

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

Институт энергетики и электротехники  
(наименование института полностью)  
Кафедра «Электроснабжение и электротехника»  
(наименование кафедры)  
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)  
Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений  
(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Применение солнечных батарей при проектировании  
электрооборудования и электрохозяйства загородного малоэтажного жилого  
комплекса»

Студент

В.В. Юшин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.А. Кувшинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

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

(личная подпись)

«    »                      2017 г.

Тольятти 2017

## Аннотация

Темой работы является «Особенности применения солнечных батарей при проектировании электрооборудования и электрохозяйства загородного малоэтажного жилого комплекса».

В настоящее время в условиях катастрофического состояния окружающей среды все большее внимание привлекают альтернативные источники энергии для электроснабжения потребителей, которые обладают несомненными преимуществами по сравнению с традиционными: неиссякаемость и экологическая чистота. Поэтому тема работы актуальна.

Целью работы является анализ возможности применения солнечных батарей при проектировании электрооборудования и электрохозяйства загородного малоэтажного жилого комплекса. В соответствии с поставленной целью в работе решены следующие задачи: анализ объекта проектирования – электропотребителей загородного малоэтажного жилого комплекса; расчёт электрических нагрузок потребителей загородного жилого комплекса; выбор трансформаторных подстанций ТП 10/0,4 кВ; выбор и технико-экономическое обоснование вариантов электроснабжения загородного малоэтажного жилого комплекса – применение традиционной схемы электроснабжения или с применением альтернативного источника питания – солнечных батарей.

Объект работы – загородный малоэтажный жилой комплекс.

Предмет работы – электрооборудование и электрохозяйство загородного малоэтажного жилого комплекса.

Выпускная квалификационная работа включает в себя пояснительную записку объёмом 55 страниц, а также графическую часть из 6 листов формата А1.

## **Abstract**

Graduation thesis topic is «The special aspects of using solar panels in case of design designing electrical equipment and electrical facilities of a cottage community».

Nowadays, in the conditions of a catastrophic state of the environment the alternative sources of energy for electric power supply to a customers attracts a great attention, which have undoubted advantages over traditional ones: inexhaustibility and environmental cleanliness. Therefore, the topic of graduation thesis is relevant.

Work objective is analyzing the possibility of solar panels use in the design of electrical equipment and electric facilities of suburban low-rise complex. According to the main aim of the graduated theses goal the following tasks were completed: the analysis of the design object - electrical consumers of the cottage community; calculation of electrical loads of consumers of the cottage community; selection transformer substations 10/0,4 kV; choice and feasibility study of options for electricity supply to the cottage community - the use of a traditional scheme of electricity or using an alternative power source - solar panels.

The object of work - cottage community.

The subject of work – electrical and electrical equipment of the cottage community.

Graduate work includes an explanatory note with a volume of 61 pages, as well as the graphical part of the 6 sheets of A1 format.

## Содержание

	Введение	5
1	Анализ потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса и системы внешнего электроснабжения	7
2	Расчёт электрических нагрузок потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса	9
2.1	Расчет силовых электрических нагрузок	9
2.2	Расчёт наружного освещения загородного малоэтажного жилого комплекса	11
3	Анализ возможности применения солнечных батарей для электроснабжения потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса	12
3.1	Обоснование выбора солнечных батарей для электроснабжения потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса	12
3.2	Расчёт параметров солнечных батарей	17
4	Выбор ТП 10/0,4 кВ	22
5	Выбор схемы распределительной сети 10 кВ загородного комплекса	29
6	Предварительный расчет сети 10 кВ и 0,4 кВ	30
6.1	Предварительный расчет сети 10 кВ	30
6.2	Предварительный расчет сети 0,4 кВ	32
7	Расчёт токов короткого замыкания	34
8	Выбор электрооборудования 10 кВ и 0,4 кВ электрической сети загородного комплекса	41
9	Выбор устройств защиты и автоматики	47
10	Расчет заземления ТП 10/0,4 кВ	50
	Заключение	52
	Список использованных источников	53

## Введение

В настоящее время в мире основными энергоносителями являются: нефть – 28%, газ – 31%, уголь – 12%, энергия атома – 11%, водные ресурсы – 7%. Остальная доля – 11% приходится на альтернативные (возобновляемые) источники энергии (солнечные батареи, ветроустановки, геотермальные установки, биоустановки и др.). Существует точка зрения, что при нынешних темпах добычи энергоресурсов запасов угля хватит примерно на 170 лет, нефти - на 35 - 40 лет, газа - на 50 лет. В тоже время из-за парникового эффекта и кислотных дождей в ряде регионов наблюдается катастрофическое состояние окружающей среды, а также увеличение числа природных катаклизмов, которые приводят к значительным ущербам и человеческим жертвам [16].

Поэтому считается, что в следующем десятилетии доля альтернативных источников энергии, которые обладают несомненными преимуществами: неиссякаемость и экологическая чистота, для электроснабжения потребителей увеличится до 25%. Кроме того использование таких альтернативных источников энергии обеспечивает потребителю независимость от внешней энергосистемы и, как следствие, от скачков напряжения и аварий, происходящих в ней.

Однако установки, работающие на альтернативных источниках энергии, имеют существенный недостаток – низкая плотность потока энергии, которая вынуждает производителей использовать большие площади энергоустановок; зависимость количества вырабатываемой электроэнергии от погодных условий и времени суток, а значит его неравномерность. По этой причине использование подобных электроустановок для электроснабжения энергоёмких потребителей на данном этапе развития альтернативной энергетики является экономически не выгодным. Наилучшей сферой применения источников возобновляемой энергии является жилой сектор.

Для электроснабжения загородного малоэтажного жилого комплекса из всех видов альтернативной энергии выбрана солнечная, как наиболее перспективная в условиях климата Самарской области. По условиям технических солнечных батареи предполагается установить для электроснабжения части нагрузки коттеджей комплекса.

Цель работы – анализ возможности применения солнечных батарей при проектировании электрооборудования и электрохозяйства загородного малоэтажного комплекса.

Задачи работы:

- анализ объекта проектирования – электропотребителей загородного малоэтажного жилого комплекса;
- расчёт электрических нагрузок потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса;
- выбор ТП 10/0,4 кВ;
- выбор и технико-экономическое обоснование вариантов электроснабжения загородного малоэтажного жилого комплекса – применение традиционной схемы электроснабжения или с применением альтернативного источника питания – солнечных батарей.

## **1 Анализ потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса и системы внешнего электроснабжения**

Объект проектирования – загородный малоэтажный жилой комплекс «Песчаный мыс», расположенный в Ставропольском районе Самарской области. Базовый вариант – 64 участка по 10 соток земли каждый. Проект предполагает комфортные условия для проживания за городом. Предполагается установить центральную канализацию, снабжение приусадебных участков и домов артезианской водой, планируется также подача электричества и газа, что повысит уровень комфортности проживания до европейского. Все участки объединены в отдельную территорию.

На территории посёлка планируется построить:

- 62 двухэтажных коттеджа;
- два участка отдаются под строительство торгового центра.

В перспективе на территории поселка планируется построить детский сад – начальную школу, поликлинику, медицинский центр с аптекой, парк с кафе, сауну/бассейн. Также на территории поселка будет расположена насосная станция очистных сооружений и пост охраны.

Проект обладает явными преимуществами по сравнению с аналогичными проектами, расположенными в Самарской области: экологически чистый район, недалеко расположена река Волга и лес, транспортная доступность – город Тольятти удален на 47 км, наличие технических условий и возможность подключения к энергоносителям. В проекте также предусматривается возможность электроснабжения части нагрузки жилых домов от альтернативных источников питания - солнечных батарей. Генплан жилого комплекса представлен на листе 1 графической части работы.

РП 10 кВ загородного комплекса будет получать питание от ф.3 и ф.13 ПС 110/35/10 «Лопатино» ПАО «МРСК-Волги» - Самарские распределительные сети», поэтому напряжение распределительной сети

выше 1 кВ принимаем 10 кВ [1,2,4]. Напряжение распределительной сети до 1 кВ стандартно для городских и сельских распределительных сетей принимается 380/220 В.

В соответствии с [1,2] сети 0,4 кВ загородного комплекса выполняются с глухозаземлённой нейтралью, система заземления TN-C.



## **2 Расчёт электрических нагрузок потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса**

### **2.1 Расчет силовых электрических нагрузок**

Расчёт электрических нагрузок потребителей жилого комплекса выполняется в два этапа [6]:

1 этап – определяются нагрузки на вводе к каждому потребителю комплекса;

2 этап – рассчитываются нагрузки отдельных элементов сети.

Расчёт нагрузок производится в соответствии с [2]. В проекте жилого комплекса предусмотрено, что все коттеджи оборудованы газовыми плитами. Согласно [2] выбираем расчётную нагрузку одного коттеджа 5,5 кВт. Нагрузки общественных зданий рассчитаны также по [2].

В соответствии с [1], категории надежности торгового центра, детского сада, поликлиники и аптеки, насосной станции, поста охраны – вторая; коттеджей, сауны – третья.

Расчётные нагрузки электроприёмников комплекса приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Расчётные нагрузки электроприёмников комплекса

ЭП		$\cos\varphi / tg\varphi$	$P$ , кВт	$Q$ , квар	$S$ , кВА
Коттеджи		0,92/ 0,43	$5,5 \times 62 = 341$	146,6	371,2
Детский сад – начальная школа		0,85/0,6	$0,46 \times 100 = 4,6$ 100 мест	2,8	5,4
Поликлиника и аптека		0,85/0,6	15	13,2	17,6
Насосная станция		0,92/0,4	11,6	4,99	12,6
Торговый центр	Магазин продовольственный		$0,25 \times 300 = 75$ $S = 300 \text{ м}^2$		
	Магазин непродовольственный		$0,16 \times 400 = 64$ $S = 400 \text{ м}^2$		
	Ресторан		$0,69 \times 50 = 34,5$		
	Салон красоты		$0,97 \times 5 = 4,85$		
	Химчистка		$0,075 \times 10 = 0,75$		
	Кинотеатр		$0,14 \times 100 = 14$ 100 мест		
Пост охраны		0,83/0,6	50	33,5	60,2
Сауна/бассейн		0,9/0,8	100	48	110,9
Кафе		0,85/0,6	2	1,2	2,3
Паркинг			1,75		1,75
Суммарная расчетная нагрузка жилого комплекса			743,05	350,7	821,6

## 2.2 Расчёт наружного освещения загородного малоэтажного жилого комплекса

Для освещения загородного малоэтажного жилого комплекса выбираем лампы ДНаЗ 100 Вт со световым потоком 12500 Лм.

Расчет количества светильников и мощности освещения выполним в соответствии с требованиями [3]:

1. Определим плотность светового потока от лампы по формуле:

$$\Phi = \frac{Lk\pi}{\eta_L}, \quad (2.1)$$

где  $k$  – коэффициент запаса,  $k=1,15$ ;  $\eta_L=0,102$ ;  $L=4$ .

$$\Phi = \frac{4 \times 1,15 \times 3,14}{0,102} = 14,2 \frac{\text{Лм}}{\text{м}^2}.$$

2. Площадь, освещаемая лампой

$$S = \frac{\Phi_L}{\Phi}. \quad (2.2)$$

$$S = \frac{12500}{14,2} = 880 \text{ м}^2.$$

3. Количество светильников для освещения улиц комплекса

$$N = \frac{\Phi_L \cdot S}{L_p}, \quad (2.3)$$

$$N = \frac{14,2 \cdot 880}{55} = 60.$$

4.  $P_{осв} = N \cdot P_L$ , (2.4)

$$P_{осв} = 60 \cdot 100 = 6 \text{ кВт}.$$

### **3 Анализ возможности применения солнечных батарей для электроснабжения потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса**

#### **3.1 Обоснование выбора солнечных батарей для электроснабжения потребителей загородного малоэтажного жилого комплекса**

В [19] отмечается, что «природные ресурсы становятся все более ограниченными. Сокращение выбросов CO<sub>2</sub>, выбросы и глобальное потепление превратились в проблему в международном масштабе. Растет постоянно глобальный спрос на энергию. Растут и новые технологии. Возобновляемый энергетический рынок становится очень динамичным. Солнечная энергия (CSP) представляет собой ключевую энергетическую технологию 21-го века. Ученые и эксперты сходятся во мнении, что такое производство электроэнергии имеет огромный потенциал. Ожидается объем рынка CSP, который будет расти долгие годы».

Как отмечено в [20] «мировой спрос на электроэнергию быстро растет. Он превосходит требования любого другого конечного использования энергии. При среднегодовом темпе роста спроса на электроэнергию в 2,8% произойдет почти удвоение спроса в период между 1997 и 2020 годами. Ожидается, что поставки энергии из развитых стран увеличатся на 30% по сравнению с 1997 годом и почти на 60% к 2020 году. Годовой спрос на электроэнергию растет неравномерно в развитых и развивающихся странах». Данные МЭА/ОЭСР по мировому энергопотреблению в 2002 году (другие источники включают геотермальную, солнечную, ветровую и др.) приведены на рисунке 3.1.

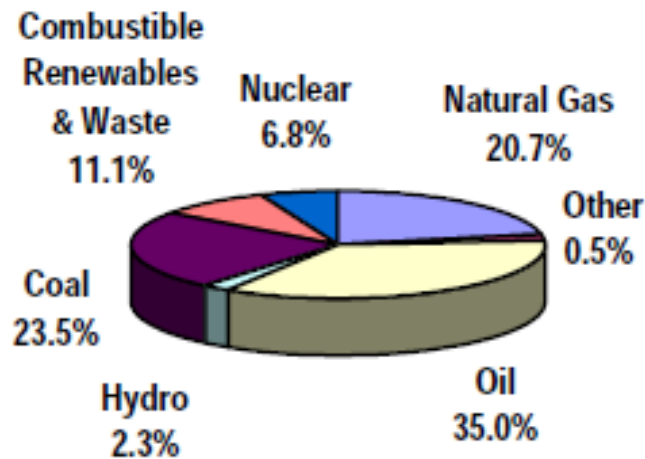


Рисунок 3.1 – Мировое энергопотребление в 2002 году (источник МЭА/ОЭСР [20])

Существует точка зрения, что при нынешних темпах добычи энергоресурсов запасов угля хватит примерно на 170 лет, нефти - на 35 - 40 лет, газа - на 50 лет. В тоже время из-за парникового эффекта и кислотных дождей в ряде регионов наблюдается катастрофическое состояние окружающей среды, а также увеличение числа природных катаклизмов, которые приводят к значительным ущербам и человеческим жертвам [21].

Поэтому необходимо использование альтернативных источников энергии. «Альтернативная энергия – это энергия, которая охватывает те энергоресурсы, которые не потребляют ископаемое топливо. Они широко доступны и экологически чисты. Они практически не загрязняют окружающую среду. В разных странах в настоящее время реализовано несколько альтернативных энергетических проектов, чтобы уменьшить зависимость от традиционных видов ископаемого топлива» [17].

К альтернативным (возобновляемым) источникам энергии относят солнечную энергию, энергию ветра, энергию биомассы, гидроэнергию, энергию волн и др. Из перечисленных источников энергии первоочередной и наиболее доступной является солнечная, как это отмечено в работе [18]:

«Солнечная энергия. В солнечных батареях энергия солнца на прямую преобразуется в полезную энергию. Солнечные батареи захватывают энергию Солнца и напрямую превращают его в полезный источник энергии.

Ветровая энергия. Тепло от солнца создает конвективные потоки в атмосфере, которые приводят к областям высокого и низкого давления и создают разницу температур между ними. Воздух перемещается с места на место и создается ветер, и через большие ветряные мельницы мы можем собрать солнечную энергию и превратить ее в нечто полезное – электрическую энергию.

ГЭС. Солнце создает гидрологический цикл, то есть происходит испарение воды в небо, и вода возвращается вниз на землю дождем. Это означает, что вода, которая была когда-то на уровне моря, может оказаться в более высоких местах! Мы можем собрать эту воду на высоком месте с помощью плотины, а затем, пропустив воду вниз через турбины, можем создать электричество.

Биомасса. Вместо сжигания ископаемого топлива, есть определенные культуры, которые можно выращивать для получения энергии, которые заменят ископаемое топливо. Деревья и биомасса, из которых производят древесину, которые могут быть сожжены. Сахарный тростник можно выращивать и превращать в био-этанол, который может быть использован в двигателях внутреннего сгорания вместо бензина. Масло от овощных культур во многих случаях можно использовать непосредственно в дизельных двигателях или преобразовывать в биодизельное топливо. Рост всех этих растений было инициировано солнцем, и они являются производными от солнечной энергии».

Наиболее оптимальными источниками альтернативной энергии в условиях климата Самарской области являются солнце и ветер.

Климат места расположения жилого комплекса характеризуется как континентальный климат умеренных широт. Особенностью его является засушливость, высокая континентальность и большая изменчивость от года к

году, особенно по количеству выпавших осадков. Среднегодовая температура воздуха  $+3,8\text{ C}^0$ , средняя месячная температура воздуха изменяется от  $+20,1\text{ C}^0$  в июле, до  $-13,9\text{ C}^0$  в январе. Среднегодовая сумма осадков около 400мм. Средняя годовая относительная влажность воздуха 71 – 75%. Средняя годовая скорость ветра 5,2 – 6 м/с. Почва суглинистая, обладает низкой коррозионной активностью, удельное электрическое сопротивление около 40 Ом/м.

В соответствии с картой распределения солнечной радиации по территории России, Самарская область получает в день 3,5 – 4 кВтч/м<sup>2</sup> солнечной энергии, что вполне достаточно для успешного функционирования солнечных батарей в качестве источников электрической энергии. Скорость ветра на территории Самарской области составляет 5,2 – 6м/с, что является недостаточно эффективным для рентабельной работы ветроустановок. Поэтому необходимо в данных условиях устанавливать ветрогенераторы, рассчитанные на работу с низкой скоростью ветра. Такие ветрогенераторы являются достаточно громоздкими и дорогими.

Современные солнечные батареи стоят не слишком дорого. Наиболее совершенные солнечные батареи из монокристаллического кремния в солнечную погоду способны вырабатывать 100 Вт электроэнергии. Их срок службы достигает более 25 лет, а КПД 18-20%. Для того, чтобы солнечные батареи и работали в пасмурную погоду, что в условиях Самарской области не маловажно, необходимо соединить четыре-пять 24 вольтовых батарей последовательно, чтобы выходного напряжения хватало для подзарядки аккумуляторной батареи.

Рассмотренные источники альтернативной энергии имеют свои преимущества и недостатки. Однако в условиях малоэтажного жилого комплекса солнечные батареи обладают несомненным преимуществом: для их размещения не требуется дополнительной площади – предполагается их установка на крышах коттеджей. Кроме того соседние ветроустановки будут

«перебивать» работу друг друга. Обслуживание и ремонт ветровой установки осуществить сложнее, чем солнечной.

Однако использовать солнечные батареи для электроснабжения потребителей как основной источник питания в условиях климата Самарской области является нецелесообразным, так как велик риск перерывов в электроснабжении из-за слишком большого числа пасмурных дней подряд. Самым оптимальным было бы использование солнечных батарей для питания части нагрузки потребителей третьей категории. В перспективе роста величины электрических нагрузок в загородном жилом комплексе использование солнечных батарей позволит покрыть их полностью без увеличения мощности силовых трансформаторов.

Основные рекомендации по установке солнечных батарей на коттеджах:

- панели следует устанавливать почти вертикально на крышах коттеджей, что будет препятствовать их загрязнению и заваливанию снегом (рисунок 3.2);



Рисунок 3.2 – Установка солнечных батарей на крышах коттеджей



- на крышах коттеджей следует развернуть панели по сторонам света: половину повернуть на  $30^{\circ}$  к юго-востоку, а вторую половину – на  $30^{\circ}$  к юго-западу, что позволит растянуть работу на всю продолжительность светового дня (увеличить выработку энергии на 2-3 часа), а также уберечь от заваливания снегом;

- предусмотреть возможность установки солнечных батарей на трекер, для автоматического поворота за солнцем на протяжении светового дня, что позволит обеспечить максимальную выработку энергии, однако установить так солнечные батареи труднее и дороже, и поэтому жители домов должны сами решать какой способ установки солнечных батарей им выбрать

### **3.2 Расчёт параметров солнечной батареи для коттеджа**

На первом этапе в рассмотрим возможность перевода части нагрузок коттеджей на питание солнечных батарей, для каждого коттеджа выбрана мощность 3 кВт, которая позволит обеспечить осветительную и частично силовую нагрузку коттеджа, а в условиях экономии – всю электрическую нагрузку коттеджа площадью  $200 \text{ м}^2$ . На рисунке 3.3 приведены наиболее часто встречающиеся электрические схемы включения солнечной батареи: независимая или автономная и с отдачей выработанную энергию отдают непосредственно в электрическую сеть переменного тока (рисунок 3.3).

Мощность независимых солнечных систем лежит в пределах  $0,01 \dots 100 \text{ кВт}$ . Мощность солнечных систем второго типа достигает нескольких Мвт, и они нашли большее применение, и устанавливаются на крышах и стенах зданий, могут обеспечить электричеством, как само здание, так и за счет выдачи электроэнергии в сеть могут компенсировать энергодефицит при пиковом потреблении энергии в часы максимума нагрузки.



Рисунок 3.3 – Типовая электрическая схема включения солнечной батареи

Основными элементами солнечной батареи являются: солнечные панели, регуляторы отбора максимальной мощности, инверторы, аккумуляторные батареи.

Расчёт параметров солнечной батареи для коттеджа выполняется в следующей последовательности:

1. Определяются расчетная нагрузка и потребляемая электроэнергия коттеджем;
2. Определяется значение необходимой ёмкости аккумуляторных батарей и их количество;
3. Определяется необходимое количество солнечных панелей, исходя из данных по приходу солнечной радиации в месте установки солнечной батареи.

Произведём расчёт параметров солнечной батареи для коттеджа загородного жилого комплекса «Песчаный мыс»:

1. Принимаем расчетную нагрузку переменного тока  $P_{p,пер}=3$  кВт. Количество потреблённой электроэнергии в течение суток  $W_{пер} = 5$  кВт·ч.

Для определения требуемой электроэнергии постоянного тока, умножим получившееся значение энергопотребления нагрузки переменного тока на коэффициент, учитывающий потери в инверторе:

$$W_{пост} = W_{пер} \cdot K_{инв}, \quad (3.1)$$

$$W_{пост} = 5 \cdot 1,1 = 5,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Входное напряжение инвертора принимаем  $U_{инв}=24 \text{ В}$ .

Число ампер – часов в сутки, необходимое для покрытия нагрузки:

$$W_{А\cdot\text{час}} = W_{пост} / U_{инв}, \quad (3.2)$$

$$W_{А\cdot\text{ч}} = 5,5/24 = 0,229 \text{ кА}\cdot\text{ч}.$$

2. К установке принимаем герметичные необслуживаемые литий-феррум-фосфатные АКБ. В регионе число пасмурных дней подряд равно 7. Максимальная емкость АКБ:

$$W_{\max} = W_{А\cdot\text{час}} \cdot m_{пасм}, \quad (3.3)$$

$$W_{\max} = 0,229 \cdot 7 = 1,6 \text{ кА}\cdot\text{час}.$$

Требуемая емкость АКБ с учетом температуры о.с.:

$$W_{\text{треб}} = K_{о.с.} \cdot W_{\max} / 0,6, \quad (3.4)$$

$$W_{\text{треб}} = 1 \cdot 1,6 / 0,6 = 2,67 \text{ кА}\cdot\text{час}.$$

Выбираем литий-феррум-фосфатную аккумуляторную батарею типа АКВ·LIFE-230 ёмкостью  $W_{\text{ном}}=240$  А·ч на номинальное напряжение 12 В производства ООО «МикроАрт» [26]. Преимущества литий-феррум-фосфатных АКБ – малый вес и габариты, большое число циклов заряд/разряд (5000), срок службы 20 лет. Количество параллельно соединённых аккумуляторных батарей:

$$n = W_{\text{треб}} / W_{\text{ном}} , \quad (3.5)$$

$$n = 2,67 / 0,24 = 12.$$

Принимаем последовательное соединение батарей по 2 шт.

3. Для определения необходимого количества солнечных панелей вычислим ток, который должна генерировать солнечная батарея

$$I = W_{\text{А·час}} \cdot K_{\text{ак}} / t_{\text{пик}} , \quad (3.6)$$

$$I = 229 \cdot 1,2 / 6 = 45,8 \text{ А.}$$

Выбираем солнечный модуль ТСМ 220В (24) с максимальным током  $I_{\text{м}} = 7,7$  А на напряжение 24 В производства ООО «Свободная энергия» [27].

Необходимое количество параллельно соединённых модулей составит

$$m = I / I_{\text{м}} = 45,8 / 7,7 = 6.$$

Номинальное напряжение постоянного тока системы и номинальное напряжение модуля совпадают, поэтому последовательно соединённых модулей не требуется.

Выбираем инвертор Simin SIM-3000M TN 1500 с пиковой мощностью 6 кВт, контроллер Steca Solarix PRS 3030 [24].

Рассчитаем себестоимость электроэнергии от солнечной батареи.

Стоимость солнечной панели 500 Вт при условии, что для «усредненной» солнечной панели 1 Вт стоит 1 доллар [23], составляет 32000 руб. В процентном соотношении солнечные панели занимают примерно 60-65% от полной стоимости солнечной батареи, т.е. условная стоимость солнечной батареи с панелью 500 Вт будет составлять

$$32000 / 65 \times 100 = 49230 \text{ руб. или } 32000 / 60 \times 100 = 53333 \text{ руб.}$$

Полная стоимость электроэнергии на выходе солнечной батареи:

$$49230 / 5880 = 8,37 \text{ руб./ кВт}\cdot\text{ч или } 53333 / 5880 = 9,07 \text{ руб./ кВт}\cdot\text{ч,}$$

где 5880 кВт·ч – количество электроэнергии, выработанной солнечной панелью за 20 лет.

Расчеты выполнены при условии, что солнечная батарея работает без аварий 20 лет. Если же учесть дополнительные затраты, например, периодическую очистку панелей, продление гарантии на инверторы, регламентные работы, то себестоимость электрической энергии в солнечных батареях составит примерно 10 руб/ кВт·ч.

#### 4 Выбор ТП 10/0,4 кВ

На территории загородного комплекса устанавливаем:

ТП 1 – торговый центр, сауна/бассейн, поликлиника и аптека

ТП 2 – пост охраны, коттеджи и наружное освещение

ТП 3 – поликлиника, детский сад – начальная школа, парк с кафе,  
насосная станция

ТП 4 – коттеджи и наружное освещение

Место расположения ТП 10/0,4 кВ на плане комплекса выбрано в соответствии с требованиями [4].

В соответствии с требованиями [1] принимаем к установке

ТП 1 - два трансформатора

ТП 2 – один трансформатор

ТП 3 – два трансформатора

ТП 4 – один трансформатор.

Расчетная электрическая нагрузка шин 0,4 кВ трансформаторных подстанций,  $P_{р.л}$ , кВт, определяется по формуле

$$P_p = P_{зд. max} + \sum_1^n k_{yi} P_{,зди} , \quad (4.1)$$

где  $P_{зди}$ , - расчетные нагрузки других зданий, питаемых по линии, кВт;  
 $k_{yi}$  - коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок общественных зданий (помещений) или жилых домов [2].

Расчетная нагрузка ТП 10/0,4 кВ

$$S_p = P_p / \cos \varphi \quad (4.2)$$

Расчетная нагрузка ТП 10/0,4 кВ определена по (4.1) и (4.2) и сведена в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 - Расчетная нагрузка ТП 10/0,4 кВ

№ ТП	$P$ , кВт	$S$ , кВА
ТП 1	311,7	346,3
ТП 2	168	210
ТП 3	24,1	28,3
ТП 4	224	320

Для определения номинальной мощности трансформатора 10/0,4 кВ рассчитывается:

$$S_T = \frac{S_P}{K_3 \times n}, \quad (4.3)$$

где  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;  $n$  – число трансформаторов на ТП.

Выбранные тип и число трансформаторов ТП 10/0,4 кВ загородного комплекса приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Выбранные тип и число трансформаторов ТП 10/0,4 кВ

№ ТП	Тип трансформатора	$n$
ТП 1	ТМГ – 250/10/0,4	2
ТП 2	ТМГ – 250/10/0,4	1
ТП 3	ТМГ – 25/10/0,4	2
ТП 4	ТМГ – 400/10/0,4	1

Выполним проверку выбранных трансформаторов по действительному коэффициенту загрузки:

$$K_3 = \frac{S_P}{S_{T\Sigma}} \quad (4.4)$$

Для ТП 1:

$$K_{31} = 346,3/500 = 0,69.$$

Условие выполняется.

Для ТП 2:

$$K_{32} = 168/250 = 0,67.$$

Условие выполняется.

Для ТП 3:

$$K_{33} = 28,3/50 = 0,57.$$

Условие выполняется.

Для ТП 4:

$$K_{34} = 320/400 = 0,8.$$

Условие выполняется.

Выполним проверку выбранных трансформаторов ТП на допустимую систематическую и аварийную перегрузку из условий [6].

Величину и продолжительность допустимых перегрузок определяют для прямоугольных графиков нагрузки. По суточному графику нагрузки определяем среднюю нагрузку:

$$S_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \Delta t_i}{24},$$

где  $S_i$  – мощность  $i$ -й ступени графика,  $\Delta t_i$  – длительность  $i$ -й ступени.

Коэффициент начальной загрузки:

$$K_z = \frac{1}{S_{cp}} \cdot \sqrt{\frac{S_{n1}^2 \cdot \Delta t_1 + S_{n2}^2 \cdot \Delta t_2 + \dots + S_{nm}^2 \cdot \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}}, \quad (4.5)$$

где  $S_{ni}$  – начальная нагрузка.

Коэффициент перегрузки:

$$K_{II} = \frac{1}{S_{cp}} \cdot \sqrt{\frac{S'_{n1} \cdot \Delta t'_1 + S'_{n2} \cdot \Delta t'_2 + \dots + S'_{nm} \cdot \Delta t'_m}{\Delta t'_1 + \Delta t'_2 + \dots + \Delta t'_m}}, \quad (4.6)$$

где  $S'_{ni}$  – перегрузка,  $\Delta t'_i$  – длительность перегрузки.



Из таблиц [10] находим коэффициенты допустимой систематической и аварийной перегрузки  $K_{\text{доп.с}}$  и  $K_{\text{доп.ав.}}$ , зависящие от коэффициента начальной загрузки, от времени перегрузки, от системы охлаждения трансформатора, от эквивалентной температуры охлаждающей среды.

Систематическая перегрузка трансформатора является допустимой, если выполняется условие:

$$S_n \cdot K_{\text{доп.с}} \geq S_T, \quad (4.7)$$

т.е. трансформатор подвергается систематическим перегрузкам в том случае, если его номинальная мощность меньше максимально возможной нагрузки в нормальном режиме работы трансформатора.

Проверку на допустимую систематическую перегрузку проводить не требуется, т.к. мощность трансформаторов каждой трансформаторной подстанции превосходит величину максимальной нагрузки.

Аварийная перегрузка трансформатора является допустимой, если выполняется условие:

$$S_n \cdot K_{\text{доп.ав.}} \geq S_{T \text{ max}}, \quad (4.8)$$

где  $S_{T \text{ max}}$  – максимальная нагрузка трансформатора в аварийном режиме.

Аварийным считаем режим, при котором происходит отключение одного из трансформаторов двухтрансформаторной подстанции, поэтому проверка на допустимую аварийную перегрузку проводится только для трансформаторных подстанций с числом трансформаторов больше одного. Таким образом, проверке на допустимую аварийную перегрузку подлежат трансформаторы подстанций ТП 1 и ТП 3, графики нагрузок приведены на рисунках 4.1 и 4.2.

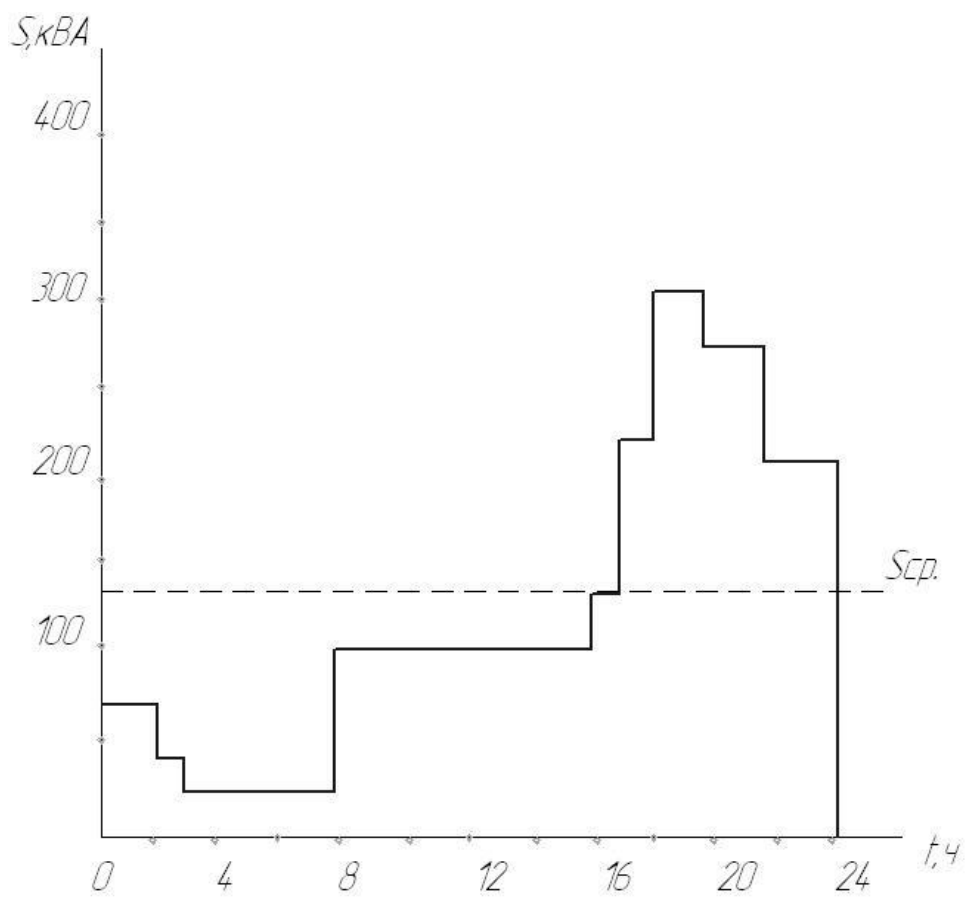


Рисунок 4.1 - Суточный график нагрузки ТП 1

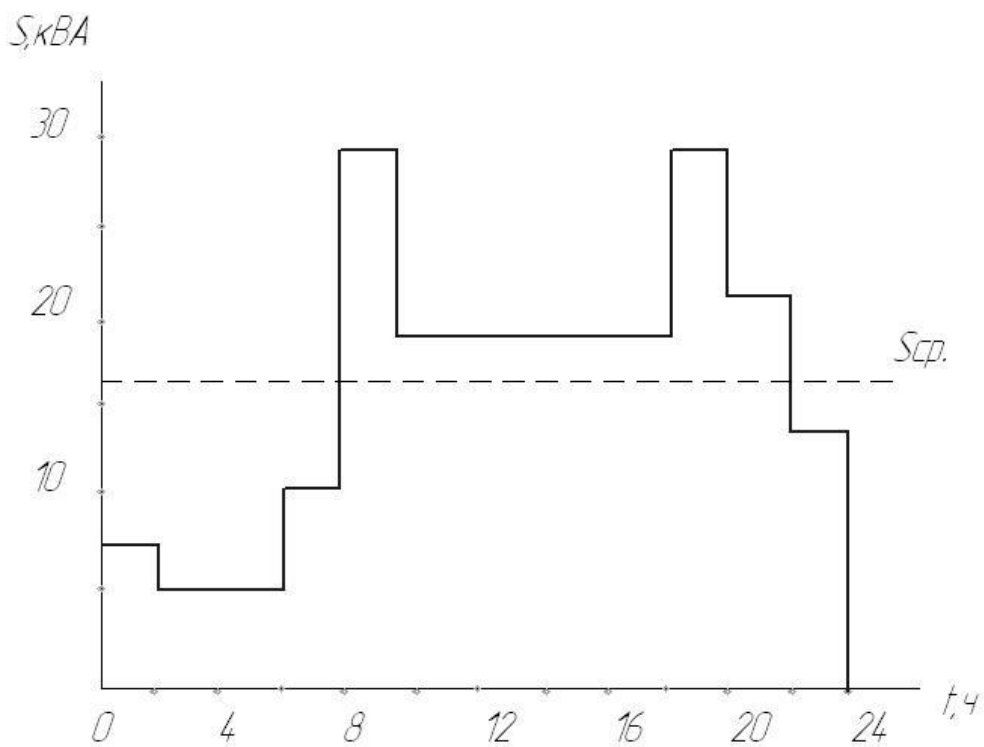


Рисунок 4.2 - Суточный график нагрузки ТП 3

Для ТП 1

$$S_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \Delta t_i}{24} = \frac{73 \cdot 2 + 38 \cdot 1 + 20 \cdot 5 + 100 \cdot 8 + 122 \cdot 1 + 220 \cdot 1 + 346,3 \cdot 2 + 275 \cdot 2 + 216 \cdot 2}{24} = 129,2 \text{кВА}$$

$$K_3 = \frac{1}{S_{ном}} \cdot \sqrt{\frac{S_{n1}^2 \cdot \Delta t_1 + S_{n2}^2 \cdot \Delta t_2 + \dots + S_{nm}^2 \cdot \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}} = \frac{1}{129,2} \cdot \sqrt{\frac{73^2 \cdot 2 + 38^2 \cdot 1 + 20^2 \cdot 5 + 100^2 \cdot 8 + 122^2 \cdot 1}{17}} = 0,62$$

$$K_{II} = \frac{1}{S_{cp}} \cdot \sqrt{\frac{S_{n1}^2 \cdot \Delta t'_1 + S_{n2}^2 \cdot \Delta t'_2 + \dots + S_{nm}^2 \cdot \Delta t'_m}{\Delta t'_1 + \Delta t'_2 + \dots + \Delta t'_m}} = \frac{1}{129,2} \cdot \sqrt{\frac{220^2 \cdot 1 + 346,3^2 \cdot 2 + 275^2 \cdot 2 + 216^2 \cdot 2}{7}} = 2,13$$

$$K_{доп.ав.} = 1,4 [10]$$

$250 \times 1,4 = 350 \geq 346,3$  – условие выполняется.

Для ТП 3

$$S_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \Delta t_i}{24} = \frac{7 \cdot 2 + 5 \cdot 4 + 11 \cdot 2 + 28,3 \cdot 2 + 18 \cdot 8 + 28,3 \cdot 2 + 21 \cdot 2 + 14 \cdot 2}{24} = 16 \text{кВА}$$

$$K_3 = \frac{1}{S_{ном}} \cdot \sqrt{\frac{S_{n1}^2 \cdot \Delta t_1 + S_{n2}^2 \cdot \Delta t_2 + \dots + S_{nm}^2 \cdot \Delta t_m}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_m}} = \frac{1}{16} \cdot \sqrt{\frac{7^2 \cdot 2 + 5^2 \cdot 4 + 11^2 \cdot 2 + 14^2 \cdot 2}{10}} = 0,57$$

$$K_{II} = \frac{1}{S_{cp}} \cdot \sqrt{\frac{S_{n1}^2 \cdot \Delta t'_1 + S_{n2}^2 \cdot \Delta t'_2 + \dots + S_{nm}^2 \cdot \Delta t'_m}{\Delta t'_1 + \Delta t'_2 + \dots + \Delta t'_m}} = \frac{1}{16} \cdot \sqrt{\frac{28,3^2 \cdot 2 + 18^2 \cdot 8 + 28,3^2 \cdot 2 + 21^2 \cdot 2}{14}} = 1,36$$

$$K_{доп.ав.} = 1,4 [10].$$

$25 \times 1,4 = 35 \geq 28,3$  – условие выполняется.

Таким образом, выбранные трансформаторы удовлетворяют условиям допустимой систематической и аварийной перегрузки.

Для электроснабжения загородного жилого комплекса принимаем блочные комплектные трансформаторные подстанции в бетонной оболочке

(БКТПБ) производства ООО «Ивановский электротехнический завод ЭКТА», г. Иваново. БКТПБ серии «ЭКТА», размещаемые в бетонных оболочках, нашли широкое применение для электроснабжения жилищно-коммунальных, общественных и промышленных объектов, а также коттеджных поселков и зон индивидуальной застройки [11,25].

Малая площадь, занимаемая подстанцией, позволяет упростить процедуру отчуждения земель под строительство электротехнических сооружений в Ставропольском районе Самарской области и сэкономить средства, предназначенные для их аренды.

## 5 Выбор схемы распределительной сети 10 кВ загородного комплекса

Распределительная сеть 10 кВ загородного комплекса выполнена кабельными линиями, проложенными в траншее, по кольцевой схеме соединения [6]. План распределительной сети 10 кВ загородного жилого комплекса с длиной и расчетной нагрузкой КЛ 10 кВ приведен на рисунке 5.1. Генплан загородного комплекса с нанесённой распределительной сетью 10 кВ представлен в графической части ВКР. РП 10 кВ устанавливаем на выделенной площадке в удалении от жилой застройки между ТП 1 и ТП 2.

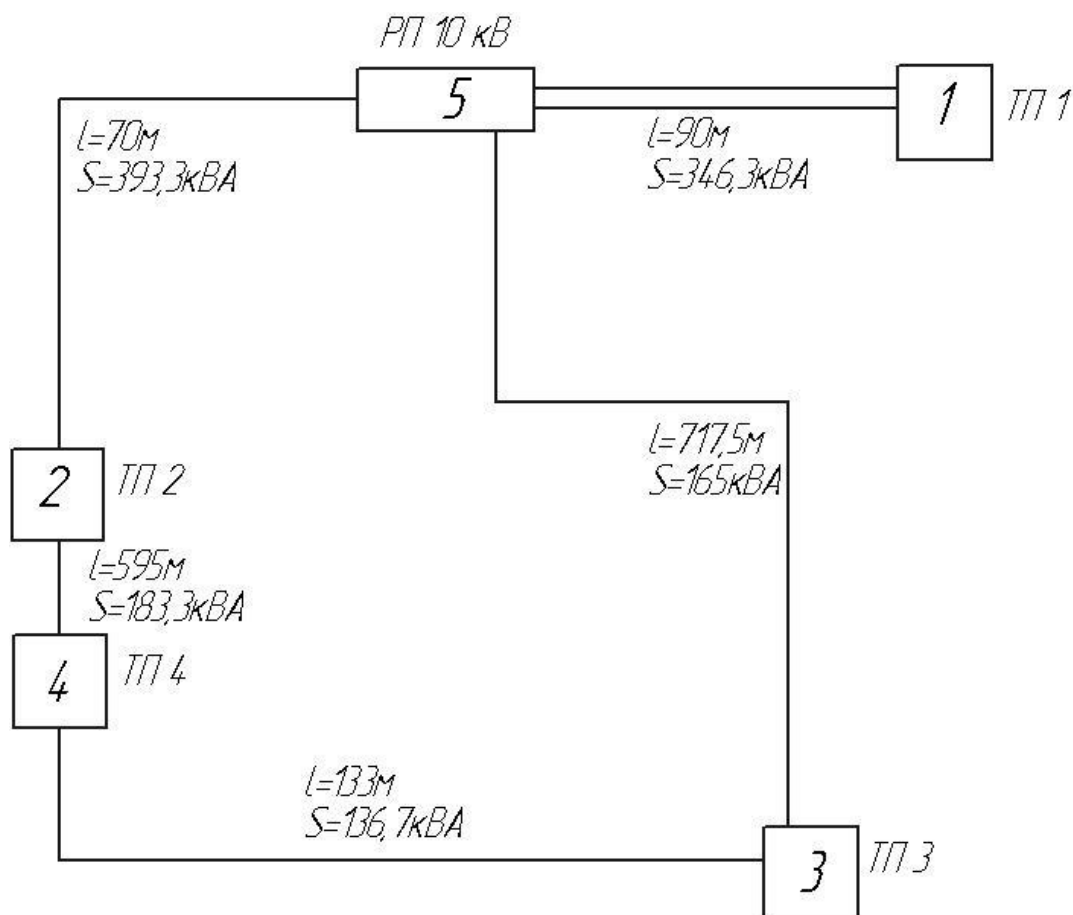


Рисунок 5.1 - Структурная схема распределительных сетей 10 кВ загородного жилого комплекса

## 6 Предварительный расчет сети 10 кВ и 0,4 кВ

### 6.1 Предварительный расчет сети 10 кВ

Внешнее электроснабжение выполнено воздушной линией 10 кВ. Выбор сечения кабелей 10 кВ выполнен по экономической плотности тока в соответствии с требованиями [1,13]:

$$F = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot j_{\text{ЭК}} \cdot U_{\text{н}}}, \quad (6.1)$$

где  $S_p = 904,6$  кВА.

$$F = \frac{904,6}{1,73 \cdot 1,6 \cdot 10} = 32,7 \text{ мм}^2$$

Выбираем 2 провода марки СИП – 3, 1×185мм<sup>2</sup>.

Выбор сечения распределительной сети комплекса - кабельных линий 10 кВ выполнен по экономической плотности тока в соответствии с требованиями [1,13]:

$$F = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot j_{\text{ЭК}} \cdot U_{\text{н}}} \quad (6.2)$$

Определяют допустимый ток кабеля с учётом условий его прокладки:

$$I'_{\text{доп}} = K_{\text{П}} \cdot K_{\text{Т}} \cdot I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р.к}} / n_{\text{К}}, \quad (6.3)$$

где  $I_{\text{р.к}}$  - максимальный расчётный ток кабельной линии, определяется по формуле:

$$I_{P.K.} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_n} \cdot \quad (6.4)$$

Допустимая нагрузка кабеля в послеаварийном режиме, когда нагрузка на кабельную линию удваивается [7]:

$$I'_{ав} = K_{ав} I'_{дон} > \frac{I_{ав}}{n_k}, \quad (6.5)$$

где  $K_{ав}$  – коэффициент перегрузки;  $I_{ав}$  – послеаварийная нагрузка кабеля,  $I_{ав} = 2I_{P.K.}$ .

Потеря напряжения в кабельной линии

$$\Delta U = \frac{P_p R_0 L + Q_p X_0 L}{n_k U_n^2} \cdot 100\% \leq \Delta U_{дон} = 5\% \quad (6.6)$$

Для распределительной сети 10 кВ выбраны кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена типа A2XSEY фирмы «Нексан» [13].

Для распределительной сети 10 кВ (рисунок 5.1)

$$S_{5-2} = \frac{(S_2 \cdot (I_{2-4} + I_{4-3} + I_{3-5}) + S_4 \cdot (I_{4-3} + I_{3-5}) + S_3 \cdot I_{3-5})}{I_{5-2} + I_{2-4} + I_{4-3} + I_{3-5}} =$$

$$= \frac{210(595 + 133 + 717,5) + 320(133 + 717,5) + 28,3 \cdot 717,5}{70 + 595 + 133 + 717,5} = 393,3 \text{ кВА};$$

$$S_{5-2} = \frac{(S_3 \cdot (I_{3-4} + I_{4-2} + I_{2-5}) + S_4 \cdot (I_{4-2} + I_{3-5}) + S_2 \cdot I_{2-5})}{I_{5-2} + I_{2-4} + I_{4-3} + I_{3-5}} =$$

$$= 3 \frac{28(595 + 133 + 70) + 320(595 + 70) + 210 \cdot 70}{70 + 595 + 133 + 717,5} = 165 \text{ кВА},$$

где  $S_{3-4} = S_{5-4} - S_4 = 136,7$  кВА;  $S_{4-2} = S_{3-4} - S_4 = - 183,3$  кВА.

Определяем сечения кабелей для участков сети:

3-5 кабель А2ХСЕУ (3х50),  $\Delta U = 0,7$  %

3-4 кабель А2ХСЕУ (3х50),  $\Delta U = 0,1$  %

2-4 кабель А2ХСЕУ (3х50),  $\Delta U = 0,6$  %

2-5 кабель А2ХСЕУ (3х50),  $\Delta U = 0,1$  %

1-5 кабель А2ХСЕУ (3х50),  $\Delta U = 0,2$  %

Условие (6.6) выполняется, поэтому принимаем кабель А2ХСЕУ (3х50).

## 6.2 Предварительный расчет сети 0,4 кВ

Для распределительной сети 0,4 кВ принята радиально – магистральная схема, выполненная кабелями 0,4 кВ, проложенными в траншеях.

Для сети 0,4 кВ выбраны кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена типа АХМК фирмы «Пирелли» [13].

Выбор и проверка КЛ 0,4 кВ выполняется по условиям (6.3), (6.5) и (6.6).

Выбраны следующие сечения кабелей сети 0,4 кВ жилого комплекса.

Для расчетного участка сети

ТП1-1 выбран кабель АХМК (4х185),  $\Delta U = 1,7$  %;

ТП1- б выбран кабель АХМК (4х70),  $\Delta U = 0,4$  %;

б – 3 выбран кабель АХМК (4х16),  $\Delta U = 1,1$  %;

а – 4 выбран кабель АХМК (4х16),  $\Delta U = 0,15$  %;

б - а выбран кабель АХМК (4х70),  $\Delta U = 0,21$  %;

а – 2 выбран кабель АХМК (4х70),  $\Delta U = 0,7$  %;

ТП 3 – 5 выбран кабель АХМК (4х16),  $\Delta U = 0,5$  %;

ТП 3 – 6 выбран кабель АХМК (4х16),  $\Delta U = 0,17$  %;



ТП 3 - г выбран кабель АХМК (4х16),  $\Delta U = 0,4 \%$ ;  
г – 7 выбран кабель АХМК (4х16),  $\Delta U = 0,6\%$ ;  
г – 8 выбран кабель АХМК (4х16),  $\Delta U = 0,5 \%$ ;  
ТП 2 – 9 кабель АХМК (4х25),  $\Delta U = 0,2 \%$ ;  
ТП 2 - л выбран кабель АХМК (4х35),  $\Delta U = 2,1 \%$ ;  
ТП 2 - в выбран кабель АХМК (4х35),  $\Delta U = 0,4 \%$ ;  
в - к выбран кабель АХМК (4х35),  $\Delta U = 0,6 \%$ ;  
в - и выбран кабель АХМК (4х35),  $\Delta U = 0,4 \%$ ;  
ТП 4 - з выбран кабель АХМК (4х120),  $\Delta U = 0,15 \%$   
ТП 4 - ж выбран кабель АХМК (4х120),  $\Delta U = 0,15 \%$ ;  
ТП 4 - д выбран кабель АХМК (4х35),  $\Delta U = 0,2 \%$ ;  
д - е выбран кабель АХМК (4х120),  $\Delta U = 0,6 \%$ ;  
д – к1 выбран кабель АХМК (4х16),  $\Delta U = 0,8 \%$ .

Все выбранные сечения кабелей условиям выбора (6.3), (6.5) и (6.6) удовлетворяют.

## 7 Расчёт токов короткого замыкания

Расчётным видом короткого замыкания для выбора или проверки параметров электрооборудования электрической сети жилого комплекса принято трёхфазное КЗ в соответствии с рекомендациями [10,11,12,14].

Схема замещения для расчета токов КЗ на стороне 10 кВ приведена на рисунке 7.1.

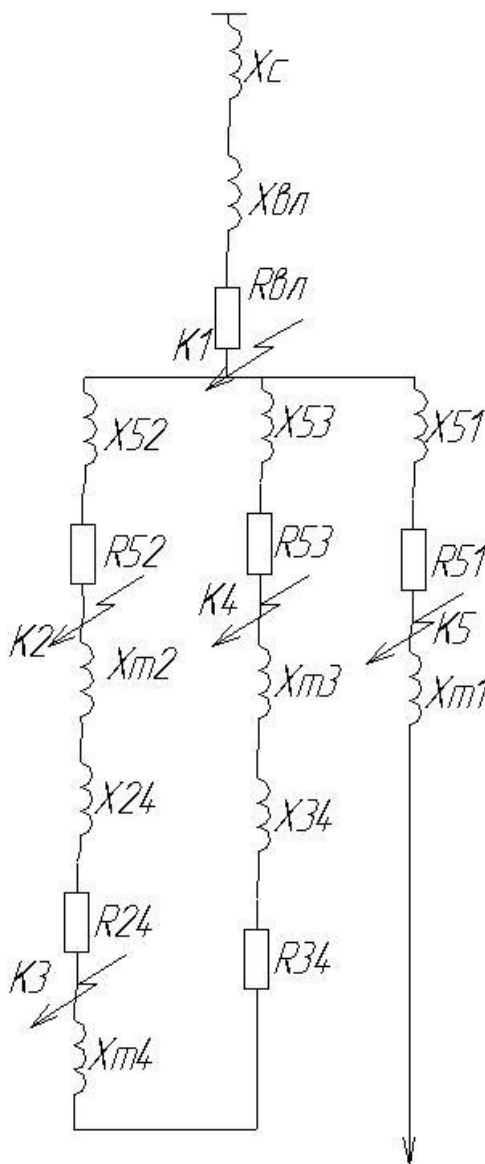


Рисунок 7.1 - Схема замещения для расчёта токов КЗ на стороне 10 кВ

Исходные данные и расчет сопротивлений для рисунка 7.1:

$$S_6 = 100 \text{ МВА}, S_{K3} = 500 \text{ МВА};$$

$$X_c = \frac{S_{\delta}}{S_{K3}}; \quad (7.1)$$

$$X_c = \frac{100}{500} = 0,2;$$

$$X_n = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_n^2}; \quad R_n = R_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\delta}}{U_n^2} \quad (7.2)$$

$$X_{Bn} = 0,37 \cdot 15 \cdot 100 / 10,5^2 = 5,03;$$

$$R_{Bn} = 0,18 \cdot 15 \cdot 100 / 10,5^2 = 2,47;$$

$$X_{5-2} = 0,009 \cdot 0,07 \cdot 100 / 10,5^2 = 6 \cdot 10^{-4};$$

$$R_{5-2} = 0,62 \cdot 0,07 \cdot 100 / 10,5^2 = 3,9 \cdot 10^{-4};$$

$$X_{2-4} = 0,009 \cdot 0,095 \cdot 100 / 10,5^2 = 0,49 \cdot 10^{-4};$$

$$R_{2-4} = 0,62 \cdot 0,595 \cdot 100 / 10,5^2 = 0,33;$$

$$X_{3-4} = 0,009 \cdot 0,133 \cdot 100 / 10,5^2 = 0,11 \cdot 10^{-4};$$

$$R_{3-4} = 0,62 \cdot 0,133 \cdot 100 / 10,5^2 = 0,07;$$

$$X_{5-3} = 0,009 \cdot 0,718 \cdot 100 / 10,5^2 = 0,59 \cdot 10^{-4};$$

$$R_{5-3} = 0,62 \cdot 0,718 \cdot 100 / 10,5^2 = 0,40;$$

$$X_{5-1} = 0,5 \cdot 0,009 \cdot 0,09 \cdot 100 / 10,5^2 = 3,7 \cdot 10^{-4};$$

$$R_{5-1} = 0,5 \cdot 0,62 \cdot 0,09 \cdot 100 / 10,5^2 = 0,02;$$

$$X_T = \frac{u_{\kappa}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_n}; \quad (7.3)$$

$$X_{T1} = \frac{1,45}{2100} \cdot \frac{100}{0,25} = 9$$

$$X_{T2} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{100}{0,25} = 18$$

$$X_3 = \frac{1,45}{2100} \cdot \frac{100}{0,025} = 90$$

$$X_{T4} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{100}{0,4} = 11$$

Расчёт КЗ в точке К1

Схема замещения представлена на рисунке 7.2.

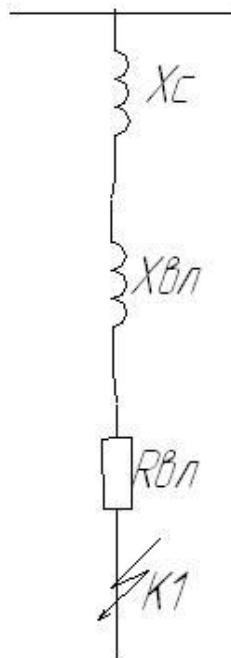


Рисунок 7.2 - Схема замещения для КЗ для расчета КЗ в точке К1

$$I_{\kappa 1}^* = \frac{1}{Z_{\Sigma}} \cdot$$

$$I_{\kappa 1}^* = \frac{1}{\sqrt{(0,2 + 5,03)^2 + 2,47^2}} \cdot = 0,173,$$

$$I_{\kappa 1} = I_{\kappa 1} \cdot \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}$$

$$I_{\kappa 1} = 0,173 \cdot \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,951 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_{y\delta}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)} \cdot K_{y\delta}$$

где  $K_{y\delta} = 1,4$ .

$$i_{y\delta}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 0,951 \cdot 1,4 = 1,883 \text{ кА}$$

Расчёт КЗ в точке К2

$$I_{\kappa 2}^* = 0,172,$$

$$I_{\kappa 2} = 0,946 \text{ кА},$$

$$i_{y\delta 2}^{(3)} = 1,872 \text{ кА}.$$

Расчёт КЗ в точке К3

$$I_{\kappa 3}^* = 0,043.$$

$$I_{к3} = 0,235 \text{ кА} ,$$

$$i_{y\theta 3}^{(3)} = 0,4562 \text{ кА} .$$

Расчет КЗ в точке К4

$$I_{к4}^* = 0,168,$$

$$I_{к4} = 0,921 \text{ кА} ,$$

$$i_{y\theta 4}^{(3)} = 1,822 \text{ кА} .$$

Расчёт КЗ в точке К5

$$I_{к5}^* = 0,173,$$

$$I_{к5} = 0,949 \text{ кА} ,$$

$$i_{y\theta 5}^{(3)} = 1,879 \text{ кА} .$$

Схема замещения для расчёта КЗ на стороне 0,4 кВ представлена на рисунке 7.3.

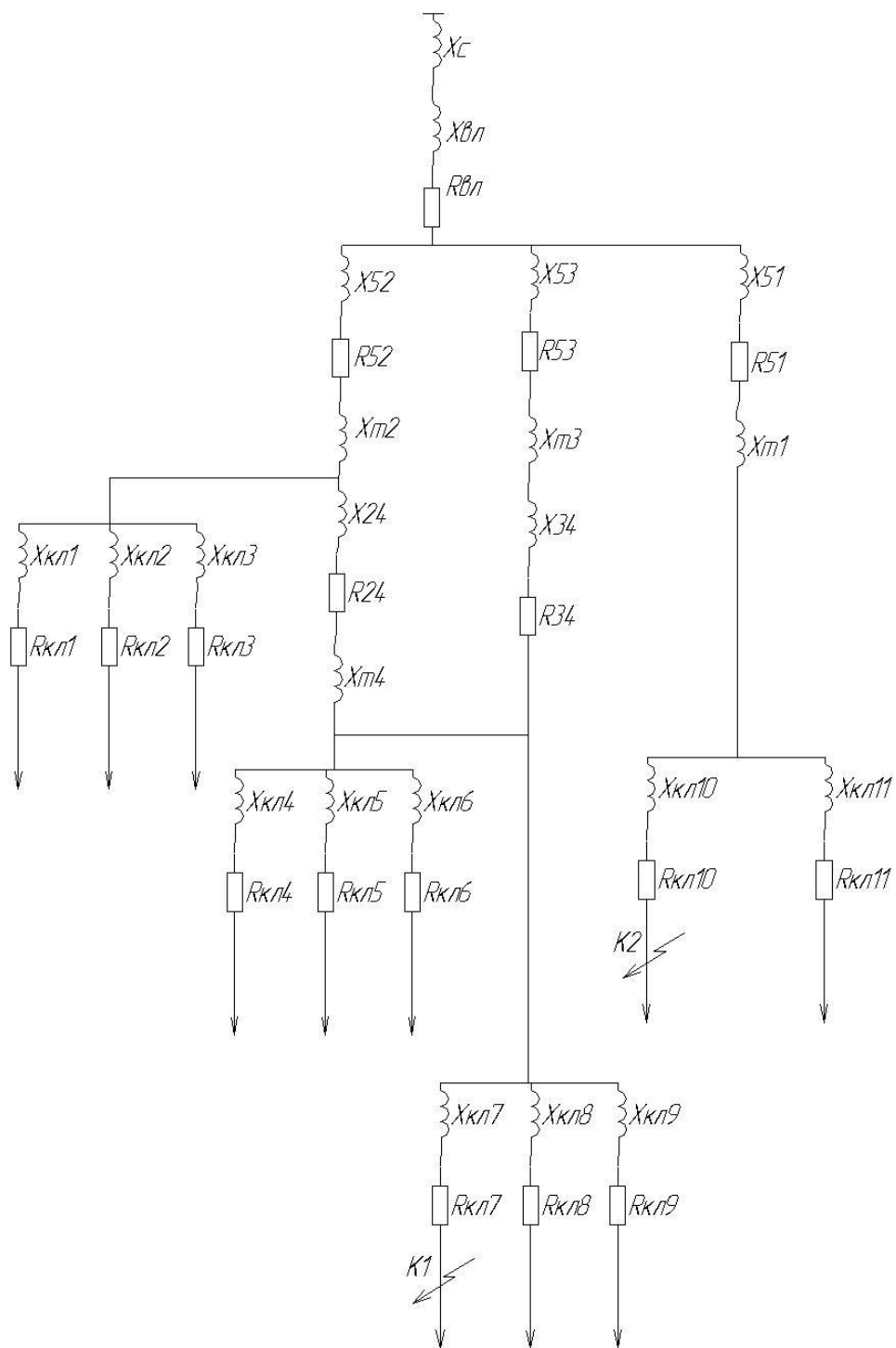


Рисунок 7.3 - Схема замещения для расчёта КЗ на стороне 0,4 кВ

Расчетные значения токов КЗ сведены в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Расчетные значения токов КЗ

Вид КЗ	Расчетная точка КЗ	Напряжение, кВ	Ударный коэффициент	Трехфазный ток КЗ, кА	Ударный ток КЗ, кА
Металл.	К1	0,4	1,4	0,0024	0,0048
	К2	0,4	1,4	0,016	0,032



## 8 Выбор электрооборудования 10 кВ и 0,4 кВ электрической сети загородного комплекса

### 8.1 Выбор электрооборудования ТП 10/0,4 кВ

В состав БКТПБ серии «ЭКТА» (производитель ООО «Ивановский электротехнический завод ЭКТА») входят (рисунок 8.1) [25]:

- РУ высокого напряжения (РУВН),
- низковольтное РУ (РУНН),
- блок силового трансформатора (трансформаторов),
- шкаф управления уличным освещением.

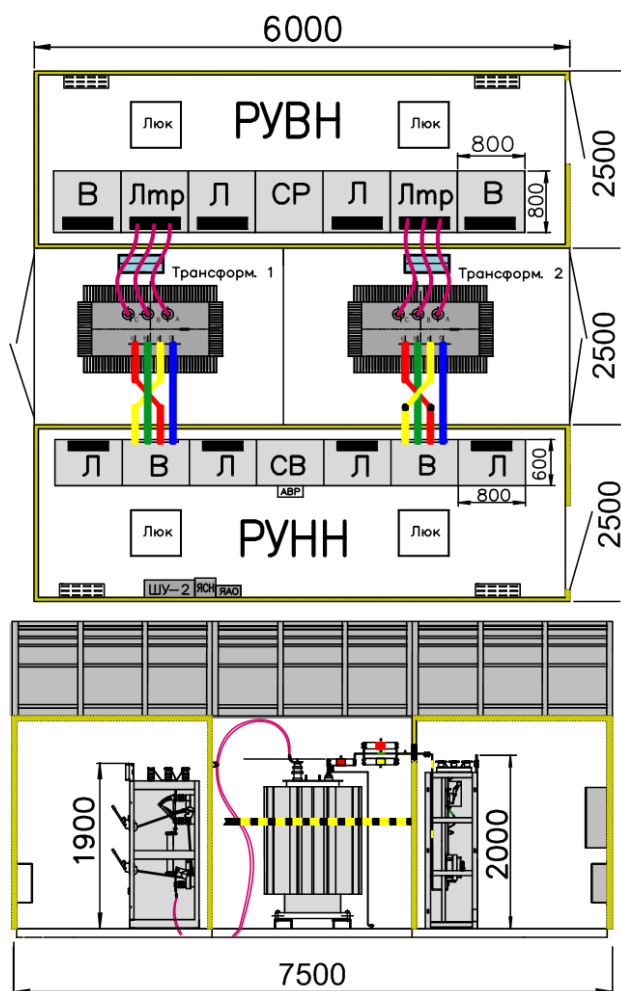


Рисунок 8.1 – Комплектация БКТПБ серии «ЭКТА»

В качестве РУВН на стороне высокого напряжения используются модульные ячейки с воздушной изоляцией серии КСО. Конструктивно каждый шкаф разделён на два отсека: отсек сборных шин и отсек присоединений. В качестве коммутационных аппаратов в ячейке применяются автогазовые выключатели нагрузки. Защита трансформаторов осуществляется комбинированной установкой плавких предохранителей и выключателей нагрузки [15].

В качестве РУНН на стороне низкого напряжения применяются панели распределительных щитов типа ЩО-70(90). РУНН представляет собой малогабаритное модульное распределительное устройство, состоящее из независимых блоков: шкафа ввода, шкафа отходящих линий. В качестве коммутационных и защитных аппаратов применяются автоматические выключатели.

Соединение РУВН и РУНН с трансформатором осуществляется одножильными кабелями сечением 70 мм<sup>2</sup> с изоляцией из сшитого полиэтилена с оболочкой, не распространяющей горение

Проверка оборудования будет включать в себя проверку плавких предохранителей, и выключателей нагрузки.

В РУВН применяются плавкие предохранители серии ETI VV Thermo производителя ETI и выключатель нагрузки серии AM/GTR 2.

Выбор плавких предохранителей ТП приведен в таблице 8.1 [11].

Таблица 8.1 - Выбор плавких предохранителей 10 кВ

Наименование ТП	ПК		Расчётное значение	
	$I_{н.пл.вст.}, А$	$I_{отк.}, кА$	$I_{н.тр.}, А$	$I_{кз}, кА$
ТП 1	100	20	20	0,946
ТП 2	100	20	13	0,235
ТП 3	100	20	2	0,920
ТП 4	100	20	19	0,949

Выбор выключателей нагрузки приведен в таблице 8.2 [11].

Таблица 8.2 - Выбор выключателей нагрузки 10 кВ

Наименование ТП	ВН		Расчётное значение	
	$I_{в.ном.}, А$	$I_{отк.}, кА$	$I_{н.тр.}, А$	$I_{кз}, кА$
ТП 1	100	20	20	0,946
ТП 2	100	20	13	0,235
ТП 3	100	20	2	0,920
ТП 4	100	20	19	0,949

К установке принимаем плавкие предохранители серии ETI VV Thermo и выключатель нагрузки серии AM/GTR 2.

## 8.2 Выбор электрооборудования РП 10 кВ

Проверка электрооборудования РП 10 кВ включает в себя проверку вакуумных выключателей и проверку трансформаторов напряжения [1,12].

Проверка вакуумного выключателя выполняется по условиям [12]

- на симметричный ток отключения:

$$I_{откл.ном.} \geq I_{пт.} \quad (8.1)$$

- на отключение апериодической составляющей тока КЗ:

$$i_{а,ном.} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном.} \cdot I_{ном.откл.} \geq i_{а,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{н,о} \cdot e^{-\tau/T_a}, \quad (8.2)$$

- по предельному сквозному току КЗ:

$$I_{пр.с.} \geq I_{п.о.}, \quad (8.3)$$

$$i_{пр.с} = \sqrt{2} \cdot I_{пр.с} \geq i_{уд}, \quad (8.4)$$

- по тепловому импульсу – на термическую стойкость:

$$I^2 \cdot t_T^2 \geq B_k = I_{н.о}^2 (t_{откл} + T_a) . \quad (8.5)$$

В РП 10 кВ устанавливаем вакуумные выключатели ВВ/TEL производства «Самара Элеткроцит» [9]. Выбор выключателей ВВ/TEL-10-12,5/1000У2 для РП 10 кВ приведен в таблице 8.3.

Таблица 8.3 - Выбор вакуумных выключателей РП 10 кВ

Наименование величины	Расчетные данные	Каталожн. данные	Единица измер.
Номинальный ток отключения	0,951	12,5	кА
На отключение апериодической составляющей тока к.з.	0,750	21,2	кА
Динамическая стойкость	1,883	12,5	кА
Термическая стойкость	0,289	31,25	кА·с <sup>2</sup>

Условия (8.1) – (8.5) выполняются, выбираем выключатели ВВ/TEL-10-12,5/1000У2.

В РП 10 кВ устанавливаем трансформаторы напряжения UMZ 17.

Проверка трансформаторов напряжения выполняется по вторичной нагрузке:

$$S_2 \leq S_{2ном}, \quad (8.6)$$

где  $S_2$  – нагрузка всех измерительных приборов, присоединенных к трансформатору напряжения.

На РП 10 кВ установлены следующие приборы:

- вольтметр,
- вольтметр фазный,
- счётчики активной и реактивной энергии.

Данные приборов трансформаторов напряжения РП 10 кВ приведены в таблице 8.4.

Таблица 8.4 - Данные приборов трансформаторов напряжения РП 10 кВ

Наименование прибора	Тип прибора	Число приборов	Р, Вт	Q, вар	S, кВА
Вольтметр	ЦВ9257	2	8		
Счётчик активной и реактивной энергии	ЦЭ6803 В	1	1,9	4	
Итого			9,9	4	10,7

Допустимая вторичная нагрузка трансформаторов напряжения UMZ 17 составляет 45 ВА, условие (8.6) выполняется.

### 8.3 Проверка КЛ 10 кВ на термическую стойкость токам КЗ

В соответствии с требованиями [1] проверке воздействию токам КЗ подвергаются только кабели на 10 кВ. Термически стойкое к токам КЗ сечение определяют по формуле:

$$S_T = \frac{I_K \cdot \sqrt{t_n}}{k_t} \quad (8.7)$$

где  $t_n$  – приведённое время КЗ;  $k_t$  – температурный коэффициент, учитывающий ограничение допустимой температуры нагрева жил кабеля [13].

Для кабелей 10 кВ принимаем  $t_n=0,15$ с,  $k_t = 65 \text{ Ас}^{0,5} / \text{мм}^2$ .

Расчет термических сечений КЛ 10 кВ сведен в таблице 8.5.

Таблица 8.5- Расчет термических сечений КЛ 10 кВ

№ участка	$S_T, \text{мм}^2$	$S_{\text{КЛ}}, \text{мм}^2$
2-5	5,57	50
2-4	5,63	50
3-4	5,48	50

Условие (8.7) выполняется.

## 9 Выбор устройств защиты и автоматики

На РП 10 кВ с учетом требований [1,10,14] применяются следующие устройства защиты и автоматики:

- максимальная токовая защита секционного выключателя;
- максимальная токовая защита вводных выключателей;
- максимальная токовая защита отходящих кабельных линий;
- автоматическое включение резерва (АВР) на секционном выключателе.

На ТП 10/0,4 кВ загородного комплекса в качестве защитных аппаратов на стороне выше 1 кВ применяются плавкие предохранители, на стороне до 1 кВ – автоматические выключатели.

Релейная защита и автоматика электрической сети 10 кВ выполнена на базе микропроцессорной защиты Sepam производителя «Schneider Electric» [11]. Для защиты РП 10 кВ к установке приняты устройства с функцией измерения тока Sepam серии 20 с усовершенствованным УМІ (рисунок 9.1), который облегчает управление и выполнения настроек.



Рисунок 9.1 - Sepam серии 20 с усовершенствованным УМІ с дисплеем и русским интерфейсом

Sepam серии 20 с усовершенствованным УМІ обеспечивает:

- защиту вводов и отходящих линий ТП 10/0,4 кВ от межфазных коротких замыканий и замыканий на землю;

- регулируемое время удержания для выявления периодически повторяющихся повреждений;

- переключение групп уставок для адаптации к изменениям конфигурации сети;

- защиту воздушной линии 10 кВ с функцией АПВ;

- защиту трансформаторов ТП 10/0,4 кВ от перегрузок с тепловой защитой по действующему значению тока с учетом гармоник, с 2 группами уставок и учетом режима вентиляции и внешней температуры окружающей среды.

Устройства Seram серии 20 с усовершенствованным УМИ, основанные на измерении напряжения, типа В21 и В22, адаптированы к следующим видам применения:

- контроль по напряжению и частоте сети;

- обнаружение потери питания в сети с помощью функции защиты по скорости изменения частоты на установках, имеющих генератор, работающий в параллель с сетью.

С помощью усовершенствованного интерфейса «человек-машина» (УМИ) все операции по настройке устройства выполняются очень просто благодаря возможности ясного и четкого представления всей необходимой информации на языке пользователя.

Для адаптации к наибольшему количеству возможных применений, а также для последующей модернизации установки к Seram можно добавлять различные модули (модуль логических входов/выходов с параметрируемой логикой управления, модуль связи, модуль температурных датчиков и др.), которые устанавливаются в любой момент в соответствии с запросами заказчика (рисунок 9.2).





Рисунок 9.2 – Расширение функций Seram серии 20

Помимо функции защиты, устройства Seram серии 20 выполняют следующие действия: измеряют параметры электрической сети, управляют электрооборудованием, выполняют диагностику сети и самодиагностику, осциллографируют аварийные процессы и т.д.

## 10 Расчет заземления ТП 10/0,4 кВ

Защитное заземление ТП 10/0,4 кВ загородного жилого комплекса выполняется в соответствии с требованиями [1].

Приведен пример расчета выполнен для ТП 1. Расчет заземления остальных ТП 10/0,4 кВ загородного жилого комплекса выполняется аналогично.

Исходные данные для ТП 1 приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1 – Исходные данные

Наименование данного	Значения
Длина и диаметр стержней для вертикального заземлителя	$l = 2 \text{ м}, d = 16 \text{ мм}$
Расстояние между стержнями	$a = 10 \text{ м}$
Сопротивление заземлителя [1]	$R_3 = 4 \text{ Ом}$
Размеры горизонтального заземлителя	40 x 4 мм
Глубина заложения горизонтальной полосы	$h = 0,7 \text{ м}$
Периметр ТП	4 м
Удельное сопротивление грунта (почва суглинок)	$\rho_{p.g} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м};$ $\rho_{p.e} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом}\cdot\text{м}$

Расчет по методике [1] приведен в таблице 10.2.

Таблица 10.2 – Расчет заземления ТП 1

Расчетный показатель	Значение
$R_{o.g.z.} = \frac{\rho_{p.g}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l}{4 \cdot t - l} \right)$	69,53 Ом
$N = \frac{R_{o.g.z.}}{K_{u.g.} \cdot R_3}$	27 шт.

Продолжение таблицы 10.2

Расчетный показатель	Значение
$R_{p.z.э.} = \frac{\rho_{p.z.}}{K_{u.z.} \cdot 2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t}$	26,17 Ом
$R_{в.э.} = \frac{R_{p.z.э.} \cdot R_3}{R_{p.z.э.} - R_3}$	4,72 Ом
$N = \frac{R_{о.в.э.}}{k_{и.верт.} \cdot R_{в.э.}}$	25
$R_{г.э.} = \frac{R_{о.в.э.}}{k_{и.верт.} \cdot N}$	4,56 Ом
$R_{общ.} = \frac{R_{в.э.} \cdot R_{г.э.}}{R_{в.э.} + R_{г.э.}}$	3,88 Ом

Полученное общее сопротивление заземлителей меньше 4 Ом, т.е. рассчитанный заземлитель удовлетворяет требованиям ПУЭ [1].

## Заключение

В ВКР рассмотрены особенности применения солнечных батарей при проектировании электрооборудования и электрохозяйства загородного малоэтажного жилого комплекса «Песчаный мыс» Ставропольского района Самарской области. Применение солнечных батарей позволит разгрузить ТП 10/0,4 кВ и в будущем, при неизбежном росте нагрузок потребителей в жилом комплексе, обойтись без увеличения мощности трансформаторов подстанций. Солнечные батареи так же могут быть использованы как резервный источник питания для электроприёмников первой и второй категории при возникновении аварий во внешней сети. Обосновано применение солнечных батарей для электроснабжения жилого поселка с учетом климата Самарской области. Разработаны основные рекомендации по установке солнечных батарей на коттеджах. Планируется, что часть капитальных затрат на альтернативный источник энергии оплачивается потребителем (покупка и установка солнечных батарей), а часть организацией – владельцем электросетевого хозяйства. Себестоимость электроэнергии от солнечных батарей в несколько раз превышает себестоимость от внешней электросети. Поэтому решающее слово устанавливать солнечные батареи или нет, остаётся за потребителем.

В работе также выбрано электрооборудование и электрические проводники 10 кВ и 0,4 кВ для схемы электроснабжения поселка от РП-10, которая в свою очередь запитана от ПС 110/35/10 «Лопатино» ПАО «МРСК Волги» - Самарские распределительные сети». Рассмотрены вопросы релейной защиты и автоматики ТП 10/0,4 кВ, а также рассчитано защитное заземление ТП 10/0,4 кВ.

## Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. – СПб. : Энергоатомиздат, 2009.
2. Инструкция по проектированию городских электрических сетей [Текст] : РД 34.20.185 – 94: утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 13.04.01 : ввод. в действие с 01.01.95. – М. : ЭНАС, 2001.
3. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. – М.: Изд-во Минстроя России, 2011.
4. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.– М.: Изд-во Минстроя России, 2011.
5. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г.М. Кнорринг. – М. : Госэнергоиздат, 2013.
6. Шведов, Г.В. Электроснабжение городов: электропотребление, расчетные нагрузки, распределительные сети / Г.В. Шведов. – М.: Изд-во МЭИ, 2012.
7. Киреева, Э.А. Полный справочник по электрооборудованию и электроснабжению (с примерами расчетов) / Э.А. Киреева, С.Н. Шерстнев; под общ. ред. С.Н. Шерстнева. – 3-е изд. – М.: КНОРУС, 2017.
8. Конюхова, Е.А. Электроснабжение : учебник для вузов / Е.А. Конюхова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014.
9. Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций/Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 2014.
10. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы/ Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. – М. : Изд. дом МЭИ, 2013.
11. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / под ред. С.И. Гамазина, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. - М. : Изд. дом МЭИ, 2013.

12. Короткие замыкания и выбор электрооборудования : учебное пособие для вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев и др.; под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. – М. : Изд. дом МЭИ, 2012.
13. Алиев, И.И. Кабельные изделия / И.И. Алиев. – М : ИП РадиоСофт, 2013.
14. Шведов, Г.В. Городские электрические распределительные сети / Г.В. Шведов. – М.: Изд. дом МЭИ, 2013.
15. Электроснабжение промышленных предприятий и установок : учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин, В.А. Яцков. – 3-е изд. – М.: ФОРМУС; ИНФРА-М, 2015
16. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России / П.П. Безруких. – СПб. : Наука, 2014.
17. Alternative Energy Sources [Электронный ресурс]. – <http://www.conserve-energy-future.com/alternativeenergysources.php> (10.04.2017).
18. Garvin, D.J. Solar energy project for even Genius / D.J. Garvin. – New York: The McGraw Companies, 2007.
19. Expertise for powerful solar energy. Solutions and integrated key components for concentrating solar power. – SIEMENS, 2009.
20. Renewable Energy Projects Handbook. Copyright 2004 World Energy Council. - London W1B 5LT United Kingdom [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.worldenergy.org> (10.04.2017).
21. Pew Center on Global climate Change, Smith, Douglas W., Nordhaus, Robert R., Roberts, Thomas C., Fidler S., Anderson J., Danish K., Agnew R. & Chupka M., Designing a Climate-Friendly Energy Policy: Options for the Near Term, 2002 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pewclimate.org> (10.04.2017).
22. US Solar Power Growth through 2040 Exponential or inconsequential? - Deloitte Development LLC. All rights reserved. Member of Deloitte Touche

Tohatsu Limited, September 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pewclimate.org> (10.04.2017).

23. Ваш солнечный дом – системы электроснабжения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solarhome.ru> (17.05.2017).

24. Экологически чистые технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.solbat.ru> (17.05.2017).

25. Каталог продукции ООО «Ивановский электротехнический завод ЭКТА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ekta-electric.ru/files/katalog.pdf> (17.05.2017).

26. Официальный сайт ООО «МикроАрт» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microart.ru> (17.05.2017).

27. Каталог продукции ООО «Свободная энергия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://solarempire.ru/oborudovanie.html> (17.05.2017).