

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)

Энергосбережение и энергоаудит

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Повышение энергетической эффективности многоквартирного жилого дома

Обучающийся

Д.К. Шильцов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Консультант

М.В. Дайнеко

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

Тольятти 2023

## Аннотация

Представлены результаты выполнения выпускной квалификационной работы, направленной на разработку мероприятий, обеспечивающих повышение энергетической эффективности многоквартирного жилого дома. Определено месторасположения объекта ВКР и представлены его характеристики. Определены электрические нагрузки с учетом систем освещения. При выборе оборудования уделено особое внимание эффективности использования электрической энергии и снижению потерь электрической энергии. Выполнен выбор трансформаторов питающей ТП с учетом оптимального коэффициента загрузки, определяющего долгосрочную работу и минимум потерь электрической энергии. Приняты к установке два трансформатора марки ТС-1250/6/0,4. Выполнен расчет токов короткого замыкания на вводе ВРУ№2, а также на удаленном электроприемнике – лифтовой установки подъезда №4. Представлена методика выбора кабельных линий по длительно допустимому току. По представленной методике выполнен выбор сечения кабелей для питания ВРУ объекта.

Пояснительная записка выполнена на 55 листах, содержит 8 рисунков и 11 таблиц. Графическая часть выполнена на 6 листах формата А1.

## **Abstract**

The results of the bachelor work, aimed at developing measures to improve the energy efficiency of a multi-apartment residential building, are presented. The location of the WRC object is determined and its characteristics are presented. Electrical loads are determined taking into account lighting systems. When choosing equipment, special attention was paid to the efficiency of the use of electrical energy and the reduction of electrical energy losses. The selection of transformers for the supply transformer substations was made, taking into account the optimal load factor, which determines long-term operation and a minimum of electrical energy losses. Accepted for installation are two transformers of the brand TS-1250/6/0.4. The calculation of short-circuit currents at the input of ASU No. 2, as well as at a remote power receiver - an elevator installation of entrance No. 4, was carried out. A technique for selecting cable lines for long-term permissible current is presented. According to the presented method, the selection of the cable section for powering the ASU of the facility was made.

The explanatory note is made on 55 sheets, contains 7 figures and 10 tables. The graphic part is made on 6 sheets of A1 format.

## Содержание

Введение.....	5
1 Описание объекта.....	7
2 Определение направлений повышения энергетической эффективности объекта.....	10
3 Электрические нагрузки.....	12
3.1 Мощность системы наружного освещения.....	13
3.2 Расчет электрических нагрузок объекта.....	21
4 Трансформаторы питающей подстанции .....	30
5 Расчет токов короткого замыкания .....	35
6 Основные технические решения по электрооборудованию объекта .....	42
6.1 Силовые кабели .....	42
6.2 Описание кабелей, применяемых на объекте .....	44
6.3 Выбор и проверка аппаратов защиты .....	45
6.4 Электроснабжение квартиры .....	46
Заключение .....	49
Список используемых источников.....	53

## Введение

Современный этап развития общества может быть охарактеризован стремительным ростом повсеместного внедрения информационных и коммуникационных технологий, увеличением объемов информационных данных, а также стремительным развитием и внедрением на практике современных высоких технологий [1], [18]. Данный этап характеризуется также и возросшим электропотреблением.

Несмотря на то, что повсеместно появляются и внедряются на практике современные виды высокотехнологического оборудования, в том числе и электрооборудования наблюдается устойчивый тренд роста электропотребления. Этот рост может быть описан с той точки зрения, что не смотря на совершенствование электрооборудования его число постоянно растет и этот рост будет продолжаться и в будущем. Поэтому особое внимание должно быть уделено именно эффективному расходованию и эффективному управлению электропотреблением для повышения уровня развития энергосбережения в России.

Рассматривая в качестве объекта выпускной квалификационной работы (ВКР) многоквартирный многоподъездный жилой дом (ММЖД), а в качестве предмета исследования систему электроснабжения ММЖД, предлагается повысить ее энергетическую эффективность за счет внедрения современного оборудования, а также алгоритмов управления этим электрооборудованием [18].

Исходя из выше сказанного определим цель ВКР как повышение энергетической эффективности многоквартирного многоподъездного жилого дома за счет модернизации системы электроснабжения.

Для достижения поставленной цели, в рамках выполнения выпускной квалификационной работы, будут решены следующие задачи:

- проанализирована система электроснабжения ММЖД с определением перечня мероприятий по повышению энергетической эффективности;
- проанализированы мероприятия, преимущественно технические, способные максимально повысить энергетическую эффективность ММЖД;
- разработан проект внедрения данных мероприятий в системе электроснабжения ММЖД.

Следует отметить, что в работе предлагается рассматривать преимущественно технические мероприятия, так как только данный вид мероприятий позволяет существенно и долгосрочно обеспечить высокую энергетическую эффективность любого объекта, в том числе и ММЖД.

При определении мероприятий по повышению энергетической эффективности предлагается существенное внимание уделить вопросам управления потреблением электрической энергии в ММЖД, а также снижению затрат на общедомовые нужды.

Для реализации предлагаемых мероприятий необходимо использовать отечественное оборудование, как для систем управления электроснабжением, так и для системы электроснабжения в целом. Этот факт является определяющим, так как глубокий анализ производимого электрооборудования на территории России позволит определить направления дальнейшего развития электротехнической промышленности.

Использование иностранного оборудования при выполнении задач выпускной квалификационной работы возможно только при глубоком обосновании необходимости данного решения и его высоком влиянии на общий показатель энергоэффективности объекта выпускной квалификационной работы.

Для оценки показателей энергетической эффективности необходимо использовать современные действующие нормативно-правовые, технические и законодательные акты.

## 1 Описание объекта

Объект ВКР – это многоквартирный многоподъездный жилой дом (ММЖД). Конфигурация ММЖД – поворотная. Использование поворотной конфигурации позволяет образовать закрытую внутри дворовую территорию. Объект ВКР имеет 4 подъезда, каждый из подъездов снабжен лифтовой установкой. Высота каждой жилой секции 9 этажей и один технологический этаж (этаж 10).

Объект выпускной квалификационной работы расположен в городе Тольятти, микрорайон Шлюзовой. План расположения объекта ВКР на части плана микрорайона показана на рисунке 1. Дата постройки ММЖД – 2014 год.

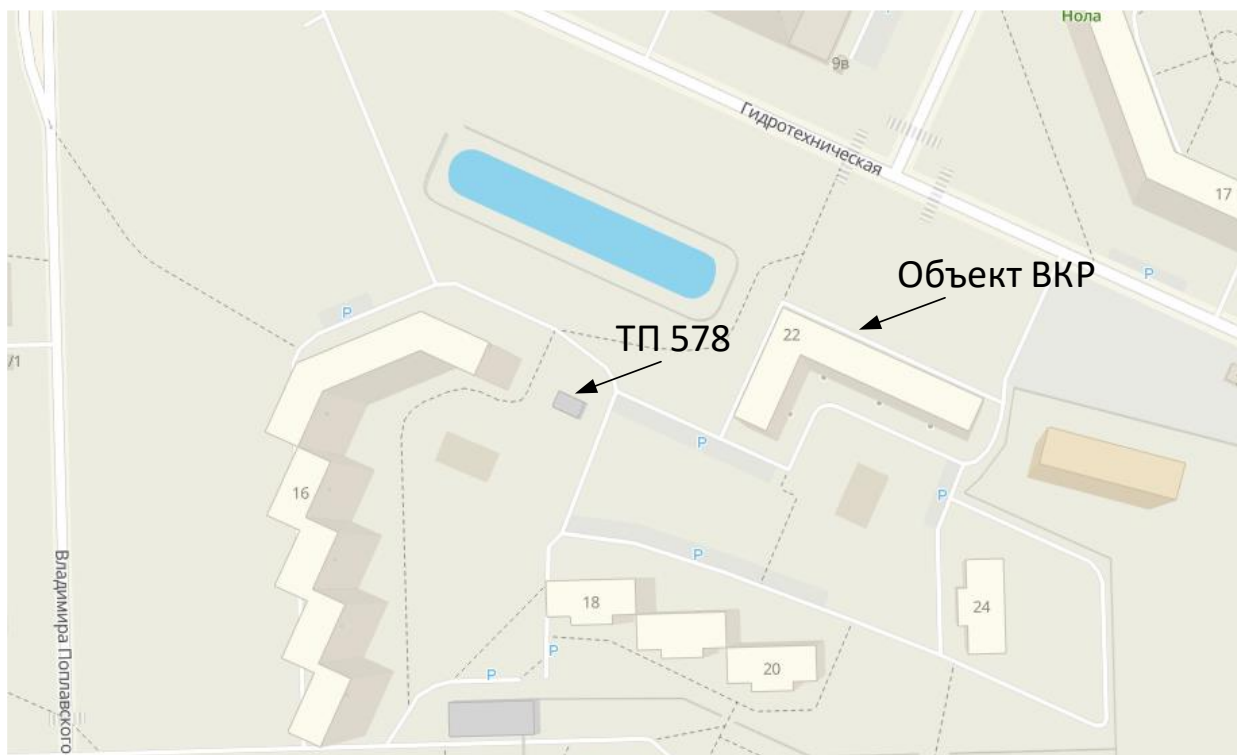


Рисунок 1 - План расположения объекта ВКР

Электроснабжение объекта ВКР осуществляется на напряжении 0,4 кВ от внутри дворовой трансформаторной подстанции 6/0,4 кВ номер 578

расположенной между домом по адресу Гидротехническая 16 и объектом ВКР, которая показана на плане расположения объекта ВКР (рисунок 1).

Питание ТП 578 осуществляется от внутрирайонной распределительной сети напряжением 6 кВ выполненной кабелями. Повышение напряжения распределительной сети, в качестве мероприятия по повышению энергетической эффективности не будет рассматриваться в работе, так как потребует серьезных капитальных вложений как в распределительную сеть микрорайона, так и в реконструкцию высоковольтных районных подстанций.

Электроснабжение всех потребителей ММЖД осуществляется через вводное распределительное устройство, расположенное на первом этаже первого подъезда – ближайшего к ТП 578.

Основными потребителями объекта ВКР являются:

- электроприемники жилых помещений;
- система основного, внутри подъездного освещения совместно с системой аварийного и эвакуационного освещения;
- лифтовые установки;
- насосные установки;
- система уличного освещения;
- система обеспечения и контроля доступа в жилые подъезды;
- оборудование пожарной безопасности ММЖД.

Категорийность электроснабжения ММЖД определена нормативными актами и инструкциями в соответствии с видами электроприемников.

Согласно ПУЭ [12] все электроприемники условно разделены на две группы. К первой группе электроприемников относятся электроприемники жилых помещений. Так как жилые помещения ММЖД оснащены электрическими плитами, то все жилые помещения относятся ко второй категории надежности электроснабжения [12], [11].

К первой категории надежности электроснабжения относятся электроприемники следующих видов:

- оборудование пожарной безопасности ММЖД;



- лифтовые установки;
- система аварийного и эвакуационного освещения;

Также на объекте присутствуют потребители третьей категории надежности электроснабжения. К ним относятся система внутри подъездного освещения и система уличного освещения.

Согласно [12] электроснабжение потребителей первой категории надежности электроснабжения должно обеспечиваться от двух независимых источников питания и должно быть обеспечено наличие автоматического ввода резерва (АВР). Для потребителей второй категории надежности электроснабжения, может не применяться АВР, а ввод резерва может быть обеспечен только ручным переключением между двумя источниками, также питающий источник должен иметь минимум два распределительных трансформатора.

Все требования обеспечения надежности электроснабжения потребителей обеспечиваются на ТП 578, а также в ВРУ ММЖД.

Выводы по разделу 1.

Для объекта выпускной квалификационной работы определены основные исходные данные для выполнения проекта повышения его энергетической эффективности. Определен состав электроприемников объекта с классификацией их по категориям надежности электроснабжения. Определено расположение объекта ВКР на плане микрорайона. Также определены источники питания объекта – трансформаторная подстанция ТП 578 расположенная между домами по адресу Гидротехническая 16 и Гидротехническая 22. Для повышения энергетической эффективности определено техническое мероприятие, которое не будет рассматриваться в рамках ВКР из-за высокой стоимости и сложности реализации – это повышение напряжения распределительной сети.

## **2 Определение направлений повышения энергетической эффективности объекта**

Для объекта ВКР могут быть рассмотрены два типа мероприятий по повышению энергетической эффективности.

Первым типом мероприятий являются организационные, а вторым типом технические.

К организационным мероприятиям относятся мероприятия, связанные со стимулированием потребителей, собственников жилых помещений, к применению энергосберегающих и энергоэффективных электроприборов [21].

К техническим мероприятиям будем относить мероприятия, связанные с заменой или установкой дополнительного оборудования позволяющего сократить или снизить использование электрической энергии [23], [24].

Учитывая тот факт, что принудительное стимулирование собственников жилых помещения к применению энергосберегающих технологий не является эффективным, то основным вопросом повышения энергетической эффективности в рамках выполнения выпускной квалификационной работы рассмотрим только технические мероприятия.

Основными техническими мероприятиями по повышению энергетической эффективности ММЖД являются:

- совершенствование системы внутри подъездного освещения путем установки современных светодиодных светильников с наличием системы управления освещением;
- использование энергоэффективных уличных светильников, имеющих групповую автоматизированную систему управления освещением;
- использование энергоэффективных технических решений в лифтовых установках;
- установка многотарифных приборов учета электрической энергии для жилых помещений. Данное техническое мероприятие позволит реализовать потенциал стимулирования собственников ММЖД к

использованию энергоэффективных приборов и использованию приборов в часы суточного минимума нагрузок, сократив тем самым потери в трансформаторах питающей ММЖД ТП 578.

Выводы по разделу 2.

Определены основные направления повышения энергетической эффективности объекта выпускной квалификационной работы. Составлен перечень основных технических мероприятий, которые позволят повысить энергетическую эффективность системы электроснабжения ММЖД, а также позволят реализовать потенциал по стимулированию собственников ММЖД к применению энергосберегающих мероприятий. В рамках выпускной квалификационной работы определено, что к рассмотрению будут приняты только группа технических мероприятий, требующих замены или установки дополнительного оборудования относящегося к системе электроснабжения.

### 3 Электрические нагрузки

На первом этапе определения электрических нагрузок объекта определим нагрузки систем освещения ММДЖ: внутри подъездной и наружной. Нормативные значения для системы уличного и внутри подъездного систем освещений, т.е. регламентируемые показатели освещенности, а также классификация систем освещения приведены в [4], а также в [15].

Наибольшую энергетическую эффективность для систем уличного и внутри подъездного систем освещений дает использование дополнительных систем управления освещением. Существуют несколько видов систем управления освещением, которые условно можно разделить на две группы: утилитарные способы управления, современные системы управления. Группировка систем управления показана на рисунке 2.

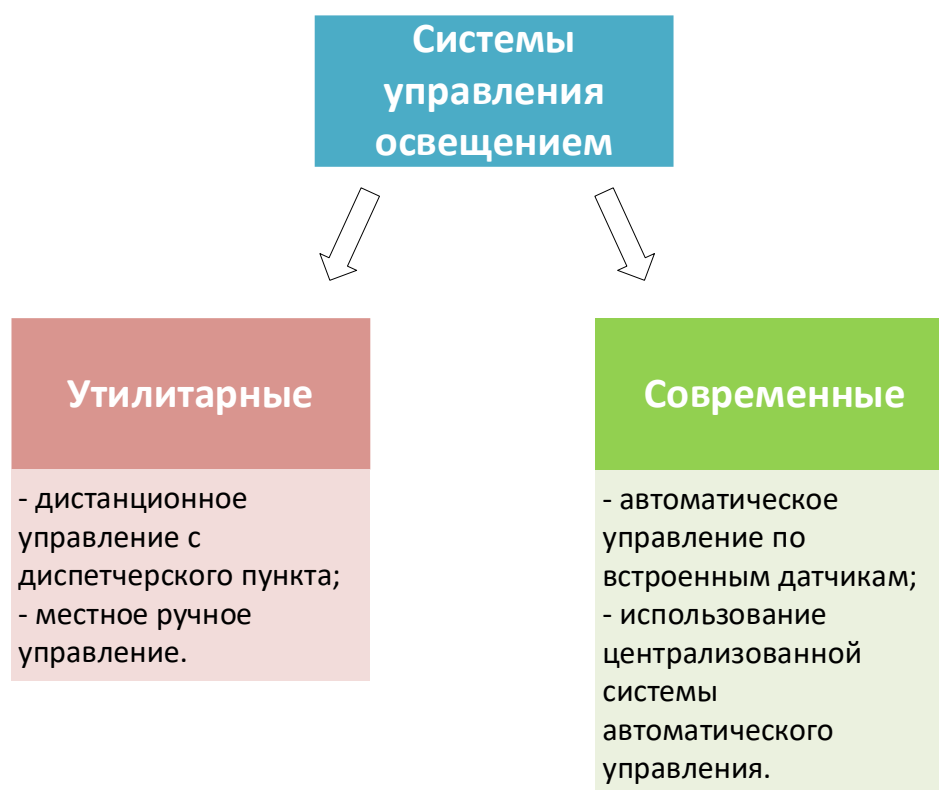


Рисунок 2 - Классификация систем управления освещением

Применение утилитарных систем управления не является основой энергосбережения и энергетической эффективности, так как не может в полной мере обеспечивать требуемый режим работы системы освещения с соблюдением нормируемых показателей освещенности.

Для использования в системах уличного и внутри подъездного освещения в рамках выполнения выпускной квалификационной работы будут использованы современные, автоматизированные, системы управления на основе современных микропроцессорных реле и датчиков [22].

Определим нормы освещенности для уличной и внутри подъездной систем освещения. Для уличной системы освещения норма освещенности:

- спортивные и игровые внутри дворовые площадки. Норма средней освещенности  $E_{\text{ср}} = 10$  Лк;
- основные внутри квартальные и внутри дворовые проезды. Норма освещенности  $E_{\text{ср}} = 4$  Лк;
- второстепенные внутри квартальные и внутри дворовые проезды, а также тротуары. Норма средней освещенности  $E_{\text{ср}} = 2$  Лк.

### **3.1 Мощность системы наружного освещения**

Для расчета освещенности при выборе установок наружного освещения примем среднюю ширину основных проездов равную 6 м, а второстепенных 4 м. Ширина тротуаров 1,5 м. На рисунке 3 представлен план внутри дворовой и около домовых территорий для организации системы наружного освещения.

На плане (рисунок 3) показаны парковочные места (желтым цветом). Внутри дворовые проезды, т.е. второстепенные внутри квартальные и внутри дворовые проезды, а также тротуары показаны зеленым цветом. Основные внутри квартальные и внутри дворовые проезды показаны синим цветом. Внутри двора объекта ВКР расположено три площадки. Площадка 1 является спортивным кортом общего доступа. Площадки 2 и 3 являются детскими игровыми площадками общего доступа.

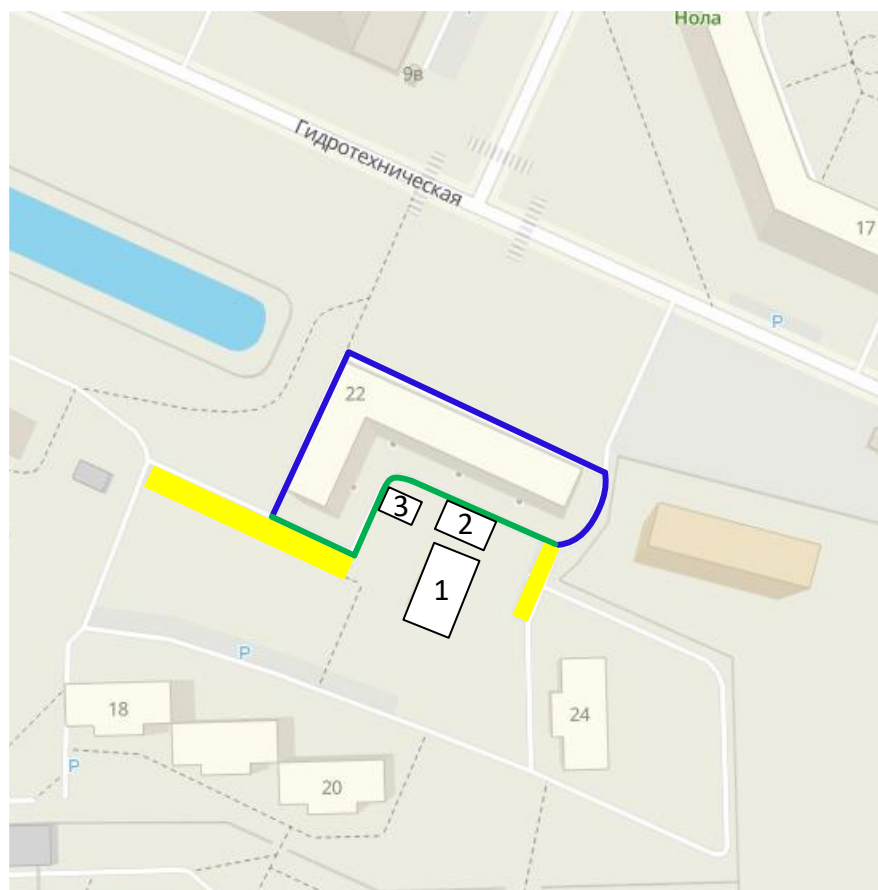


Рисунок 3 - План территорий для организации наружного освещения

Для оптимального выбора установок освещения необходимо проанализировать каталоги отечественных производителей. При выборе установок освещения рассматриваются только крупные предприятия имеющие высокие производственные мощности и показатели качества выпускаемой продукции, а также гарантийные обязательства по выпускаемой номенклатуре продукции. В качестве производителей рассмотрим компании Ferron, Ledel и Uniel. Каталоги производимой продукции представлены в открытом доступе на официальных сайтах производителей [7], [8] и [9].

Кроме того, для каждой группы уличного освещения необходимо определить высоту установки точек освещения. Для этого определим высоту требуемых опор освещения. Для парковочных мест, основных и вспомогательных площадок, а также игровых и физкультурных площадок необходимо использовать опоры освещения, обеспечивающие максимальную

равномерность освещения, а также не допускающие лишнего «засвета» окон жилых помещений, для сохранения максимального комфорта жильцов в вечернее и ночное время. Примем максимальную установку точек освещения на уровне 8 метров. Данные показатели могут быть обеспечены за счет использования опор освещения марки ОГККЗ (опора квартальная для подземной подводки питания, фланцевая). Подземная подводка питания обеспечивает эстетичность и безопасность наружной системы освещения. Для городов подземный способ прокладки является наиболее востребованным.

Модификации опор освещения типа ОГККЗ показаны на рисунке 4.

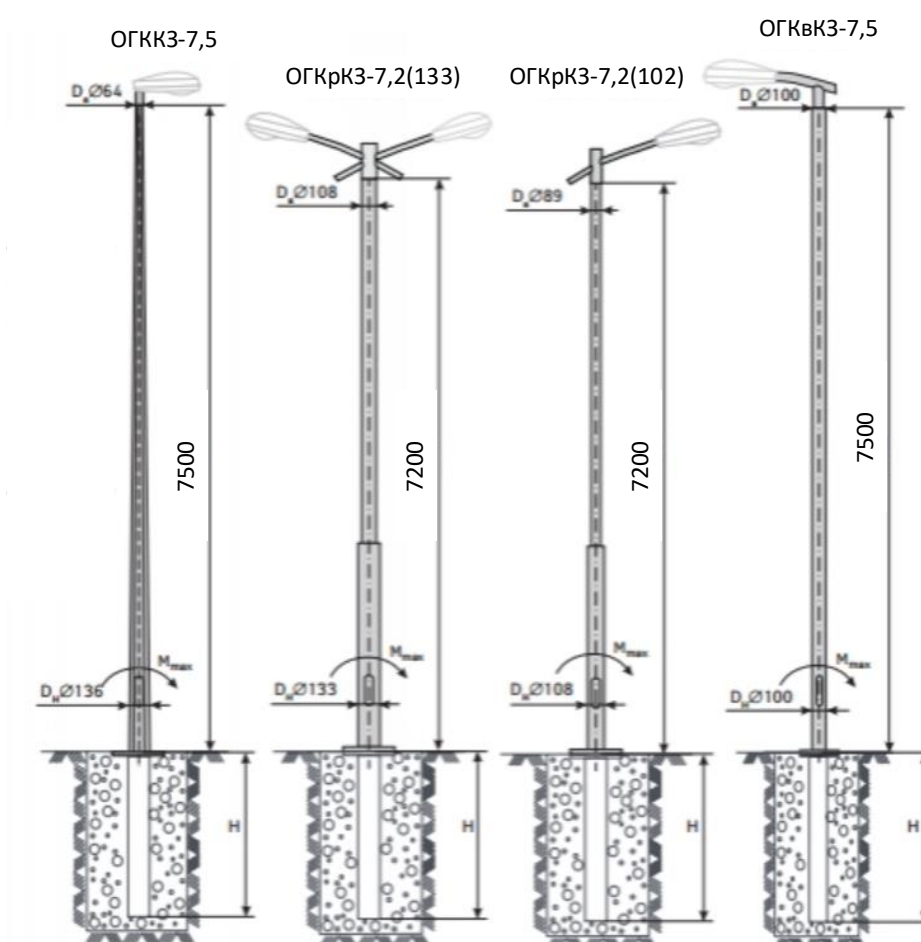


Рисунок 4 - Модификации осветительных опор типа ОГККЗ

Расчет мощности установок наружного освещения и определение точек их установки определим по следующей методике.

Требуемое (расчетное) значение светового потока светильника для поиска по каталогам производителя определяется выражением:

$$\Phi = E_{\text{ср}} \cdot S \quad (1)$$

где  $E_{\text{ср}}$  – требуемый уровень освещенности, Лк;

$S$  – значение площади, освещаемой светильником в зависимости от высоты установки и типа кривой силы света.

Далее определяется наиболее подходящий тип и световой поток светильника по каталогам производителей [7], [8] и [9] исходя из условия:

$$\Phi \leq \Phi_{\text{ном}} \quad (2)$$

где  $\Phi_{\text{ном}}$  – номинальный световой поток светильника, определенный по каталогам производителей, Лм.

Площадь, освещаемая светильником с обеспечением требуемого уровня освещения:

$$S = \frac{\Phi_{\text{ном}}}{E_{\text{ср}}} \quad (3)$$

где  $E_{\text{ср}}$  – нормируемый уровень средней освещенности, Лк.

Максимальное расстояние между точками установки уличных светильников определяется выражением:

$$l = \frac{S}{b} \quad (4)$$

где  $S$  – площадь освещаемая одним светильников с требуемым уровнем освещения определяется для уличных светильников в зависимости от типа КСС выбранного светильника, м<sup>2</sup>;



$b$  – ширина освещаемого проезда, м.

Для выполнения расчетов, необходимо определить дополнительно тип кривой силы света (КСС) для рассматриваемых светильников. Для систем наружного освещения применяются широкие (тип Ш) и полуширокие (тип Л) КСС (рисунок 5). Для данных КСС примем угол максимального светового потока:

- для КСС типа Ш  $\omega_{Ш} = 70^\circ$ ;
- для КСС типа Л  $\omega_{Л} = 50^\circ$ .

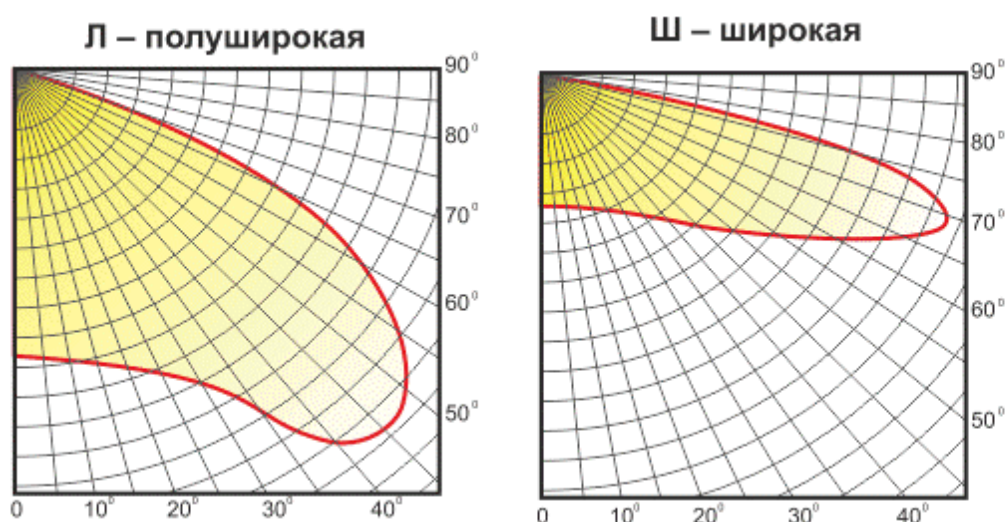


Рисунок 5 - Типы КСС для установок наружного освещения

Тогда для выбранных опор освещения типа ОГККЗ с высотой 7,5 метра телесный угол определится для светильника с КСС типа Ш:

$$S_{Ш} = \pi \cdot \left( \tan \frac{\omega_{Ш}}{2} \cdot k \right)^2 = \pi \cdot \left( \tan \frac{70}{2} \cdot 7,5 \right)^2 = 86,6(\text{м}^2)$$

где  $k$  = высота установки светильника, м.

Для светильника с КСС типа Л:

$$S_{\text{л}} = \pi \cdot \left( \tan \frac{\omega_{\text{л}}}{2} \cdot k \right)^2 = \pi \cdot \left( \tan \frac{50}{2} \cdot 7,5 \right)^2 = 38,4(\text{м}^2)$$

Выполним расчет требуемого светового потока для обеспечения нормируемых показателей освещенности спортивной площадки (позиция 3 на рисунке 3) по выражению (1) при использовании светильника с типом КСС Ш:

$$\Phi = E_{\text{ср}} \cdot S = 10 \cdot 86,6 = 866 (\text{Лм})$$

Выполним расчет требуемого светового потока для обеспечения нормируемых показателей освещенности спортивной площадки (позиция 3 на рисунке 3) по выражению (1) при использовании светильника с типом КСС Л:

$$\Phi = E_{\text{ср}} \cdot S = 10 \cdot 38,4 = 384 (\text{Лм})$$

Для равномерного освещения спортивной площадки предлагается использовать светильники с КСС типа Ш. По каталогам производителей определим наиболее подходящий вариант уличного светильника обеспечивающего выполнение условия (2). Полученные значения позволяют выбрать к установке светильники марки Ledel модели L-street 40 Turbine. Данные светильники имеют световой поток при типе КСС Ш на уровне 4400 Лм, что позволяет выполнить условие (2):

$$\Phi \leq \Phi_{\text{ном}}, \quad (5)$$

$$866 (\text{Лм}) < 4400 (\text{Лм}).$$

Далее по (3) определим площадь, которую освещает выбранный светильник:

$$S = \frac{\Phi_{\text{ном}}}{E_{\text{ср}}} = \frac{4400}{10} = 440 \text{ (м}^2\text{)}$$

Размеры спортивной площадки (позиция 3 рисунок 3) составляют 18,5×33 м, а площадь  $S_{\text{пз}} = 610,5 \text{ м}^2$ . Таким образом для освещения спортивной площадки потребуется установка минимум двух светильников. Так как данная площадка может быть использована в различных целях, то предусмотрим для нее дополнительные светильники обеспечивающие уровень освещенности 50 Лк. Для обеспечения освещенности 50 Лк по выражению (3):

$$S = \frac{\Phi_{\text{ном}}}{E_{\text{ср}}} = \frac{4400}{50} = 88 \text{ (м}^2\text{)}$$

Тогда число светильников для позиции 3 возрастет с двух штук до 7 штук. Стоит отметить, что в стандартных условиях функционирования, в вечернее время будут функционировать только два из семи светильников. Светильники должны быть установлены равномерно по периметру спортивной площадки. Для равномерного распределения светильников по периметру спортивной площадки увеличим расчетное число светильников с 7 до 8 шт. План расстановки светильников для позиции 3 представлен на рисунке 6. Для каждой световой точки на рисунке 6 показаны цифрами светильники находящиеся одновременно в работе при стандартных условиях использования площадки.

Мощность каждого светильника составляет  $P_{1.пз} = 33 \text{ Вт}$ . Таким образом при стандартных условиях функционирования площадки при количестве одновременно работающих светильников  $n = 2$  мощность системы освещения составит:

$$P_{\text{пз}} = P_{1.пз} \cdot n = 33 \cdot 2 = 66 \text{ (Вт)}$$

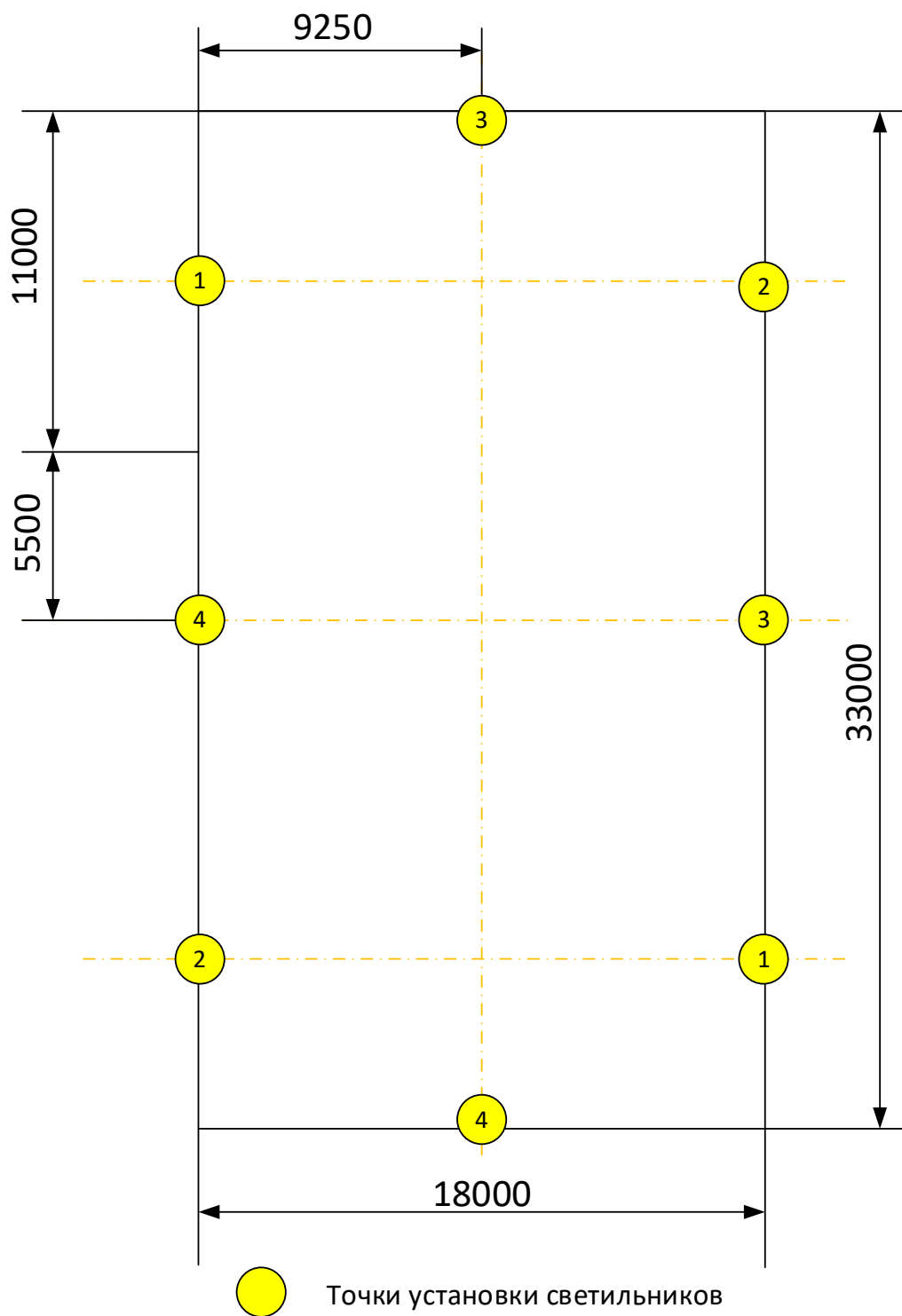


Рисунок 6 - План расстановки светильников для спортивной площадки

Определим потребление энергии системой наружного освещения спортивной площадки (позиция 3 рисунок 3) на основании данных, представленных в таблице 2 по выражению:

$$W_{пз} = P_{пз} \cdot T = 0,066 \cdot 1560,45 = 102,989 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)}$$

где  $T$  – число часов работы системы освещения в год равно 1560,45 ч.

Для всех остальных объектов выполним расчет по представленной методике, результат расчета сведем в сводную таблицу 1.

Таблица 1 - Расчет параметров наружного освещения объекта

Наименование объекта	Расчетная мощность светового потока, Лм	Номинальная мощность светильника, Лм	Число светильников, шт	Потребление энергии кВт·ч в год	Площадь объекта, м <sup>2</sup>
Внутри дворовые проезды	4920	5338	4	254,16	1230
Внутри квартальные проезды и тротуары	1331	4400	4	254,16	665,5
Игровая площадка позиция 2	1330	4400	2	127,08	133
Игровая площадка позиция 1	480	4400	1	63,54	48
Суммарное потребление электрической энергии, кВт·ч в год				698,94	-

Установка светильников выполняется равномерно по аналогии с спортивной площадкой позиция 3. Число светильников увеличено так как требуется выполнения условия равномерного освещения.

### 3.2 Расчет электрических нагрузок объекта

Расчетная нагрузка квартир определяется по выражению:

$$P_{p.кв} = P_{кв} \cdot n, \quad (6)$$

где  $P_{кв}$  – мощность, выделяемая на одну квартиру. Для квартир повышенной комфортности принимается по значению числа квартир согласно [14], кВт.

$n$  – число квартир, для объекта принята равной 144 шт;

Таблица 2 - Продолжительность светового дня для г. Тольятти

Наименование параметра	Месяц											
	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Время захода солнца	16:35	17:30	18:30	19:25	20:13	21:10	21:00	20:00	19:00	17:50	17:00	16:25
Нормируемое время отключения системы освещения	23:00											
Время восхода солнца	8:50	7:50	6:45	5:50	5:00	4:10	4:25	5:10	6:10	7:15	8:15	8:40
Время работы системы освещения, ч	6:25	5:30	4:30	3:35	2:47	1:50	2:00	3:00	4:00	5:10	6:00	6:35
Число дней	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Число часов работы в месяц	198,92	154,00	139,50	107,50	86,28	55,00	62,00	93,00	120,00	160,17	180,00	204,08
Число часов работы в году	1560,45											

Для объекта ВКР по (6) получим:

$$P_{p.кв} = P_{кв} \cdot n = 2,279 \cdot 144 = 328,2 \text{ (кВт)}$$

Расчетная нагрузка питания лифтов рассчитывается по выражению с учетом, что на объекте установлено четыре пассажирских и четыре грузовых лифта, по одному в каждом подъезде. Мощность пассажирского лифта 3,4 кВт, а мощность грузового лифта 5,4 кВт. Исходя из этих условий получим мощность лифтовых установок:

$$P_{лифт} = K_c \sum P_{лифт} = 0,575 \cdot (3,4 \cdot 4 + 5,4 \cdot 4) = 20,24 \text{ (кВт)},$$

где  $K_c$  – коэффициент спроса лифтовых установок, при количестве лифтов в задании 8 шт и высотой здания до 12 этажей принимается равным 0,575.

$P_{лифт}$  – суммарная установленная мощность одной лифтовой установки, кВт.

Расчетная нагрузка силовых установок рассчитывается по выражению:

$$P_c = K_c \sum P_c = 0,65 \cdot 15,25 = 9,913 \text{ (кВт)},$$

Расчетная нагрузка всего объекта без учета наружного освещения:

$$P_{p.зд} = P_{кв} + 0,9(P_c + P_{лифт}) = 355,34 \text{ (кВт)}$$

Так как объект имеет Г-образную форму с угловым подъездом предлагается использовать два вводно-распределительных устройства (ВРУ) запитанных отдельно от ТП578 и имеющих АВР.

Распределение нагрузки между двумя ВРУ выполним согласно таблице 3.

Таблица 3 - Распределение нагрузки между ВРУ

Обозначение ВРУ на главной схеме	ВРУ №1		ВРУ №2	
	1	2	1	2
Номер ввода				
Расчетная активная мощность, кВт	96,3	74,04	96,5	88,5
Расчетный тока ввода ВРУ, А	148,9	114,5	149,2	163,8

Для равномерного питания всех потребителей распределим нагрузку, подключаемую к ВРУ на группы. Распределение нагрузки выполним в таблице 4.

Таблица 4 - Распределение нагрузки внутри ВРУ

Наименование группы	Расчетная мощность, кВт	Расчетный ток, А	Название на электрической схеме
ВРУ №1			
Группа П1	46,8	72,4	Стояк 1
Группа П2	46,8	72,4	Стояк 2
Группа П3	72,4	111,9	Стояк 3
Группа П4	8,5	13,4	Панель рабочего освещения
Группа П5	1,87	4,04	СРП2
Итого по ВРУ	176,37	274,14	-
ВРУ №2			
Группа П1	46,8	72,4	Стояк 1
Группа П2	46,8	72,4	Стояк 2
Группа П3	46,8	72,4	Стояк 3
Группа П4	58,1	89,8	Стояк 4
Группа П5	23,7	37,4	Панель рабочего освещения
Группа П6	4,32	10,9	СРП4
Группа П7	1,15	2,56	Шкаф ШУН ввод 1
Группа П8	1,15	2,56	Шкаф ШУН ввод 2
Итого по ВРУ	228,82	360,42	-

Рабочее освещение вынесено в отдельную группу потребителей на обоих вводах, эта панель содержит в себе множество потребителей, сведения о них содержатся в таблице 5.



Таблица 5 - Панели рабочего освещения ВРУ

Наименование группы	Расчетная мощность, кВт	Расчетный ток, А	Назначение группы
1	2	3	4
ВРУ 1			
Группа 1	0,198	0,98	Рабочее освещение карманов в 1 секции
Группа 2	0,198	0,98	Рабочее освещение карманов во 2 секции
Группа 3	0,198	0,98	Рабочее освещение лифтовых холлов
Группа 4	0,198	0,98	Коридоры
Группа 5	0,318	1,5	Камеры сбора мусора и площадки у мусоропроводов
Группа 6	0,96	4,4	Технический этаж
Группа 7	1,31	6,2	Лифтовая шахта, рабочее освещение машинного отделения лифта секция 1
Группа 8	0,06	0,4	Телевизионные усилители
Группа 9	0,78	3,5	Подвал, секция 1
Группа 10	0,6	2,7	Подвал, секция 2
Группа 11	0,4	2,8	Блоки питания домофонов
Группа 12	1,08	4,9	Розетки для ремонтных работ, секция 1
Группа 13	0,35	1,6	Рабочее освещение электрощитовой
Группа 14	1,31	6,2	Лифтовая шахта, рабочее освещение машинного отделения лифта секция 2
Группа 15	0,54	3,8	Розетки для ремонтных работ, секция 2
Итого по ВРУ	8,5	41,92	-
ВРУ №2			
Группа 1	0,198	0,98	Рабочее освещение карманов в 3 секции
Группа 2	0,198	0,98	Рабочее освещение карманов в 4 секции
Группа 3	0,198	0,98	Рабочее освещение лифтовых холлов
Группа 4	0,198	0,98	Коридоры
Группа 5	0,318	1,5	Мусорные камеры и площадки у мусоропроводов
Группа 6	0,96	4,4	Технический этаж
Группа 7	1,31	6,2	Лифтовая шахта, рабочее освещение машинного отделения лифта секции 3
Группа 8	0,06	0,4	Телевизионные усилители
Группа 9	1,08	4,9	Подвал, секция 3
Группа 10	0,9	4,1	Подвал, секция 4; КУИ
Группа 11	0,4	2,8	Блоки питания домофонов
Группа 12	1,08	4,9	Розетки для ремонтных работ, секция 3
Группа 13	0,65	2,9	Рабочее освещение электрощитовой, насосной, ИТП
Группа 14	1,31	6,2	Лифтовая шахта, рабочее освещение машинного отделения лифта секция 4
Группа 15	1,08	4,9	Розетки для ремонтных работ, секция 4
Итого по ВРУ	9,94	47,12	-

Каждое ВРУ обеспечивает также питание потребителей дополнительных технических систем. Для электрических схем примем обобщение данной группы потребителей СРП. Распределение питания между этими потребителями выполним в таблице 6.

Таблица 6 - Потребители СРП 2 в 1 ВРУ

Состав потребителей группы	Расчетная мощность, кВт	Расчетный ток, А
Система очистки ствола мусоропровода КОМ в секции 1	1	6
Система очистки ствола мусоропровода КОМ в секции 2	1	6
Вытяжная система В3 (электрощитовая 1 секция)	0,075	0,49
Система очистки ствола мусоропровода КОМ в секции 1	1	6
Система очистки ствола мусоропровода КОМ в секции 2	1	6
Вытяжная система В4(электрощитовая 3 секция)	0,075	0,49
Дренажный насос (насосная 4 секция)	0,6	4,2
Дренажный насос (ИТП 3 секция)	0,6	4,2
Дренажный насос (ИТП 3 секция)	0,6	4,2
Насосная установка (рабочая)	0,75	1,8
Насосная установка (рабочая)	0,75	1,8
Насосная установка (рабочая)	0,75	1,8
Насосная установка (резервная)	0,75	1,8
Вытяжная система В7(ИТП 3 секция)	0,075	0,49
Вытяжная система В8(ИТП 3 секция)	0,075	0,49
Вытяжная система В9(насосная 4 секция)	0,075	0,49

Как было описано в первом разделе ВКР, на объекте имеются потребители относящиеся к первой категории надежности электроснабжения. Питание этих потребителей предлагается выполнить как с ВРУ№1, так и с ВРУ№2. Распределение и описание потребителей первой категории, запитанных от соответствующего ВРУ представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Распределение потребителей первой категории надежности между ВРУ

Состав потребителей группы	Расчетная мощность, кВт	Расчетный ток, А
ВРУ №1		
Лифт в секции 1	13	25
Лифт в секции 2	13	25
Панель аварийного освещения	0,984	1,55
Вытяжная система (машинное помещение лифта 1)	0,075	0,49
Вытяжная система (машинное помещение лифта 2)	0,075	0,49
Подъемная платформа для инвалидов (с1 подъезд 1)	2,9	6
Подъемная платформа для инвалидов (с2 подъезд 2)	2,9	6
ВРУ №2		
Лифт в секции 3	13	25
Лифт в секции 4	13	25
Панель аварийного освещения	1,7	2,7
Вытяжная система (машинное помещение лифта 3)	0,075	0,49
Вытяжная система (машинное помещение лифта 4)	0,075	0,49
Подъемная платформа для инвалидов (с3 подъезд 4)	2,9	6

Аварийное освещение, установленное на объекте запитано от секций ВРУ№1 и ВРУ№2, питание аварийного освещения обеспечивается с автоматическим вводом резерва, для сохранения питания при аварийных отключениях. Состав потребителей аварийного освещения представлен в таблице 8.

Таблица 8 - Состав аварийного освещения с определением нагрузки для каждого ВРУ

Расчетная мощность, кВт	Расчетный ток, А	Состав потребителей группы	Обозначение группы на электрической схеме
ВРУ№1			
0,242	0,26	Промежуточные площадки	23

Продолжение таблицы 8

Расчетная мощность, кВт	Расчетный ток, А	Состав потребителей группы	Обозначение группы на электрической схеме
0,198	0,98	Аварийное освещение лифтовых холлов	24
0,1	0,5	Электрощитовая	25
0,2	0,9	Аварийное освещение машинных помещений лифтов	26
0,144	0,71	Входы в подъезды и мусор камеры	27
0,1	0,5	Милицейский фонарь	28
ВРУ№2			
0,242	0,26	Промежуточные площадки	23
0,198	0,98	Аварийное освещение лифтовых холлов	24
0,4	1,8	Электрощитовая, насосная, ИТП	25
0,2	0,9	Аварийное освещение машинных помещений лифтов	26
0,66	3,1	Входы в подъезды и мусор камеры	27

Выводы по разделу 3.

Выполнен расчет системы наружного освещения объекта. Система наружного освещения обеспечивает нормируемые значения освещенности, установленные нормативными актами и правилами. Для системы наружного освещения принято использовать светодиодные светильники производства компании Ledel модели L-street 40 Turbine. Данные светильники имеют световой поток при КСС типа Ш на уровне 4400 Лм, а мощность светильника составляет 33 Вт. Кроме того, определено годовое потребление электрической энергии системой наружного освещения. Для игровых и спортивных площадок установлено ограничение времени работы системы освещения равное 23:00, т.е. в 23:00 система освещения этих объектов отключается, что позволяет повысить комфорт жильцов ММЖД.

Кроме того, определены типы опор освещения, которые должны быть использованы для системы наружного освещения. Предложено использовать

опоры освещения марки ОГККЗ (опора квартальная для подземной подводки питания, фланцевая). Подземная подводка питания обеспечивает эстетичность и безопасность наружной системы освещения.

Выполнен анализ эффективности использования светильников с полу широкой КСС типа Л и широкой КСС типа Ш. Для использования в системе наружного освещения объекта ВКР приняты светильники с КСС типа Ш, это обеспечивает равномерное освещение и не допускает дополнительных «засветов», т.е. обеспечивает комфортные условия для жильцов ММЖД и высокий уровень энергосбережения.

Представлена краткая характеристика систем управления наружным освещением. На объекте предложено использование автоматизированной системы управления наружным освещением. Данный факт позволил в расчетах потребления электрической энергии снизить продолжительность работы системы в году. Общее потребление системы освещения без учета спортивной площадки (позиция 3) составило 698,94 кВт·ч/год, а потребление системы наружного освещения спортивной площадки (позиция 3) составило 102,989 кВт·ч/год. Кроме того, определено расчетное значение мощности объекта с учетом лифтовой и силовой нагрузки, которая составила 355,34 кВт. Для объекта ВКР предложено использовать два ВРУ. Это решение принято исходя из сложной Г-образной формы дома и наличия угловых подъездов. Размещение ВРУ предлагается выполнить максимально близко в питающей ТП 578. Все нагрузки между ВРУ распределены максимально равномерно, что повышает надежность работы системы электроснабжения.

#### 4 Трансформаторы питающей подстанции

Оптимальный выбор мощности трансформаторов подстанции является важным этапом при повышении энергетической эффективности как объекта ВКР, так и питаемого района. Как было определено в пункте 3 ВКР расчетная активная мощность составила  $P_p = 355,34$  кВт. Обеспечивать питание объекта ВКР от самостоятельной ТП нецелесообразно, так как будут использованы трансформаторы низкой мощности. Для густонаселенных районов городов строительство ТП осуществляется из соображений обеспечения питания большого числа потребителей с критерием минимума длины питающих линий.

В пункте 1 ВКР было определено размещение трансформаторной подстанции на плане микрорайона. Выбор силового трансформатора проведем исходя из наличия дополнительной нагрузки близлежащих объектов. В рассматриваемом микрорайоне расположены однотипные многоквартирные дома, поэтому примем дополнительно к полученной расчетной нагрузке еще два дома с такой же нагрузкой. Таким образом общая расчетная нагрузка трансформаторной подстанции составит:

$$P_{ТП578} = k_{зап} \cdot n \cdot P_p, \quad (7)$$

где  $k_{зап}$  – коэффициент запаса, учитывающий подключение дополнительных объектов микрорайона, принимается равным 1,25 [19];

$n$  – число однотипных домов, запитанных от ТП578, принято равным 3 с учетом объекта ВКР;

$P_p$  – расчетное значение мощности объекта ВКР, кВт.

По выражению (7) получим значение расчетной нагрузки трансформаторной подстанции ТП578:

$$P_{\text{ТП578}} = 1,25 \cdot 3 \cdot 355,34 = 1332,525 \text{ (кВт)}$$

Согласно [2] оптимальным коэффициентом загрузки трансформатора является коэффициент на уровне  $k_{3.0\text{ПТ}} = (0,4 \dots 0,5)$ , однако на практике обычно принимается значение исходя из экономического коэффициента загрузки  $k_{3.э} = (0,6 \dots 0,7)$  Оптимальный коэффициент загрузки определяется по паспортным данным трансформатора по выражению:

$$k_{3.0\text{ПТ}} = \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_k}} \quad (8)$$

где  $\Delta P_x$  – паспортное значение потерь холостого хода, кВт;

$\Delta P_k$  – паспортное значение потерь короткого замыкания, кВт.

По значению полученному в (7) найдем значение мощности силового трансформатора по выражению:

$$S_T = \frac{P_{\text{ТП578}} \cdot \cos \varphi}{n \cdot k_3} = \frac{1332,525 \cdot 0,9}{2 \cdot 0,7} = 856,62 \text{ (кВА)}$$

где  $\cos \varphi$  – коэффициент активной мощности, принят равным 0,9;

$n$  – количество трансформаторов на ТП, принято равным 2;

$k_3$  – нормативное значение коэффициента загрузки трансформаторов, принят равным 0,7.

Мощность единичного трансформатора для ТП 578 примем исходя из условия:

$$S_{T \text{ ном}} \geq S_T \quad (9)$$

где  $S_{T \text{ ном}}$  – номинальная мощность трансформатора согласно [3].

Условию (9) соответствует мощности  $S_{T\text{ ном}} = 1000$  кВА и  $S_{T\text{ ном}} = 1250$  кВА. Паспортные данные трансформаторов определим по каталогу производителя [5].

По каталогу производителя выберем энергоэффективные трансформаторы класса А типа по уровню потерь марок ТС-1000/6/0,4 и ТС-1250/6/0,4. Данные трансформаторы являются сухими с литой изоляцией. Паспортные данные представлены в таблице 9.

Таблица 9 - Технические данные энергоэффективных трансформаторов класса энергоэффективности А

Мощность трансформатора		кВА	1000	1250
Параметр			Технические параметры	
$\Delta P_x$	Потери холостого хода	Вт	1650	1950
$\Delta P_k$ при 75°C	Потери короткого замыкания при 75°C	Вт	8650	10200
$\Delta P_k$ при 115°C	Потери короткого замыкания при 115°C	Вт	9600	11500
$I_x$	Ток холостого хода	%	0,35	0,35
$U_k$	Напряжение короткого замыкания	%	6	6
$LpA$	Уровень звукового давления	дБ(А)	53	54
$Me$	Материал обмоток	-	Al	Al

Оптимальный коэффициент загрузки для трансформатора ТС-1000/6/0,4 по данным таблицы 9 и по выражению (8) при температуре 75°C:

$$k_{з.опт} = \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_k}} = \sqrt{\frac{1650}{8650}} = 0,4367$$

Оптимальный коэффициент загрузки для трансформатора ТС-1000/6/0,4 по данным таблицы 9 и по выражению (8) при температуре 115°C [24]:



$$k_{з.опт} = \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_K}} = \sqrt{\frac{1650}{9600}} = 0,4145$$

Оптимальный коэффициент загрузки для трансформатора ТС-1250/6/0,4 по данным таблицы 9 и по выражению (8) при температуре 75°C:

$$k_{з.опт} = \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_K}} = \sqrt{\frac{1950}{10200}} = 0,437$$

Оптимальный коэффициент загрузки для трансформатора ТС-1250/6/0,4 по данным таблицы 9 и по выражению (8) при температуре 115°C:

$$k_{з.опт} = \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_K}} = \sqrt{\frac{1950}{11500}} = 0,4117$$

Определим максимальный коэффициент загрузки согласно определенному в (7) значению расчетной мощности  $P_{ТП578} = 1332,525$  кВт и коэффициенту активной мощности  $\cos \varphi = 0,9$  для энергосберегающего трансформатора марки ТС-1000/6/0,4 при числе установленных трансформаторов на ТП  $n = 2$ :

$$k_{з.ТС-1000} = \frac{P_{ТП578} \cdot \cos \varphi}{n \cdot S_{Т ном}} = \frac{1332,525 \cdot 0,9}{2 \cdot 1000} = 0,599$$

Определим максимальный коэффициент загрузки согласно определенному в (7) значению расчетной мощности  $P_{ТП578} = 1332,525$  кВт и установленному коэффициенту активной мощности  $\cos \varphi = 0,9$  для энергосберегающего трансформатора марки ТС-1250/6/0,4 при числе установленных трансформаторов на ТП  $n = 2$ :

$$k_{з.ТС-1250} = \frac{P_{ТП578} \cdot \cos \varphi}{n \cdot S_{Т_{ном}}} = \frac{1332,525 \cdot 0,9}{2 \cdot 1250} = 0,4797$$

Наиболее близким к оптимальному коэффициенту загрузки получилось значение коэффициента загрузки  $k_{з.ТС-1250} = 0,4797$  поэтому к установке на ТП578 примем два трансформатора марки ТС-1250/6/0,4.

Выводы по разделу 4. Представлена методика выбора трансформаторов для ТП 578 от которой получает питание объект ВКР. Определена расчетная нагрузка ТП578 равная  $P_{ТП578} = 1332,525$  кВт. Коэффициент активной мощности, для расчетов, принят равным  $\cos \varphi = 0,9$ . Определено выражение для определения оптимального коэффициента загрузки трансформатора, который обеспечивает максимальное значение времени безаварийной работы и минимум потерь электрической энергии согласно исследованию [2].

Для установки на ТП578 рассмотрено два варианта энергосберегающих сухих трансформаторов марки ТС-1000 и ТС-1250 производства ОАО «Группа-СВЭЛ» г. Екатеринбург. Для выбранных трансформаторов определены значения оптимальных коэффициентов загрузки при различных температурах обмотки [24], [25]. Все расчетные значения оптимальных коэффициентов загрузки находятся в пределах (0,41 ... 0,43).

Для значения расчетной мощности определены действительные коэффициенты загрузки. При установке на ТП578 двух трансформатором марки ТС-1000/6/0,4 действительный коэффициент загрузки составил  $k_{з.ТС-1000} = 0,599$ , а при установке на ТП578 двух трансформатором марки ТС-1250/6/0,4 действительный коэффициент загрузки составил  $k_{з.ТС-1250} = 0,4797$ . Так как значение действительного коэффициента загрузки при установке на ТП двух трансформаторов ТС-1250/6/0,4 ближе к оптимальному значению, то в работе принимается на ТП установить именно эти трансформаторы для обеспечения долговременной безаварийной работы и низкого уровня потерь электрической энергии [10], [13].

## 5 Расчет токов короткого замыкания

Расчет токов короткого замыкания (ТКЗ) необходим для выбора и проверки оборудования системы электроснабжения объекта ВКР. Расчет выполним на стороне ниже 1000 В. При расчете ТКЗ в сети 0,4 кВ необходимо учитывать активные и индуктивные сопротивления всех элементов схемы.

Расчёты выполняются в соответствии, для трех расчетных точек в соответствии со схемой (рисунок 7). Расчетные точки определены следующим образом. Точка К1 – на шинах ТП578 со стороны 0,4 кВ, точка К2 – на ВРУ ММЖД, точка К3 на самом мощном электроприемнике – принята грузовая лифтовая установка подъезда 4.

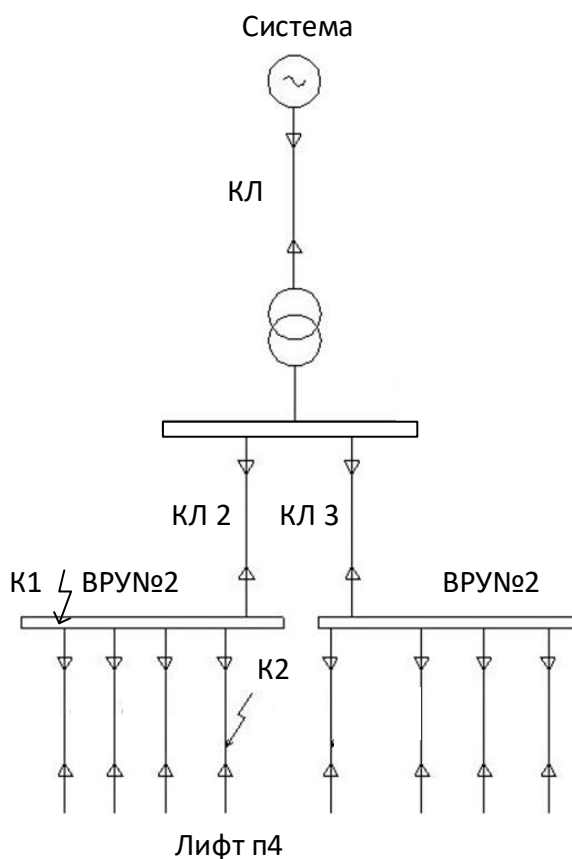


Рисунок 7 - Схема КЗ на стороне ниже 1000В

Расчеты ТКЗ выполняются в именованных единицах. Параметры расчётной схемы.

Сопротивление системы:

$$x_c = \frac{U_{HH}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{откл} \cdot U_{вн}} = \frac{400^2}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 6000} = 0,7698 \text{ (МОм)}$$

Определим параметры для кабельной линии питающей ТП578:

- Длина КЛ  $l = 180$  м;
- Удельное активное сопротивление КЛ до ТП 578  $R_{уд} = 0,035$  мОм/м;
- Удельное индуктивное сопротивление КЛ до ТП 578  $X_{уд} = 0,024$  мОм/м.

Активное сопротивление всей КЛ:

$$R_{КЛ} = R_{уд} \cdot l = 0,035 \cdot 180 = 6,3 \text{ (мОм)}$$

Индуктивное сопротивление всей КЛ:

$$X_{КЛ} = X_{уд} \cdot l = 0,024 \cdot 180 = 4,32 \text{ (мОм)}$$

Параметры трансформатора ТС-1250/6/0,4.

Активное сопротивление трансформатора ТС-1250/6/0,4:

$$R_T = \frac{\Delta P_k \cdot U_{HH}^2}{S_{T \text{ ном}}} \cdot 10^6 = \frac{10,2 \cdot 0,4^2}{1250} \cdot 10^6 = 1305,6 \text{ (мОм)}$$

Индуктивное сопротивление определяется выражением:

$$X_T = \sqrt{U_K^2 - \left(\frac{100\Delta P_K}{S_{T\text{ном}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{T\text{ном}}} \cdot 10^4 \quad (10)$$

Для трансформатора ТС-1250/6/0,4 по (10):

$$X_T = \sqrt{6^2 - \left(\frac{100 \cdot 10,2}{1250}\right)^2} \cdot \frac{6^2}{1250} \cdot 10^4 = 1711,94 \text{ (МОм)}$$

Параметры выключателя после трансформатора ТС-1250/6/0,4:  $r_{\text{КВ}} = 0,14 \text{ (МОм)}$ ,  $x_{\text{КВ}} = 0,08 \text{ (МОм)}$ .

Сопротивления первичных обмоток многовитковых измерительных трансформаторов тока на вводе ВРУ№2:  $r_{TA} = 0,05 \text{ (МОм)}$ ,  $x_{TA} = 0,02 \text{ (МОм)}$ .

Активное и индуктивное сопротивления шин ВРУ№2:

$$r_{\text{ш}} = r_{\text{уд}} \cdot l_{\text{ш}} = 0,020 \cdot 10 = 0,2 \text{ (МОм)}$$

$$x_{\text{ш}} = x_{\text{уд}} \cdot l_{\text{ш}} = 0,02 \times 10 = 0,2 \text{ (МОм)}$$

Сопротивление до расчетной точки К1 согласно схеме.

Активное сопротивление:

$$r_{K1} = R_T + R_{\text{КЛ}} + r_{TA} + r_{\text{ш}} + r_{\text{к}} \quad (11)$$

$$r_{K1} = 1305,6 + 6,3 + 0,05 + 0,2 + 0,08 = 1312,23 \text{ (МОм)}$$

Индуктивное сопротивление:

$$x_{K1} = x_c + X_T + X_{\text{КЛ}} + x_{TA} + x_{\text{ш}} + x_{\text{КВ}} \quad (12)$$

$$x_{K1} = 0,7698 + 1711,94 + 4,32 + 0,02 + 0,2 + 0,08$$

$$x_{K1} = 1717,3298 \text{ (МОм)}$$

Полное сопротивление до расчетной точки К1:

$$z_{K1} = \sqrt{x_{K1}^2 + r_{K1}^2} \quad (13)$$

$$z_{K1} = \sqrt{1717,3298^2 + 1\,312,23^2} = 2161,288 \text{ (мОм)}$$

Отношение индуктивного и активного сопротивлений до расчетной точки К1  $r_{K1}/x_{K1} = \frac{1\,312,23}{1\,717,3298} = 0,76$ , тогда ударный коэффициент для расчетной точки К1 принимаем равным  $K_y = 1,08$ .

Периодическая составляющая трехфазного ТКЗ в точке К1:

$$I_{п0.К1}^{(3)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3}z_{K1}} \quad (14)$$

$$I_{п0.К1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 2\,161,288 \cdot 10^{-3}} = 1,068 \text{ (кА)}$$

Периодическая составляющая двухфазного ТКЗ в точке К1:

$$I_{п0.К1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{п0}^{(3)} \quad (15)$$

$$I_{п0.К1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,068 = 0,925 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного ТКЗ в точке К1:

$$i_{y.К1}^{(3)} = \sqrt{2} K_y \cdot I_{п0.К1}^{(3)} \quad (16)$$

$$i_{y.К1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,08 \cdot 1,068 = 1,631 \text{ (кА)}$$

Ударный ток двухфазного ТКЗ в точке К1:

$$i_{y.K1}^{(2)} = \sqrt{2}K_y \cdot I_{п0.K1}^{(2)} \quad (17)$$

$$i_{y.K1}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot 1,08 \cdot 0,925 = 1,41 \text{ (кА)}$$

Определим сопротивление до расчетной точки К2. Для расчетной точки К2 используем сопротивление до расчетной точки К1 и добавим сопротивления:

– Сопротивления защитного аппарата на линии питания лифтовой установки  $r_{KB} = 0,65$  (мОм),  $x_{KB} = 0,17$  (мОм).

– Сопротивление питающей линии с параметрами  $R_{уд} = 0,04$  мОм/м и  $X_{уд} = 0,03$  мОм/м.

– Длина линии, питающей лифтовую установку подъезда №4  $l = 60$  м.

Активное сопротивление линии, питающей лифтовую установку подъезда №4:

$$R_{KL} = R_{уд} \cdot l = 0,04 \cdot 60 = 2,4 \text{ (мОм)}$$

Индуктивное сопротивление линии, питающей лифтовую установку подъезда №4:

$$X_{KL} = X_{уд} \cdot l = 0,03 \cdot 60 = 1,8 \text{ (мОм)}$$

Активное сопротивление до расчетной точки К2:

$$r_{K2} = r_{K1} + R_{KL} + r_{KB} = 1\,312,23 + 2,4 + 0,65 = 1315,28 \text{ (мОм)}$$

Индуктивное сопротивление до расчетной точки К2:

$$x_{K2} = x_{K1} + X_{KL} + x_{KB} \quad (18)$$

$$x_{K2} = 1\,717,3298 + 2,4 + 0,65 = 1\,720,3798 \text{ (мОм)}$$

Полное сопротивление до расчетной точки К2:

$$z_{K2} = \sqrt{x_{K2}^2 + r_{K2}^2} = \sqrt{1\,720,3798^2 + 1315,28}$$

$$z_{K2} = 2\,165,564 \text{ (мОм)}$$

Величина отношения  $r_{K2}/x_{K2}$  для определения значения ударного коэффициента в точке К2:

$$r_{K2}/x_{K2} = 1315,28/1\,720,3798 = 0,76 \quad (19)$$

Используя значение  $\frac{r_{K2}}{x_{K2}} = 0,76$  ударный коэффициент примем равным  $K_y = 1,08$ .

Периодическая составляющая трехфазного ТКЗ в точке К2:

$$I_{п0.К2}^{(3)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3}z_{K1}} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 2\,165,564 \cdot 10^{-3}} = 0,11 \text{ (кА)}$$

Периодическая составляющая двухфазного ТКЗ в точке К2:

$$I_{п0.К2}^{(2)} = I_{п0.К2}^{(3)} \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,11 = 0,095 \text{ (кА)}$$

Ударный ток трехфазного ТКЗ в точке К2:

$$i_{y.К2}^{(3)} = \sqrt{2}K_y \cdot I_{п0.К2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,08 \cdot 0,11 = 0,168 \text{ (кА)}$$

Ударный ток двухфазного ТКЗ в точке К2:



$$i_{y.K2}^{(2)} = \sqrt{2}K_y \cdot I_{п0.K2}^{(2)} = \sqrt{2} \cdot 1,08 \cdot 0,095 = 1,45 \text{ (кА)}$$

Выводы по разделу 5.

Для объекта ВКР составлена расчетная схема для определения расчетных значений токов короткого замыкания. На расчетной схеме определены две расчетные точки – точка К1 на шинах ВРУ№1 и точка К2 на самом удаленном от источника питания (подстанции ТП578) электроприемнике – электродвигателе лифтовой установки расположенной в подъезде ММЖД №4.

Для выбранных расчетных точек (К1 и К2) выполнен расчет токов короткого замыкания. Так как все расчетные точки и электроприемники являются низковольтными, т.е. напряжение питания ниже 1 кВ, то при расчете значений токов короткого замыкания были учтены активные и индуктивные сопротивления всех элементов системы электроснабжения ММЖД указанных на расчетной схеме (рисунок 7).

Для каждой расчетной точки (К1 и К2) определены значения периодических составляющих трехфазного ТКЗ и двухфазного ТКЗ, а также определены значения ударных токов трехфазных и двухфазных КЗ.

## 6 Основные технические решения по электрооборудованию объекта

### 6.1 Силовые кабели

Для объекта ВКР необходимо определить требуемое сечение питающих кабелей до каждого ВРУ от ТП578. Согласно [12] выбор кабелей необходимо выполнять по длительно допустимому току:

$$I_{кл.д} = 0,92 \cdot I_{\partial} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (20)$$

где  $I_{\partial}$  – длительно допустимый ток, А;

$K_1$  – справочный коэффициент, учитывающий температуру окружающей среды, по [12] примем  $K_1 = 1,09$  для прокладки в земле;

$K_2$  – справочный коэффициент, учитывающий число проложенных кабелей в одной траншее, принимаем  $K_2 = 0,82$ ;

$K_3$  – справочный коэффициент, учитывающий удельное сопротивление земли при прокладке кабеля в траншее, принимаем  $K_3 = 1,05$  согласно [12].

После определения длительно допустимого тока необходимо сравнить значение полученное в (20) с расчетным значением тока ( $I_p$ ) по условию:

$$I_p \leq I_{кл.д} \quad (21)$$

Определим длительно допустимый ток для кабеля, питающего от ТП578 до ВРУ№1-ввод 1. Для данной линии выбран кабель марки АСБУ 4×120 с длительно допустимым током  $I_{\partial} = 200$  А [6], тогда по (20) получим:

$$I_{кл.д} = 0,92 \cdot 1 \cdot 200 \cdot 1,09 \cdot 0,82 \cdot 1,05 = 172,68 \text{ А.}$$

По (21) с учетом, что расчетный ток для линии ТП578 - ВРУ№1-ввод 1  
 $I_p = 148,9$  А:

$$I_p = 148,9 < I_{кл.д} = 172,68.$$

Условие (21) выполнено следовательно данный кабель может быть использован при выбранном способе прокладка в линии ТП578 - ВРУ№1-ввод 1.

Определим длительно допустимый ток для кабеля, питающего от ТП578 до ВРУ№1-ввод 2. Для данной линии выбран кабель марки АСБУ 4×120 с длительно допустимым током  $I_{д} = 200$  А, тогда по (20) получим

$$I_{кл.д} = 0,92 \cdot 1 \cdot 200 \cdot 1,09 \cdot 0,82 \cdot 1,05 = 172,68 \text{ А.}$$

По (21) с учетом, что расчетный ток для линии ТП578 - ВРУ№1-ввод 1  
 $I_p = 148,9$  А:

$$I_p = 148,9 < I_{кл.д} = 172,68.$$

Условие (21) выполнено следовательно данный кабель может быть использован при выбранном способе прокладка в линии ТП578 - ВРУ№1-ввод 2.

Определим длительно допустимый ток для кабеля, питающего от ТП578 до ВРУ№2-ввод 1. Для данной линии выбран кабель марки АСБУ 4×150 с длительно допустимым током  $I_{д} = 235$  А, тогда по (20) получим

$$I_{кл.д} = 0,92 \cdot 1 \cdot 235 \cdot 1,09 \cdot 0,82 \cdot 1,05 = 202,9 \text{ А.}$$

По (21) с учетом, что расчетный ток для линии ТП578 - ВРУ№1-ввод 1  
 $I_p = 136,8 \text{ А}$ :

$$I_p = 136,8 < I_{кл.д} = 202,9$$

Условие (21) выполнено следовательно данный кабель может быть использован при выбранном способе прокладка в линии ТП578 - ВРУ№2-ввод 1.

Определим длительно допустимый ток для кабеля, питающего от ТП578 до ВРУ№2-ввод 2. Для данной линии выбран кабель марки АСБУ 4×150 с длительно допустимым током  $I_{\delta} = 235 \text{ А}$ , тогда по (20) получим

$$I_{кл.д} = 0,92 \cdot 1 \cdot 235 \cdot 1,09 \cdot 0,82 \cdot 1,05 = 202,9 \text{ А.}$$

По (21) с учетом, что расчетный ток для линии ТП578 - ВРУ№1-ввод 1  
 $I_p = 136,8 \text{ А}$ :

$$I_p = 136,8 < I_{кл.д} = 202,9$$

Условие (21) выполнено следовательно данный кабель может быть использован при выбранном способе прокладка в линии ТП578 - ВРУ№2-ввод 2.

## **6.2 Описание кабелей, применяемых на объекте**

Для питающих распределительных силовых сетей и для групповых сетей освещения на объекте применяются только кабели медными жилами [17], [16]. Все используемые кабели сведем в таблицу 10.

Таблица 10 - Ведомость прокладки кабелей

Место прокладки КЛ	Марка кабеля	Способ прокладки
Техподполье	ВВГнг-LS	открыто в лотках по кабельным конструкциям; по стенам и перекрытиям с креплением накладными скобами
Горизонтальные участки	ВВГнг-LS	скрытая прокладка в кабельных конструкциях
Вертикальные участки питающих линий до аппаратов отключения стояков этажных щитков	ВВГнг-LS	скрытая прокладка в кабельных конструкциях
Вертикальные участки групповых сетей рабочего освещения лестничных клеток, лифтовых холлов, поэтажных и межквартирных коридоров, мусороприемников	ВВГнг-LS	В ПВХ трубах, заделанными в строительные конструкции
Групповые осветительные сети квартир	ВВГнг-LS	Скрытая прокладка в ПВХ трубах в каналах стеновых панелей, и в каналах панелей пола вышележащего этажа.
Групповые розеточные сети квартир	ПВ1	Скрыто в ПВХ трубах в бетонной заливной подготовке пола
Питание лифтовых установок	ВВГнг-LS	Прокладка в заземленной стальной трубке
Групповая сеть освещения технического этажа	ВВГнг-LS	Открыто на стенах и перекрытиях с креплением накладными скобами
Групповая сеть освещения машинных залов лифтовых установок, помещения электрощитовой, теплового пункта объекта, помещения насосной	ВВГнг-LS	Открыто на стенах и перекрытиях с креплением накладными скобами
Групповая сеть освещения путей эвакуации	ВВГнг-FRLS	Скрытая прокладка в ПВХ трубах в каналах стеновых панелей

### 6.3 Выбор и проверка аппаратов защиты

Все аппараты защиты – автоматические выключатели должны быть проверены на отключающую способность расцепителя по условию:

$$I_{откл} \geq I_{n0}^{(3)} \quad (22)$$

где  $I_{откл}$  – отключающая способность аппарата защиты, кА;

$I_{n0}^{(3)}$  – ток трехфазного КЗ в защищаемой линии, кА.

Проверка чувствительности действия защит расцепителей для аппаратов защиты:

$$\frac{I_{n0}^{(1)}}{I_{нр}} \geq 1,25 \quad (23)$$

где  $I_{n0}^{(1)}$  – ток однофазного КЗ в точке установки аппарата защиты, кА;

$I_{нр}$  – номинальный ток расцепителя аппарата защиты, кА.

Выполним проверку аппаратов защиты ВРУ№1 - автоматического выключателя [20] ВА50-45ПроП с МРТ-45 Про 3200А с уставками  $1,5I_n = 3136$  (А),  $1,5I_{нр} = 4704$  (А);  $I_{откл} = 48$  (кА) по (22)

$$I_{откл} = 48 \text{ кА} \geq I_{n0}^{(3)} = 23,36 \text{ кА}$$

$$\frac{I_{n0}^{(1)}}{I_{нр}} = \frac{23690}{4704} = 5,03 \geq 1,25.$$

Условия выполняются.

## 6.4 Электроснабжение квартиры

Распределение электроэнергии и защита вводных устройств на каждом этаже предусмотрена в совмещенных этажных щитках (ЩРЭ) с клеммами защитного заземления. Согласно [12] ЩРЭ монтируются таким образом, чтобы их верхняя граница не была больше двух метров от уровня пола.

Квартирный щиток (ЩК) навесного типа на 5 автоматических выключателей устанавливается в каждой квартире. В его составе монтируется 4 автоматических выключателя на 16А/220В и 1 автоматический выключатель на 40А/220В. Розетки, установленные в санузлах, используются УЗО-30ма/220В.

Монтаж розеток и выключателей в квартирах производится:

- Выключатели – 0,9м.
- Штепсельные розетки в комнатах – 0,3м.
- Штепсельные розетки в санузлах, на кухне – 1,1м.

Схема распределительных сетей на примере квартиры приведена на рисунке 8.

Ведомость нагрузок по квартире для схемы (рисунок 8) приведена в таблице 11.

Выводы по разделу 6. Представлена методика выбора кабельных линий по длительно допустимому току. По представленной методике выполнен выбор сечения кабелей для питания ВРУ объекта. Для питания ВРУ от шин ТП578 выбрано четыре кабеля. Два кабеля марки АСБУ 4×150 и два кабеля марки АСБУ 4×120. Прокладка кабелей осуществляется в земле с обеспечением наименьшего расхода кабеля. Определены способы прокладки внутренних сетей, а также выбраны типы кабелей. Представлена методика выбора и проверки автоматических выключателей. Составлена ведомость нагрузок квартиры и определена схема электроснабжения данной квартиры.

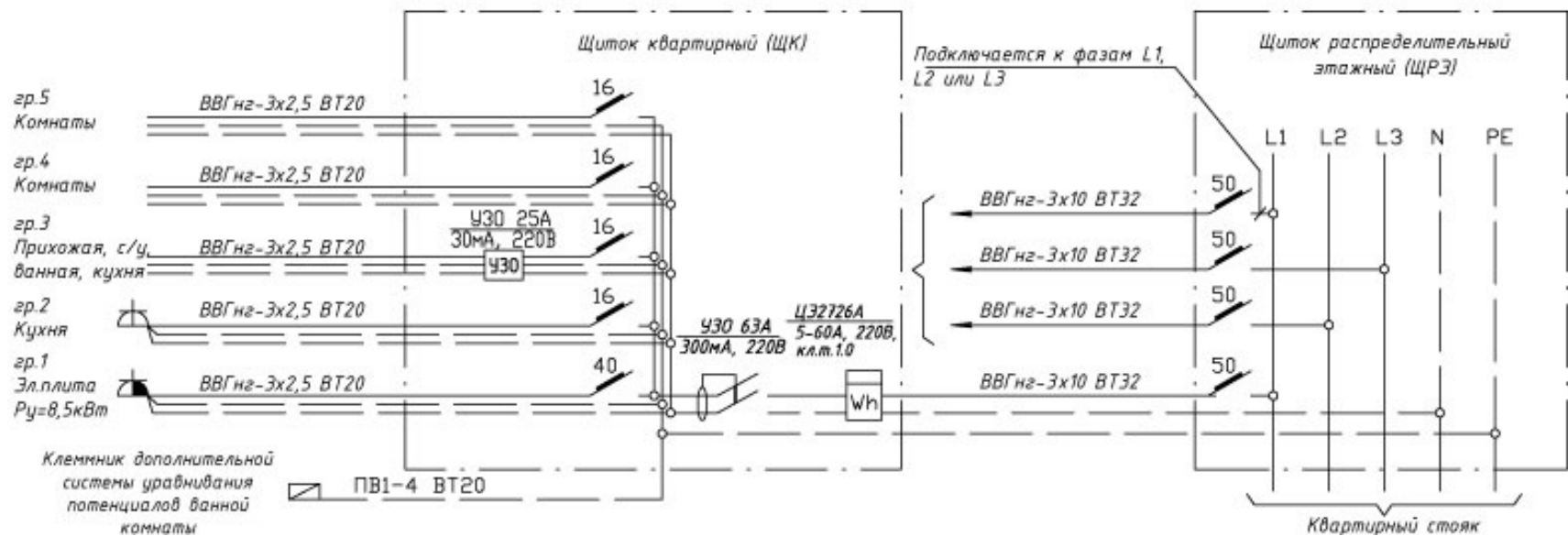


Рисунок 8 - Схема электроснабжения квартиры

Таблица 11 - Ведомость нагрузок квартиры

№ группы	Электроприемники	$P_y$ , кВт	$K_c$	$\cos\phi$	$\operatorname{tg}\phi$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S$ , кВА	$I_p$ , А
Расчет электрических нагрузок квартирного щитка									
Гр-1	Электроплита	8,5	0,8	0,98	0,2	6,8	1,38	6,94	31,54
Гр-2	Быт. техника кухня	3	0,6	0,95	0,33	1,8	0,59	1,89	8,61
Гр-3	Розетки, быт. освещение, прихожая, с/у, кухня	0,68	0,6	0,95	0,33	0,41	0,13	0,43	1,95
Гр-4	Комната	0,88	0,6	0,95	0,33	0,53	0,17	0,56	2,53
Гр-5	Комната	0,76	0,6	0,95	0,33	0,46	0,15	0,48	2,18



## Заключение

Выполнен проект по повышению энергетической эффективности многоквартирного многоподъездного жилого дома расположенного по адресу г. Тольятти, ул. Гидротехническая 22.

На первом этапе, для объекта выпускной квалификационной работы определены основные исходные данные для выполнения проекта повышения его энергетической эффективности. Определен состав электроприемников объекта с классификацией их по категориям надежности электроснабжения. Определено расположение объекта ВКР на плане микрорайона. Также определены источники питания объекта – трансформаторная подстанция ТП 578 расположенная между домами по адресу Гидротехническая 16 и Гидротехническая 22.

Для повышения энергетической эффективности определено техническое мероприятие, которое не будет рассматриваться в рамках ВКР из-за высокой стоимости и сложности реализации – это повышение напряжения распределительной сети. Далее определены основные направления повышения энергетической эффективности объекта выпускной квалификационной работы. Составлен перечень основных технических мероприятий, которые позволят повысить энергетическую эффективность системы электроснабжения ММЖД, а также позволит реализовать потенциал по стимулированию собственников ММЖД к применению энергосберегающих мероприятий.

В рамках выпускной квалификационной работы определено, что к рассмотрению будут приняты только группа технических мероприятий, требующих замены установки дополнительного оборудования системы электроснабжения.

Выполнен расчет системы наружного освещения объекта. Система наружного освещения обеспечивает нормируемые значения освещенности, установленные нормативными актами и правилами. Для системы наружного

освещения принято использовать светодиодные светильники производства компании Ledel модели L-street 40 Turbine. Данные светильники имеют световой поток при КСС типа Ш на уровне 4400 Лм, а мощность светильника составляет 33 Вт. Кроме того, определено годовое потребление электрической энергии системой наружного освещения.

Для игровых и спортивных площадок установлено ограничение времени работы системы освещения равное 23:00, т.е. в 23:00 система освещения этих объектов отключается, что позволяет повысить комфорт жильцов ММЖД. Кроме того, определены типы опор освещения, которые должны быть использованы для системы наружного освещения. Предложено использовать опоры освещения марки ОГККЗ (опора квартальная для подземной подводки питания, фланцевая).

Подземная подводка питания обеспечивает эстетичность и безопасность наружной системы освещения. Выполнен анализ эффективности использования светильников с полу широкой КСС типа Л и широкой КСС типа Ш. Для использования в системе наружного освещения объекта ВКР приняты светильники с КСС типа Ш, это обеспечивает равномерное освещение и не допускает дополнительных «засветов», т.е. обеспечивает комфортные условия для жильцов ММЖД и высокий уровень энергосбережения.

Представлена краткая характеристика систем управления наружным освещением. На объекте предложено использование автоматизированной системы управления наружным освещением. Данный факт позволил в расчетах потребления электрической энергии снизить продолжительность работы системы в году. Общее потребление системы освещения без учета спортивной площадки (позиция 3) составило 698,94 кВт·ч/год, а потребление системы наружного освещения спортивной площадки (позиция 3) составило 102,989 кВт·ч/год. Кроме того, определено расчетное значение мощности объекта с учетом лифтовой и силовой нагрузки, которая составила 355,34 кВт. Для объекта ВКР предложено использовать два ВРУ. Это решение принято

исходя из сложной Г-образной формы дома и наличия угловых подъездов. Размещение ВРУ предлагается выполнить максимально близко в питающей ТП 578. Все нагрузки между ВРУ распределены максимально равномерно, что повышает надежность работы системы электроснабжения.

Представлена методика выбора трансформаторов для ТП 578 от которой получает питание объект ВКР. Определена расчетная нагрузка ТП578 равная  $P_{ТП578} = 1332,525$  кВт. Коэффициент активной мощности, для расчетов, принят равным  $\cos \varphi = 0,9$ . Определено выражение для определения оптимального коэффициента загрузки трансформатора, который обеспечивает максимальное значение времени безаварийной работы и минимум потерь электрической энергии согласно исследованию [2].

Для установки на ТП578 рассмотрено два варианта энергосберегающих сухих трансформаторов марки ТС-1000 и ТС-1250 производства ОАО «Группа-СВЭЛ» г. Екатеринбург.

Для выбранных трансформаторов определены значения оптимальных коэффициентов загрузки при различных температурах обмотки. Все расчетные значения оптимальных коэффициентов загрузки находятся в пределах (0,41 ... 0,43). Для значения расчетной мощности определены действительные коэффициенты загрузки. При установке на ТП578 двух трансформатором марки ТС-1000/6/0,4 действительный коэффициент загрузки составил  $k_{з.ТС-1000} = 0,599$ , а при установке на ТП578 двух трансформатором марки ТС-1250/6/0,4 действительный коэффициент загрузки составил  $k_{з.ТС-1250} = 0,4797$ . Так как значение действительного коэффициента загрузки при установке на ТП двух трансформаторов ТС-1250/6/0,4 ближе к оптимальному значению, то в работе принимаем на ТП установить именно эти трансформаторы для обеспечения долговременной безаварийной работы и низкого уровня потерь электрической энергии.

Выполнен расчет токов короткого замыкания на вводе ВРУ №2, а также на удаленном электроприемнике – лифтовой установки подъезда №4. Составлена расчетная схема и определены значения периодических

составляющих трехфазного ТКЗ и двухфазного ТКЗ, а также ударные токи трехфазных и двухфазных КЗ в расчетных точках К1 и К2. Представлена методика выбора кабельных линий по длительно допустимому току. По представленной методике выполнен выбор сечения кабелей для питания ВРУ объекта. Для питания ВРУ от шин ТП578 выбрано четыре кабеля. Два кабеля марки АСБУ 4×150 и два кабеля марки АСБУ 4×120. Прокладка кабелей осуществляется в земле с обеспечением наименьшего расхода кабеля. Определены способы прокладки внутренних сетей, а также выбраны типы кабелей. Представлена методика выбора и проверки автоматических выключателей. Составлена ведомость нагрузок квартиры и определена схема электроснабжения данной квартиры.

При выполнении выпускной квалификационной работы достигнута цель, поставленная во введении и выполнены все задачи.

## Список используемых источников

1. Ведомственный проект «Цифровая энергетика» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации: [сайт]. [2020]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14559> (дата обращения: 05.02.2023).
2. Галимова А.А. Критерии выбора коэффициента загрузки силового трансформатора при проектировании подстанций распределительных сетей // Проблемы энергетики, Т. 5, № 6, 2013. С. 66-71.
3. ГОСТ 9680-77. Трансформаторы силовые мощностью 0,01 кВА и более. Ряд номинальных мощностей. М.: Издательство стандартов, 1977. 4 с.
4. ГОСТ Р 55706-2013 Национальный стандарт Российской Федерации. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. М.: Стандартинформ, 2019. 10 с.
5. Группа СВЭЛ. Каталог продукции // Веб-сайт компании «Группа СВЭЛ». 2021. URL: <https://svel.ru/catalog/> (дата обращения: 01.03.2023).
6. Завод «Севкабель». Каталог продукции // Веб-сайт компании Завод «Севкабель». 2021. URL: <https://sevkab.ru/catalog/> (дата обращения: 21.04.2023).
7. Компания Ferron. Информационные материалы по продукции Ferron // Официальный сайт производителя Ferron. 2021. URL: <https://feron.ru/katalogi-i-broshyury-po-produktsii-feron/> (дата обращения: 03.03.2023).
8. Компания Ledel. Светодиодное освещение. Каталог продукции. // Официальный сайт производителя - компании Ledel. 2022. URL: <https://ledel.ru/products/> (дата обращения: 03.03.2023).
9. Компания Uniel. Каталог продукции // Официальный сайт производителя - компании Uniel. 2022. URL: <https://uniel.ru/catalog/> (дата обращения: 03.03.2023).

10. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32144-2013 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2013. 20 с.
11. Методические рекомендации для определения категорийности потребителей по надёжности электроснабжения // Электроэнергетический Совет Содружества Независимых Государств. Исполнительный Комитет. 2019. URL: <http://energo-cis.ru/wyswyg/file/RGN-new/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%20%D0%BF%D0%BE%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%20%D0%BF%D0%BE%D1%82%D1%80.pdf> (дата обращения: 30.03.2023).
12. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. Москва: Издательство Проспект, 2020. 832 с.
13. РД 34.20.185-94 Инструкция по проектированию городских электрических сетей 2021 год. М.: ЦЕНТРМАГ, 2021. 46 с.
14. СП 31-110-2003 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. М.: Стандартинформ, 2003. 59 с.
15. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение». М.: Стандартинформ, 2018. 135 с.
16. Фарнасов Г.А. Электротехника, электроника, электрооборудование: электротехника. М.: МИСИС, 2012. 423 с.
17. Центр комплексной Энергоэффективности и энергосбережения. Методическое пособие по энергоэффективности для образовательных учреждений. Система менеджмента энергоэффективности в образовательных учреждениях. Москва. 2012.
18. Цифровизация энергетики [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации: [сайт]. URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/tsifrovaya-energetika16x915.pdf> (дата обращения: 05.04.2023).

19. Шахнин В.А., Рощина С.И. Электроснабжение микрорайона многоэтажной жилой застройки : учеб. пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2017. 107 с.
20. Шеховцов В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. Пособие. 3-е изд. М.: Инфра-М, 2019. 136 с.
21. Funnell I. R. Aspects of thermal monitoring of substation equipment / I. R. Funnell // Developments Towards Complete Monitoring and In-Service Testing of Transmission and Distribution Plant, IEE Colloquium on, Chester, 1990, pp. 2/1-2/2.
22. Moongilan D. Corona noise considerations for smart grid wireless communication and control network planning / D. Moongilan // Electromagnetic Compatibility (EMC), 2012 IEEE International Symposium on, Pittsburgh, PA, 2012, pp. 357-362.
23. Ocana C. Regulatory Reform in the Electricity Supply Industry: An Overview: working papers / C. Ocana; International Energy Agency, Energy Diversification Division. [S.l.]: IEA, 2002. 36 p
24. Tan Z. Day-Ahead Electricity Price Forecasting Using Wavelet Transform Combined With Arima And Garch Models / Z. Tan, J. Zhang, J. Xu, J.Wang // Applied Energy. 2010. Т. 87. No 11. P. 3606–3610.
25. Yip H.T. Dynamic thermal rating and active control for improved distribution network utilization / H. T. Yip // Developments in Power System Protection (DPSP 2010). Managing the Change, 10th IET International Conference on, Manchester, 2010, pp. 1-5.