумные стационарные или выкатные выключатели, моноблоки типа RM6 или

Eaton, учёт электроэнергии по стороне высокого напряжения, электрические и механические блокировки для защиты персонала и оборудования;

– множество вариантов схем НН: могут использоваться горизонтальные и вертикальные рубильники с предохранителями, стационарные и выкатные автоматические выключатели, выключатели нагрузки типа CSSD и GLOGCK, пофидерный учёт электроэнергии с передачей данных, подключение устройств телемеханики и АСУ;

– гарантия до 36 месяцев» [17].

«РУ 10 кВ проектируемой БКТП–1600/10/0,4 выполняется камерами КСО 393.

Камеры сборные одностороннего обслуживания серии КСО–393 предназначены для приема и распределения электроэнергии трехфазного переменного тока частотой 50 и 60 Гц, напряжением 6 и 10 кВ в сетях с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью. Общий вид камер КСО 393 приведен на рисунке 5» [20].

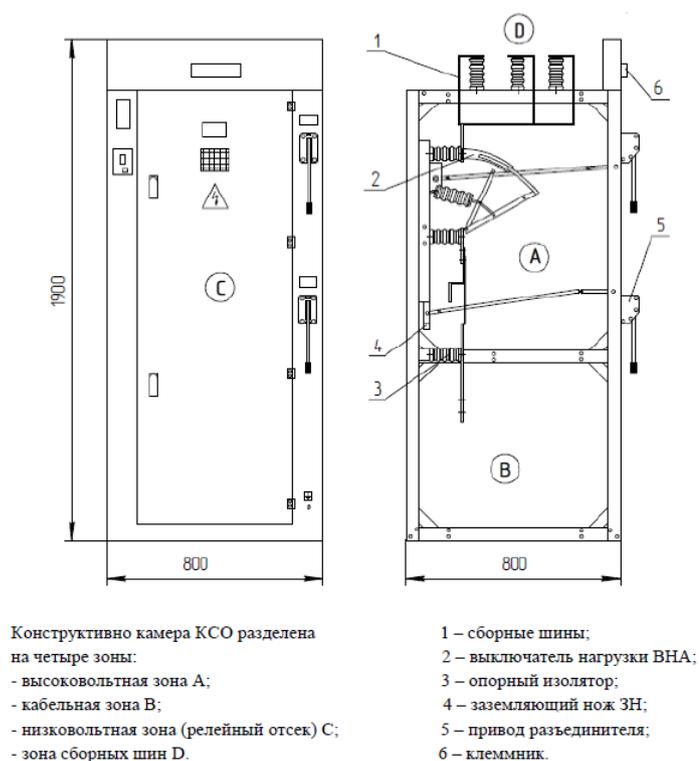


Рисунок 5 – Общий вид камер КСО 393

«В состав камер КСО входят различные типоразмеры камер, отличающиеся друг от друга конструкцией, назначением, размерами и применяемой аппаратурой» [20].

Технические характеристики камер КСО393 представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики камер КСО393

Наименование параметра	Значение параметров КСО393
Номинальное напряжение (линейное)	10 кВ
Наибольшее рабочее напряжение (линейное)	12 кВ
Номинальный ток главных цепей камер КСО с выключателями нагрузки при частоте 50 Гц, А	400; 630; 1000
Номинальный ток трансформаторов тока, А	от 50 А до 1000 А
Номинальный ток сборных шин	1000 А
Номинальный ток шинных мостов	1000 А
Номинальный ток отключения высоковольтного выключателя при частоте 50 Гц	20 кА
Номинальный ток отключения выключателей нагрузки при частоте 50 Гц	400 А
Время протекания тока термической стойкости	–
– для камер с вакуумным выключателем на 630 и 1000 А	3 сек
– для камер с выключателями нагрузки	1 сек
Номинальное напряжение вспомогательных цепей	–
– цепи защиты, управления и сигнализации постоянного и переменного тока	220 В; 110 В
– цепи трансформаторов напряжения (защиты, измерения, учета, АВР)	100 В
– цепи освещения внутри камер КСО	36 В
– цепи освещения снаружи камер КСО	220 В
– цепи трансформаторов собственных нужд	220 В; 380 В
Ток электродинамической стойкости	51 кА
Ток термической стойкости	20 кА
Ток плавкой вставки силового предохранителя	100 кА

«КСО применяются в составе распределительных устройств (РУ) напряжением 6 и 10 кВ при:

- новом строительстве;
- расширении;
- реконструкции;
- техническом перевооружении, следующих объектов:

- распределительных и трансформаторных подстанций городских электрических сетей;
- распределительных и трансформаторных подстанций объектов гражданского назначения и инфраструктуры;
- распределительных подстанций промышленных предприятий;
- понизительных подстанций 35–110/6–10 кВ и 6–10/0,4 кВ распределительных сетей» [20].

«Климатические условия работы камер КСО соответствуют третьей категории размещения при умеренном климате по ГОСТ 15150, при этом:

- высота над уровнем моря – не более 1000 м;
- верхнее и нижнее рабочее значение температуры окружающего воздуха +40С и –40С;
- окружающая среда не должна быть взрывоопасной и содержать токопроводящую пыль, агрессивные пары и газы в концентрациях, разрушающие металлы и изоляцию.

Согласно» [20] «в комплектацию ячейки КСО393 для защиты силового трансформатора подстанции входят вакуумные выключатели ВВ/TEL–10, производства компании «Таврида электрик». В комплектацию ячейки КСО393 для ввода и подключения трансформатора собственных нужд входят выключатели нагрузки с предохранителями.

Вакуумные выключатели выбираются по условиям» [1]:

- по номинальному напряжению

$$U_{уст} \leq U_{ном} ; \quad (37)$$

- «по номинальному току

$$I_{ном} \geq I_{max} ; \quad (38)$$

где  $I_{max}$  – ток в питающих ВЛ, А;

Ток на стороне 10 кВ КТП дачного поселка» [2]:

$$I_{\max} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (39)$$

$$I_{\max} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 10} = 92,5 \text{ А.}$$

– по номинальной отключающей способности [2]:

$$I_{п,τ} \leq I_{\text{отк.ном}}; \quad (40)$$

– по электродинамической стойкости [2]:

$$I_{п,0} < I_{\text{пр.скв.}} = I_{\text{дин.}}, \quad (41)$$

$$i_y \leq i_{\text{пр.скв.}} = i_{\text{дин.}}; \quad (42)$$

где  $I_{\text{пр.скв.}}$ ,  $i_{\text{пр.скв.}}$  – «действующее и амплитудное значения предельного сквозного ТКЗ, А;

– по условию возможности отключения апериодической составляющей ТКЗ  $i_{а,τ}$  в момент  $τ$  расхождения контактов выключателя:

$$i_{а,τ} \leq i_{а,ном}; \quad (43)$$

Апериодическую составляющую ТКЗ вычисляем по формуле» [2]:

$$i_{а,τ} = \sqrt{2} \cdot I_{п,0} \cdot e^{-\frac{τ}{T_a}}, \quad (44)$$

где  $τ$  – «время от возникновения короткого замыкания КЗ до прекращения соприкосновения контактов, с;

$T_a$  – постоянная времени затухания аperiodической составляющей КЗ» [2].

«Расчетное время

$$\tau = t_{p.з.min} + t_{с.в}, \quad (45)$$

где  $t_{p.з.min}$  – минимальное время действия РЗ, с;

$t_{с.в}$  – собственное время отключения выключателей ГПП, с.

$$\tau = 0,01 + 0,033 = 0,043$$

тогда

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 2,8 \cdot e^{-\frac{0,043}{0,00636}} = 0,94 \text{ кА.}$$

Производитель гарантирует выключателям аperiodическую составляющую в отключаемом токе для времени  $\tau$ » [2]:

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{отк,ном} \quad (46)$$

$$i_{a,ном} = \sqrt{2} \cdot 0,4 \cdot 16 = 9,0 \text{ кА}$$

– «по термической стойкости к ТКЗ:

$$W_k \leq I_{тер}^2 \cdot t_{тер}, \quad (47)$$

где  $W_k$  – полный тепловой импульс короткого замыкания,  $\text{кА}^2 \cdot \text{с}$ .

$$W_k = I_{п,0}^2 \cdot (t_{отк} + T_a), \quad (48)$$

где  $t_{отк}$  – время от возникновения КЗ до его отключения, с.

Время от возникновения КЗ до его отключения составляет» [2]:

$$t_{отк} = t_{р.з.} + t_{о.в.}, \quad (49)$$

где  $t_{р.з.}$  – «время срабатывания РЗ силового трансформатора, с;

$t_{о.в.}$  – полное время отключения выключателя, с.

$$t_{отк} = 0,3 + 0,06 = 0,36с$$

тогда

$$B_k = 2,8^2 \cdot (0,36 + 0,00636) = 2,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Сравнение расчетных величин и каталожных данных» [23] выбранных выключателей представим в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор выключателей ВВ/TEL–10

Условия выбора	Расчетные данные	Каталожные данные
$U_{ном} \geq U_{уст}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{ном} \geq I_{мах}$	$I_{мах} = 92,5 \text{ А}$	$I_{ном} = 630,0 \text{ А}$
$I_{отк.ном} \geq I_{п,т}$	$I_{п,0} = 2,8 \text{ кА}$	$I_{отк} = 16 \text{ кА}$
$i_{а,ном} \geq i_{а,т}$	$i_{а,т} = 0,94 \text{ кА}$	$i_{а,ном} = 9,0 \text{ кА}$
$I_{пр.скв.} \geq I_{п,0}$	$I_{п,0} = 2,8 \text{ кА}$	$I_{пр.скв} = 16 \text{ кА}$
$i_{пр.скв.} \geq i_{дин.}$	$i_y = 4,8 \text{ кА}$	$i_{дин} = 50 \text{ кА}$
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$	$B_k = 2,9 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 16^2 \cdot 3 = 768 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

«Выключатели нагрузки на вводе в ТП.

Выключатели нагрузки не предназначены для отключения токов КЗ, поэтому их выбирают» [15]:

– «по напряжению установки

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (50)$$

– по длительному току

$$I_{норм} \leq I_{ном} \quad (51)$$

$$I_{max} \leq I_{ном} \quad (52)$$

– по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{дин} \quad (53)$$

где  $i_{дин}$  – ток электродинамической стойкости, кА» [15];

– «по термической стойкости

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер} \quad (54)$$

где  $I_{тер}$  – ток термической стойкости, кА;

$t_{тер}$  – время протекания тока термической стойкости, с.

Для установки на вводе в ТП применяется выключатель нагрузки ВНА–10/400 УЗ. Расчетные и каталожные данные выключателя нагрузки приведены в таблице 8» [15].

Таблица 8 – Выбор выключателя нагрузки на вводе в ТП

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные ВНА–10	
		Для ТСН	На вводе
$U_{ном} \geq U_{уст}$	$U_{уст}=10$ кВ	$U_{ном}=10$ кВ	$U_{ном}=10$ кВ
$I_{ном} \geq I_{max}$	$I_{max}=92,5$ А	$I_{ном}=400$ А	$I_{ном}=400$ А
$i_{дин} \geq i_{уд}$	$i_{уд}=4,8$ кА	$i_{дин}=40$ кА	$i_{дин}=40$ кА
$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} \geq B_k$	$B_k = 2,9$ кА <sup>2</sup> ·с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 768$ кА <sup>2</sup> ·с	$I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 768$ кА <sup>2</sup> ·с

«Предохранители напряжением 10 кВ на вводе в ТП.

Выключатель нагрузки сочетается с высоковольтным предохранителем, то предохранитель выбирается» [24]:

– по напряжению установки

$$U_{уст} \leq U_{ном} \quad (55)$$

– «по длительному току

$$I_{норм} \leq I_{ном} \quad (56)$$

$$I_{max} \leq I_{ном} \quad (57)$$

– по отключающей способности

$$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{отк.ном} \quad (58)$$

где  $I_{отк.ном}$  – номинальный ток отключения, кА.

Для установки на вводе в ТП в сочетании с выключателем нагрузки применяем предохранитель ПКТ103–10–12,5/40. Расчетные и каталожные данные высоковольтного предохранителя приведены в таблице 9» [24].

Таблица 9 – Выбор выключателя нагрузки на вводе в ТП

Условия выбора	Расчетные параметры сети	Каталожные данные ПКТ103–10	
		Для ТСН	На вводе
$U_{ном} \geq U_{уст}$	$U_{уст}=10$ кВ	$U_{ном}=10$ кВ	$U_{ном}=10$ кВ
$I_{ном} \geq I_{max}$	$I_{max}=92,5$ А	$I_{ном}=40$ А	$I_{ном}=40$ А
$I_{ном.откл} \geq I_{кз}$	$I_{кз} = 2,8$ кА	$I_{отк.ном}=12,5$ кА	$I_{отк.ном}=12,5$ кА

«Однолинейная схема РУ 10 кВ БКТП–1600/10/0,4 кВ для электроснабжения дачного поселка приведена на рисунке 6» [24].

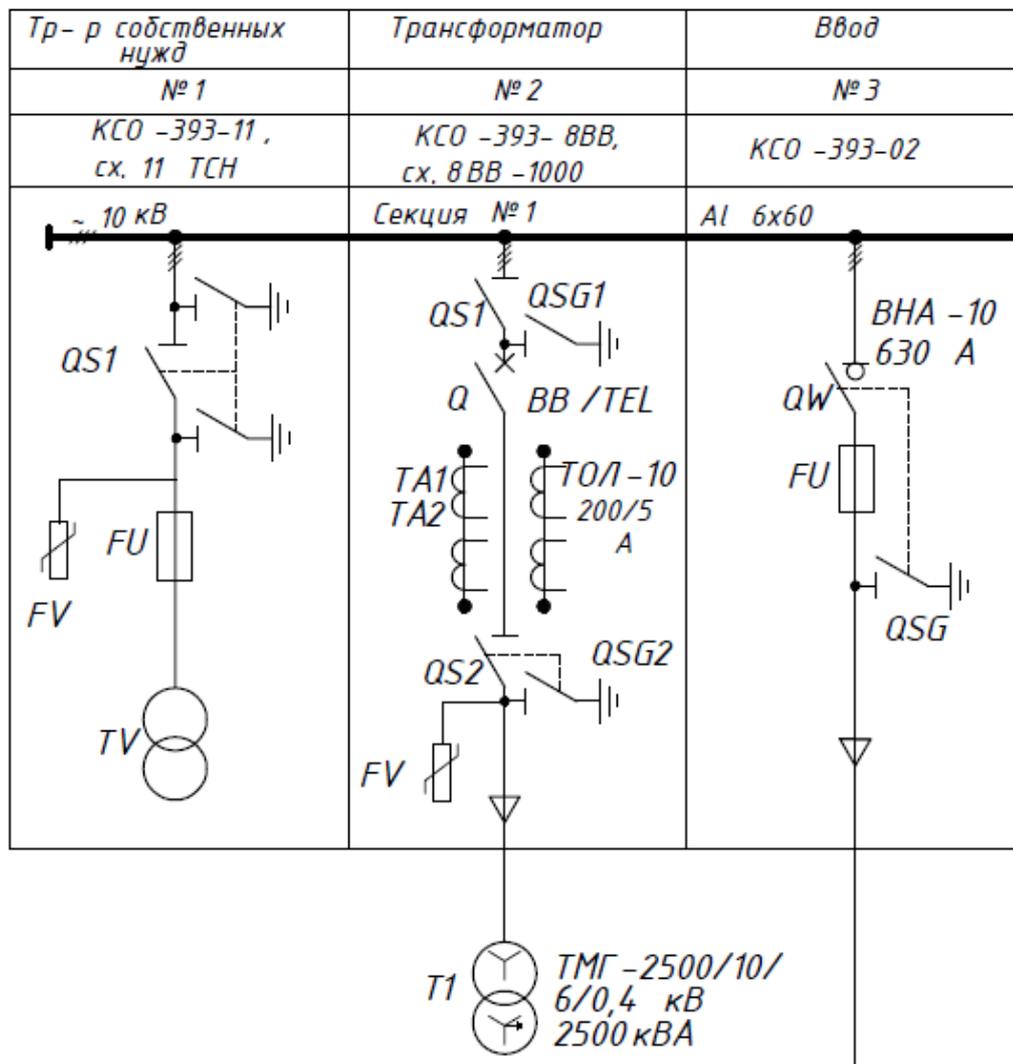


Рисунок 6 – Однолинейная схема РУ 10 кВ БКТП–1600/10/0,4 кВ для электроснабжения дачного поселка

«На стороне 0,4 кВ применяются панели ЩО–70–2–0,3 УЗ, производства компании ИЕК.

Панель линейная распределительных щитов ЩО70 предназначена для приема и распределения электрической энергии в сетях напряжением 380/220В переменного тока частотой 50 Гц с глухозаземленной нейтралью, дистанционного, автоматизированного и ручного управления, контроля, сигнализации и защиты оборудования от токов короткого замыкания и перегрузок, защиты людей от поражения электрическим током» [19].

«Панели изготавливаются с рубильниками и предохранителями или с автоматическими выключателями.

Одна линейная панель может обеспечивать работу до шести отходящих линий.

Панели серии ЩО–70 соответствуют ГОСТ Р 51321.1–2007.

Достоинствами данных панелей является:

- возможность соединения ЩО–70 ИЕК в блоки.
- высококачественное наружное покрытие.
- удобная фурнитура.
- наличие аккредитованных сборщиков в крупнейших регионах РФ.
- возможность внесения изменений в любое решение силами технических специалистов ГК ИЕК.
- короткие сроки поставки компонентов решения обеспечиваются наличием широкой складской и партнерской сети» [19].

Технические характеристики панелей ЩО–70–2–0,3 УЗ приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Технические характеристики панелей ЩО–70–2–0,3 УЗ

Параметр	Значение
Количество фаз	3
Защита	Предохранитель Diazed
Общ количество групп	4
Количество отводящих групп	4
Материал корпуса	Сталь
Степень защиты – IP	IP20
Высота	2200 мм
Ширина	800 мм
Глубина	600 мм
Номинальное раб напряжение	380/220 В
Номинальная частота	50 Гц
Номинальный ток аппаратов групповых цепей	250; 400 А
Климатическое исполнение	УХЛ3
Вид системы заземления	TN–C, TN–S
Модель или исполнение	Напольный
Номер цвета RAL	7035

«Комплектация панелей ЩО–70–2–0,3 УЗ, применяемых в проектируемой БКТП–1600/10/0,4 приведена в таблице 11» [19].

Таблица 11 – Комплектация панелей ЩО–70–2–0,3 УЗ, применяемых в проектируемой БКТП–1600/10/0,4

Устройство	Количество
Плавкая вставка предохранителя ППНИ–35, габарит 1, 250А ИЭК	6
Разъединитель РПС–4 400А П ИЭК	1
Рама шинного моста 3×8 ЩО	1
Разъединитель РПС–2 250А П ИЭК	1
Плавкая вставка предохранителя ППНИ–37, габарит 2, 400А ИЭК	6
Трансформатор тока ТТИ–А 400/5А 5ВА класс 0,5 ИЭК	2
Трансформатор тока ТТИ–А 200/5А 5ВА класс 0,5 ИЭК	2
Шина М1Т 8×80×4000мм ИЭК	1
Амперметр Э47 400/5А кл. точн. 1,5 72×72мм	2
Амперметр Э47 200/5А кл. точн. 1,5 72×72мм	2
Корпус металлический панели ЩО 22.8.6	1
Комплект панели ЩО 22.8.6–2000	1

«Однолинейная схема РУ 0,4 кВ БКТП–1600/10/0,4 кВ для электроснабжения дачного поселка приведена на рисунке 7» [19].

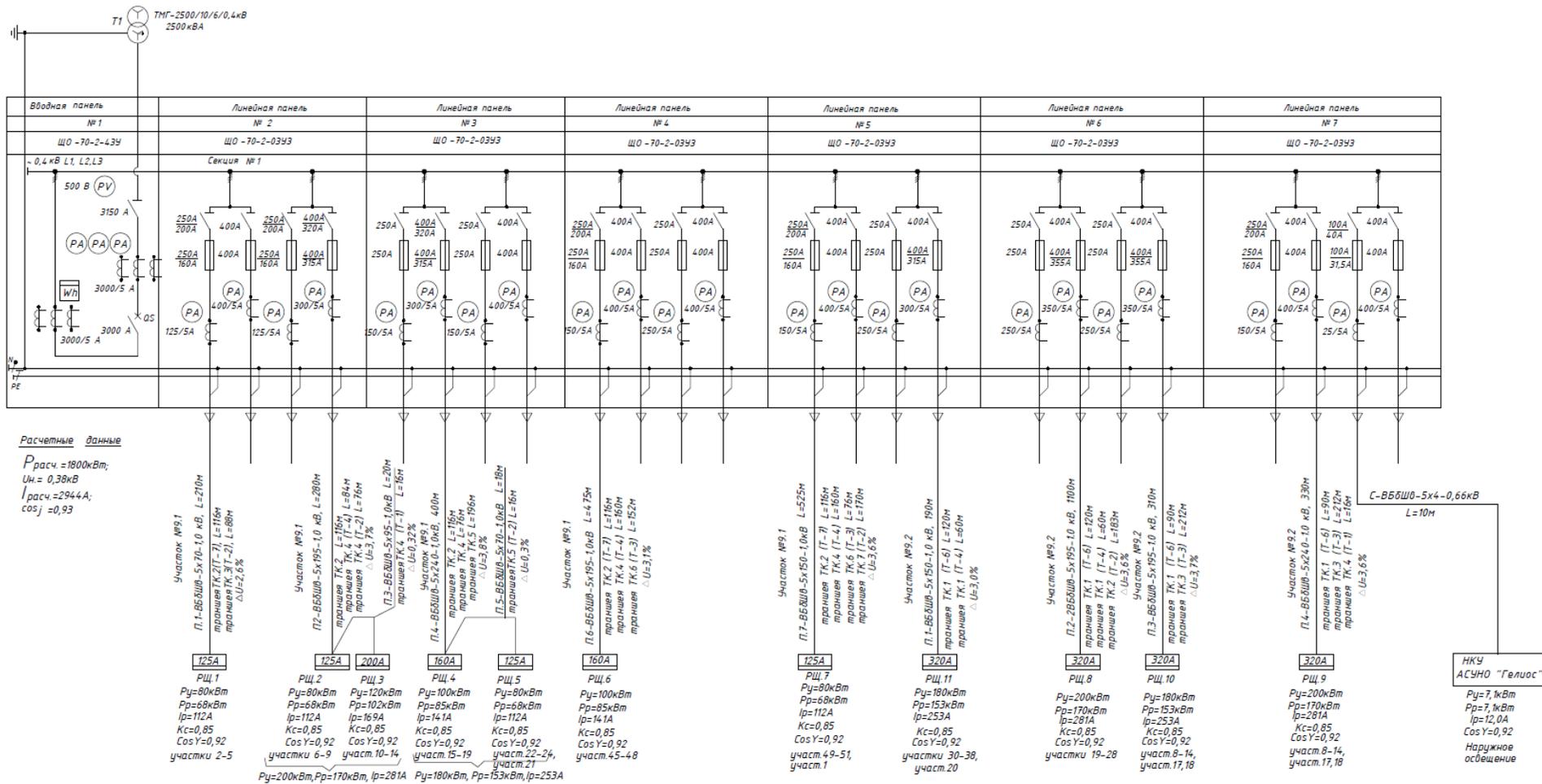


Рисунок 7 – Однолинейная схема РУ 0,4 кВ БКТП–1600/10/0,4 кВ для электроснабжения дачного поселка

Выводы по разделу.

«Во втором разделе ВКР разработана система электроснабжения дачного посёлка. Рассчитаны электрические нагрузки дачного посёлка. Выбраны мощность и тип трансформаторов. Выбрана конденсаторная установка УKM58-0,38-100-25 УЗ. Мощности конденсаторной установки устанавливается на 50 кВар. Выбран силовой трансформатор ТМГ – 1600/10/0,4 УХЛ1,  $S_{н.тр.} = 1600$  кВА. Рассчитаны токи короткого замыкания.

Для защиты трансформатора ТМГ–1600/10/0,4 УХЛ1» [15] в трансформаторной подстанции дачного посёлка применяются следующие виды защит, каждая из которых выполняет свою функцию для «предотвращения повреждений и обеспечения надёжной работы:

- токовая отсечка;
- МТЗ с выдержкой времени;
- защита от перегруза;
- газовая защита.

Для релейной защиты силового трансформатора применяется микропроцессорным терминалом релейной защиты» [15] «Сириус–Т», производства ЗАО «РАДИУС Автоматика».

«Выбрана схемы трансформаторной подстанции, оборудование подстанции дачного посёлка. Для электроснабжения дачного посёлка применяется блочная трансформаторная подстанция БКТП-1600/10/0,4 кВ, производства компании НИПО РУСЭНЕРГО. Даны их технические характеристики. РУ 10 кВ проектируемой БКТП-1600/10/0,4 выполняется камерами КСО 393. В комплектацию ячейки КСО393 для защиты силового трансформатора подстанции входят вакуумные выключатели ВВ/TEL-10, производства компании «Таврида электрик». В комплектацию ячейки КСО393 для ввода и подключения трансформатора собственных нужд входят выключатели нагрузки с предохранителями. На стороне 0,4 кВ применяются панели ЩО-70-2-0,3 УЗ, производства компании ИЕК.

Выбраны проводники в СЭС» [15] дачного посёлка.

### 3 Обеспечение надежности и безопасности

#### 3.1 Разработка системы освещения

«Уличное освещение рассматриваемого дачного поселка выполняется светодиодными светильниками NITEOS «LIRA» 80 Вт. Параметры данных светильников приведены в таблице 12» [24].

Таблица 12 – Параметры светильников

Параметр	Величина
Производитель	NITEOS
Потребляемая мощность	80 Вт
Световой поток	10050 лм
Цветовая температура	5000 К
Световая эффективность	126 лм/Вт
Степень защиты корпуса	IP65
Габаритные размеры	557×270×150
Рассеиватель	Прозрачное стекло
Тип светодиодов	96шт/Чип NICHIA 757 (Япония)
Рабочее напряжение	176–264 В, 50/60 Гц
Допустимая температура среды	от –50° до +50°С
Угол рассеивания	120°

Светодиодные (LED) осветительные приборы имеют ряд преимуществ по сравнению с альтернативными источниками света, такими как лампы накаливания, галогенные, люминесцентные и компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). Вот основные преимущества LED.

Энергоэффективность. LED потребляют значительно меньше электроэнергии (на 60-90% меньше, чем лампы накаливания, и на 20-50% меньше, чем КЛЛ). Это снижает расходы на электроэнергию и уменьшает углеродный след.

Долговечность. Срок службы LED составляет 25,000–50,000 часов и более, что в 10-50 раз дольше, чем у ламп накаливания (1,000–2,000 часов) и в 2-5 раз дольше, чем у КЛЛ (8,000–10,000 часов). Это снижает частоту замены и затраты на обслуживание.

Экологичность. LED не содержат ртути и других токсичных веществ, в отличие от КЛЛ, что упрощает утилизацию и снижает вред для окружающей среды. Меньшее энергопотребление способствует снижению выбросов CO<sub>2</sub>.

Высокая светоотдача. LED обеспечивают высокую светоотдачу (люмен/ватт), до 100-150 лм/Вт, что выше, чем у ламп накаливания (10-17 лм/Вт) и КЛЛ (50-70 лм/Вт).

Мгновенное включение и устойчивость к частым переключениям. LED включаются мгновенно, без задержки (в отличие от КЛЛ, которым требуется время для разогрева). Они устойчивы к частым включениям/выключениям, что не сокращает их срок службы, в отличие от люминесцентных ламп.

Регулируемость и управление светом. LED легко интегрируются с системами диммирования и умного освещения, позволяя регулировать яркость и цветовую температуру. Возможность создания света с разной цветовой температурой (от тёплого до холодного) и RGB-подсветки.

Устойчивость к внешним условиям. LED устойчивы к вибрациям, ударам и низким температурам, что делает их идеальными для использования на улице или в сложных условиях, в отличие от хрупких ламп накаливания и КЛЛ. Меньшее тепловыделение. LED выделяют значительно меньше тепла по сравнению с лампами накаливания и галогенными лампами, что повышает безопасность и снижает нагрузку на системы охлаждения.

Компактность и гибкость дизайна. LED имеют компактные размеры и могут быть встроены в различные формы и конструкции осветительных приборов, что даёт больше возможностей для дизайна.

Качество света. LED обеспечивают высокий индекс цветопередачи (CRI), что делает цвета более естественными. Современные LED могут достигать CRI выше 90, что сопоставимо с лучшими галогенными лампами.

План дачного поселка с указанием мест расположения светильников показан на рисунке 8.



Рисунок 8 – План дачного поселка с указанием мест расположения светильников

Для управления системой наружного освещения дачного поселка применяется Автоматизированная система управления наружным освещением АСУНО «Гелиос».

«АСУНО «Гелиос» – аппаратно–программный комплекс, позволяющий контролировать состояние сетей наружного освещения, организовывать учет электроэнергии и осуществлять диагностику оборудования.

Внедрение АСУНО «Гелиос» позволит:

- рационально использовать электроэнергию;
- адресно управлять каждым светильником с возможностью объединения их в группы;
- гибко управлять режимами освещённости (функция диммирования);
- повысить уровень оперативно–диспетчерского контроля;
- дистанционно контролировать сети наружного освещения;
- планировать потребление электроэнергии;
- улучшить качество жизни населения;
- снизить затраты на энергопотребление до 50%» [16].

«Функциональные особенности АСУНО «Гелиос».

Автоматическое включение и выключение уличного освещения в соответствии с заданным годовым сезонным графиком с возможностью привязки к солнечному календарю.

Централизованное оперативное управление включением и выключением освещения по команде диспетчера с возможностью передачи команд как на один объект, так и на группу объектов.

Временное блокирование НКУ УОС дистанционно по команде диспетчера с целью обеспечения безопасности сотрудников аварийной службы, проводящих ремонтно–восстановительные работы на объекте. Блокировка предусматривает отсутствие любых переключений оборудования и токов по всем фазам НКУ.

Автоматический контроль и диагностика объекта управления уличным освещением и программного обеспечения НКУ УОС» [16].

Отображение текущего состояния объектов управления освещением с индикацией всех необходимых данных:

- состояние напряжения;
- состояние тока;
- состояние связи с объектом;
- состояние связи с сервером Системы;
- режим переключений;
- состояние защиты входных и выходных автоматов;
- состояние коммутационных аппаратов;
- режим управления;
- состояние двери шкафа управления;
- состояние связи с прибором учета.

«Оповещение диспетчерского персонала об аварийных и иных важных событиях.

Прием, обработка и хранение данных информационно–измерительных приборов НКУ УОС.

Отслеживание электросетевых параметров НКУ УОС, контроль их соответствия предыдущему периоду.

Отображение и размещение объектов на карте с целью наглядной демонстрации их физического месторасположения и состояния.

Возможность получения через программные интерфейсы защищенной информации о параметрах информационно–измерительных приборов и регистрируемых ими данных таких как:

- суммарное потребление электроэнергии по одному или группе объектов управления освещением на 00:00 часов выбранных суток;
- суточное потребление электроэнергии по объекту;
- информация о максимальных и минимальных значениях по объектам на 00:00 часов выбранных суток (минимальное и максимальное напряжение, минимальное и максимальное значение тока для каждой фазы по объекту с отображением названия объекта и даты);

– информация о средней мощности работы пунктов включения на 00:00 часов выбранных суток с отображением названия объекта, даты, время горения по фазам» [16].

«Формирование отчетов по потребляемой электроэнергии для каждого объекта или группы объектов с возможностью выгрузки в MS Excel.

Возможность получения отчета о расходах на электроэнергию с учетом тарифа за определенный промежуток времени для заданных объектов с возможностью графического отображения и выгрузки в MS Excel.

Возможность прогнозирования расходов на электроэнергию на определенный промежуток времени с учетом тарифа для заданных объектов.

Автоматическое протоколирование всех воздействий на контролируемые системой объекты управления наружным освещением, включая управляющие действия пользователей.

Возможность выгрузки профилей мощности в виде отчета xml 80020 для передачи в энергосбытовые компании» [16].

«Модуль ПО «Монитор качества освещения «Гелиос» обеспечивает удобные механизмы визуального мониторинга критических параметров. Позволяет контролировать:

- количество работающих светильников (шкафов) в штатном/нештатном режиме;
- процент горения светильников;
- сторонние подключения на линиях освещения.

Обеспечение возможности удаленного доступа в систему АСУНО через веб–интерфейс, в том числе с использованием мобильных устройств и КПК.

Возможность дистанционного проведения инвентаризации оборудования.

Хранение истории выездов оперативно–выездных бригад (обслуживание оборудования, фиксация поломок оборудования).

Хранение логов работы устройств, Установленных на объектах, с возможностью их просмотра за любой заданный промежуток времени и выгрузки в MS Excel.

Разграничение прав доступа к функциональным возможностям системы по ролям и правам» [16].

### **3.2 Молниезащита и заземление подстанции**

Расчет защитного заземления КТП–10/0,4.

«Для обеспечения надежной работы электроустановок и электробезопасности персонала на комплектной трансформаторной подстанции (КТП) 10/0,4 кВ выполняется заземляющее устройство (ЗУ), включающее наружный контур заземления и заземляющие проводники, проложенные внутри помещений и по территории подстанции. ЗУ выполняет функции рабочего заземления, необходимого для нормальной эксплуатации оборудования, и защитного заземления, предотвращающего поражение обслуживающего персонала электрическим током. Для этого все металлические конструкции и части электрооборудования соединяются с заземляющим контуром» [26].

«ЗУ КТП-10/0,4 кВ является общим для распределительных устройств напряжением 10 кВ и 0,4 кВ. Оно состоит из углубленных электродов, выполненных из полосовой стали сечением 4×40 мм, которая укладывается на дно котлована по периметру фундамента КТП на расстоянии не менее 0,3 м от него, и вертикальных заземлителей длиной 5 м, расположенных вокруг здания подстанции. Вертикальные заземлители изготавливаются из стальных труб диаметром 16 мм и соединяются между собой и с углубленным контуром полосовой сталью 4×40 мм. Внутренний контур заземления подстанции связывается с наружным контуром в двух местах с использованием той же полосовой стали 4×40 мм.

Заземлители наружного контура заземления завинчиваются в землю, верхний срез заземлителями расположен на глубине 0,7 м от поверхности земли. Полосу заземления прокладывают на глубине 0,7 м.

Выполняется расчёт наружного контура заземления, состоящий из вертикальных заземлителей, которые связаны горизонтальными заземлителями. В качестве вертикального заземлителя принята стальная труба, диаметр которой составляет» [26]:

$$d = 16 \text{ мм},$$

«длина вертикального заземлителя составляет  $L = 5 \text{ м}$ .

На рисунке 9 приведено размещение вертикального заземлителя в грунте» [26].

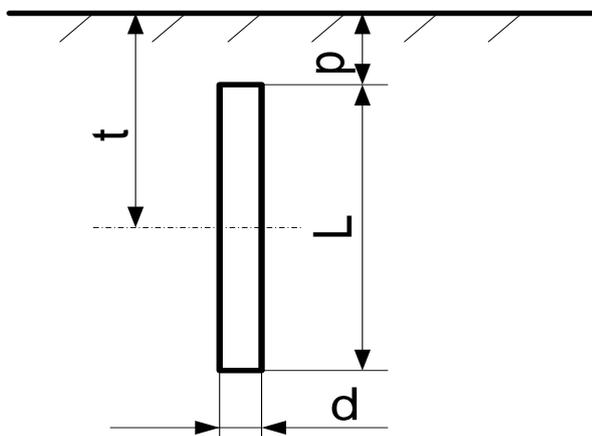


Рисунок 9 – Схема расположения размещения вертикального заземлителя в грунте

«Сопротивление растеканию одного вертикального заземлителя находится как:

$$R_{В.э.} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + L}{4 \cdot t - L} \right); \quad (59)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, для суглинка  $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ » [26].

«Размер  $L$  равен:

$$t = \frac{L}{2} + p; \quad (60)$$

где  $p$  – глубина, на которой располагается вертикальный заземлитель в земле,  $p = 0,7 \text{ м}$ ;

$$t = \frac{5}{2} + 0,7 = 3,2 \text{ м};$$

$$R_{В.э.} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5} \right) = 21,805 \text{ Ом.}$$

Суммарное сопротивление части ЗУ, которые состоят из вертикальных заземлителей, которые электрически связаны между собой, без учета сопротивления горизонтального электрода» [26]:

$$R_{ЗВ} = \frac{R_{В.э.}}{n \cdot K_{ИВ}}; \quad (61)$$

где  $n$  – «число вертикальных заземлителей,  $n = 6$ ;

$K_{ИВ}$  – коэффициент использования вертикальных заземлителей.

$K_{ИВ}$  определяем исходя из количества вертикальных заземлителей ( $n$ ) и отношения расстояния между вертикальными заземлителями к их длине ( $a/L$ ).

Расстояние между вертикальными заземлителями равно  $a_{max} = 5 \text{ м}$ .

«При числе вертикальных заземлителей» [26]

$$n = 6,$$

и отношении

$$a/L=5/5=1,0,$$

получаем

$$K_{ИВ} = 0,71 [26]$$

«и тогда

$$R_{ЗВ} = \frac{21,805}{6 \cdot 0,71} = 5,118 \text{ Ом.}$$

Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя равно» [26]:

$$R_{З.Г.внеш.} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_{ГЭвнеш}^2}{b \cdot m}; \quad (62)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$b$  – ширина полосы,  $b = 0,04$  м;

$m$  – глубина заложения горизонтального заземлителя в землю,  $m = 0,7$  м.

$L_{ГЭвнеш}$  – длина горизонтального заземлителя внешнего контура заземления, м;

$$L_{ГЭ} = 5 \cdot 6 = 30 \text{ м;}$$

Схема расположения горизонтального заземлителя в грунте приведена на рисунке 10» [26].

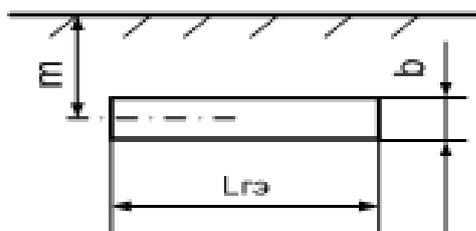


Рисунок 10 – Схема расположения горизонтального заземлителя в грунте

$$R_{\text{з.Г.внеш.}} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 30} \cdot \ln \frac{2 \cdot 30^2}{0,04 \cdot 0,7} = 4,085 \text{ Ом.}$$

«Экранирование полосы другими электродами учитывается с помощью  $K_{\text{ИВ}}$  коэффициента использования горизонтальных электродов. Коэффициент использования определяется с учётом отношения расстояния между вертикальными заземлителями к их длине  $a/L$ . Согласно» [26],  $K_{\text{ИВ}}=0,48$ .

$$R_{\text{з.Г.внеш.}}^{\text{экр}} = \frac{R_{\text{з.Г.внеш.}}}{K_{\text{ИВ}}}; \quad (63)$$

$$R_{\text{з.Г.внеш.}}^{\text{экр}} = \frac{4,085}{0,48} = 8,51 \text{ Ом.}$$

«Внутренний контур заземления выполнен стальной полосой 4×40 мм. Сопротивление растеканию горизонтального заземлителя внутреннего контура заземления:

$$R_{\text{з.Г.}}^{\text{внутр}} = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_{\text{ГЭвнутр.}}^2}{b \cdot m}; \quad (64)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

$L_{\text{ГЭвнутр}}$  – длина горизонтального заземлителя внутреннего контура заземления,  $L_{\text{ГЭвнутр}} = 34 \text{ м}$ » [26];

$$R_{3.Г.}^{внутр} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 24} \cdot \ln \frac{2 \cdot 24^2}{0,04 \cdot 0,7} = 5,3 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление горизонтальных заземлителей:

$$R_{3.Г.Σ} = \frac{R_{3.Г.внеш.}^{экр} \cdot R_{3.Г.}^{внутр}}{R_{3.Г.внеш.}^{экр} + R_{3.Г.}^{внутр}}; \quad (65)$$

$$R_{3.Г.Σ} = \frac{8,51 \cdot 5,3}{8,51 + 5,3} = 3,266 \text{ Ом.}$$

«Полное сопротивление растеканию ЗУ с учётом горизонтальных заземлителей и вертикальных заземлителей» [26]:

$$R_{3.Г.Σ} = \frac{R_{3.В.} \cdot R_{3.Г.Σ}}{R_{3.В.} + R_{3.Г.Σ}}; \quad (66)$$

$$R_{3.Г.Σ} = \frac{5,118 \cdot 3,266}{5,118 + 3,266} = 1,994 \text{ Ом.}$$

«Согласно ПУЭ, сопротивление растеканию ЗУ в электросетях до 10 кВ не должно составлять больше 10 Ом» [8].

«Данное условие выполняется:

$$R_{3.Г.Σ} = 1,994 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом.}$$

Соответственно, можно сделать вывод, что установленных заземлителей на трансформаторной подстанции достаточно» [26].

Молниезащита подстанции.

Молниезащита блочной комплектной трансформаторной подстанции (БКТП) 10/0,4 кВ выполняется в соответствии с нормативными документами, такими как ПУЭ (7-е изд.) [8], РД 34.21.122-87 [11] и ГОСТ Р 50571.5.54-2013 [5], чтобы защитить оборудование и персонал от прямых ударов молнии и

вторичных воздействий (перенапряжений, электромагнитных импульсов). Для БКТП, расположенных в дачных поселках, молниезащита проектируется с учетом III категории защиты, климатических условий (УХЛ1) и особенностей конструкции подстанции. В данном случае предполагается, что БКТП имеет металлическую крышу, которая используется как молниеприемник.

Металлическая крыша БКТП выполняет функцию молниеприемника, так как её толщина составляет не менее 0,5 мм и она изготовлена из оцинкованной стали. Это соответствует требованиям РД 34.21.122-87 для объектов III категории защиты [11].

Токоотводы отводят ток молнии от металлической крыши к заземляющему устройству (ЗУ). Они выполняются из круглой стали диаметром не менее 8 мм. Токоотводы прокладываются по кратчайшему пути от крыши к ЗУ, по углам здания или вдоль стен, с креплением на держателях. Минимальное количество токоотводов — два, с расстоянием между ними не более «10–12 м по периметру БКТП. Соединение токоотводов с крышей выполняется сваркой или болтовыми зажимами с антикоррозийной обработкой, чтобы обеспечить низкое переходное сопротивление. Изгибы токоотводов плавные (радиус не менее 20 см)» [11] для минимизации искрения. Токоотводы соединяются с металлическими конструкциями БКТП (корпусом, арматурой) для выравнивания потенциалов.

Молниезащита использует рассчитанное выше ЗУ БКТП.

Выводы по разделу.

В третьем разделе ВКР рассмотрены мероприятия по обеспечению надежности и безопасности. Разработана система освещения дачного посёлка светодиодными светильниками NITEOS «LIRA» 80 Вт. Рассчитано заземляющее устройство КТП. Металлическая крыша БКТП выполняет функцию молниеприемника, так как её толщина составляет не менее 0,5 мм и она изготовлена из оцинкованной стали. Это соответствует требованиям РД 34.21.122-87 для объектов III категории защиты.

## Заключение

Разработка системы электроснабжения дачного поселка, представленная в данной выпускной квалификационной работе, направлена на обеспечение надежного, эффективного и безопасного энергоснабжения потребителей с учетом современных технических требований. В ходе работы выполнен комплексный анализ нагрузок дачного поселка, определены основные параметры системы электроснабжения, включая выбор оборудования и конфигурацию сети.

«Описан рассматриваемый объект и определены потребители дачного посёлка.

Рассчитаны электрические нагрузки дачного посёлка.

Выбраны мощность и тип трансформаторов. Выбрана конденсаторная установка УKM58-0,38-100-25 УЗ. Мощности конденсаторной установки устанавливается на 50 квар. Выбран силовой трансформатор ТМГ – 1600/10/0,4 УХЛ1,  $S_{н.тр.} = 1600$  кВА.

Рассчитаны токи короткого замыкания.

Для защиты трансформатора ТМГ–1600/10/0,4 УХЛ1» [18] в трансформаторной подстанции дачного посёлка применяются следующие виды защит, каждая из которых выполняет свою функцию для предотвращения повреждений и обеспечения надёжной работы:

- токовая отсечка для защиты от коротких замыканий (КЗ) в обмотках трансформатора, на выводах или в отходящих линиях;
- МТЗ с выдержкой времени для защиты от длительных перегрузок и внешних КЗ, которые не достигают тока срабатывания токовой отсечки, но опасны для трансформатора;
- защита от перегруза предотвращает перегрев обмоток и масла из-за длительной работы при токе выше номинального, что может привести к деградации изоляции;

– газовая защита для защиты от внутренних повреждений (межвитковые замыкания, пробой изоляции, частичные разряды), вызывающих разложение масла и выделение газов.

Для релейной защиты силового трансформатора применяется микропроцессорным терминалом релейной защиты «Сириус–Т», производства ЗАО «РАДИУС Автоматика».

«Выбрана схемы трансформаторной подстанции, оборудование подстанции дачного посёлка. Для электроснабжения дачного посёлка применяется блочная трансформаторная подстанция БКТП-1600/10/0,4 кВ, производства компании НИПО РУСЭНЕРГО. Даны их технические характеристики. РУ 10 кВ проектируемой БКТП-1600/10/0,4 выполняется камерами КСО 393. В комплектацию ячейки КСО393 для защиты силового трансформатора подстанции входят вакуумные выключатели ВВ/TEL-10, производства компании «Таврида электрик». В комплектацию ячейки КСО393 для ввода и подключения трансформатора собственных нужд входят выключатели нагрузки с предохранителями. На стороне 0,4 кВ применяются панели ЩО-70-2-0,3 УЗ, производства компании ИЕК» [17].

Выбраны проводники в СЭС дачного посёлка.

Разработана система освещения дачного посёлка светодиодными светильниками NITEOS «LIRA» 80 Вт.

Рассмотрено заземления и молниезащита ТП дачного посёлка.

Металлическая крыша БКТП выполняет функцию молниеприемника, так как её толщина составляет не менее 0,5 мм, и она изготовлена из оцинкованной стали. Это соответствует требованиям РД 34.21.122-87 для объектов III категории защиты.

В результате выполненной работы предложена полноценная система электроснабжения, обеспечивающая стабильное энергоснабжение дачного поселка, безопасность эксплуатации и возможность дальнейшего масштабирования при увеличении числа потребителей.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Астахов Б.А. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. Москва : Энергоатомиздат, 2011.
2. Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ Ленинградское отделение.: Энергоатомиздат, 2018 г.
3. Вагин Г.Я., Соснина Е.Н. Системы электроснабжения. Комплекс учебно–методических материалов. Нижний Новгород: НГТУ, 2016. 91 с.
4. ГОСТ 28249–93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ // Консультант плюс: справочно–правовая система
5. ГОСТ Р 50571.5.54–2013 Электроустановки низковольтные. Часть 5–54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов // Консультант плюс: справочно–правовая система
6. Ильяшов В.П. Конденсаторные установки промышленных предприятий. Москва : Энергоатомиздат. 2013.
7. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию Томск: Томский политехнический университет, 2015. 168 с.
8. Правила устройства электроустановок. СПб.: Издательство ДЕАН, 2003. 928 с.
9. Приказ Минэнерго №380 от 23 июня 2015 г. N 380 О порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии // Консультант плюс: справочно–правовая система
10. Промышленные комплектные трансформаторные подстанции. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Федотов Е. Н. Самара 2011.

11. РД 34.21.122-87 Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений // Консультант плюс: справочно–правовая система
12. СП 256.1325800.2016 Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа. Актуализированная редакция СП 31–110–2003 // Консультант плюс: справочно–правовая система
13. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23–01–99\* (с Изменениями N 1, 2). Официальное издание. М.: Минстрой России, 2015 год
14. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. Ю.Г. Барыбина и др. Москва : Энергоатомиздат, 2010. 576 с.
15. Справочник по электроснабжению и электрооборудования: в 2 т. Т.1 / под ред. А.А. Федорова. Москва : Энергоатомиздат, 2019. 568 с.
16. Технические характеристики АСУНО «Гелиос». URL: <https://helios.su/asuno-helios/> (Дата обращения 15.05.2025)
17. Технические характеристики БКТП–1600–10/0,4. URL: <https://nipo-rusenergo.ru/blochnye-komplektnye-transformatornye-podstantsii/bktp/bktp-1600-610-04> (Дата обращения 15.05.2025)
18. Технические характеристики силовых трансформаторов ТМГ–1600/10/0,4. URL: <https://transformator-energum.ru/tmg/tmg-1600-10-0-4-515.html> (Дата обращения 15.05.2025)
19. Технические характеристики панелей ЩО–70–2–0,3 У3. URL: [https://www.iek.ru/products/catalog/tipovye\\_resheniya\\_nku/shcho/nku\\_shcho\\_paneli\\_lineynye/panel\\_lineynaya\\_shcho70\\_2\\_03uz\\_rubilniki\\_2kh250a\\_2kh400a\\_plavkie\\_vstavki\\_6kh250a\\_6kh400\\_transformatory\\_toka\\_2kh200\\_5a\\_2kh400\\_5a\\_iek](https://www.iek.ru/products/catalog/tipovye_resheniya_nku/shcho/nku_shcho_paneli_lineynye/panel_lineynaya_shcho70_2_03uz_rubilniki_2kh250a_2kh400a_plavkie_vstavki_6kh250a_6kh400_transformatory_toka_2kh200_5a_2kh400_5a_iek) (Дата обращения 15.05.2025)
20. Технические характеристики камер КСО 393. URL: <http://zmk-s.ru/production/kamery-sbornye-odnostoronnego-obsluzhivaniya-kso> (Дата обращения 15.05.2025)
21. Технические характеристики компенсирующих устройств. URL: <http://energozapad.ru/ukm58> (Дата обращения 15.05.2025)

22. Технические характеристики микропроцессорного терминала релейной защиты «Сириус-Т». URL: <https://www.rza.ru/catalog/zashita-i-avtomatika-silovih-trancformatorov-i-atotransfomatorov/sirius-t.php?ysclid=mas79aixwu760370223> (Дата обращения 15.05.2025)

23. Технические характеристики выключателей ВВ/TEL. URL: <https://teks.nt-rt.ru/images/manuals/bb-tel-manual.pdf> (Дата обращения 15.05.2025)

24. Файрушин Р.Р. Системы электроснабжения. Учебно-методическое пособие. Нижнекамск: Казанский государственный технологический университет, 2019. 78с.

25. Шабанов В. А., Алексеев В. Ю., Шарипов Р. Р. Релейная защита систем электроснабжения : учебное пособие. Уфа : УГНТУ, 2020. 74 с.

26. Щеголькова Т.М., Татаров Е.И. Защитное заземление электроустановок : Методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Н. Новгород : НГТУ, 2011. 19 с.