

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение микрорайона «Молодежный» - 10/0,4 кВ в г. Олекминске

Обучающийся

Т. И. Тараканова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., проф. А. А. Кувшинов

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

Тольятти 2023

## Аннотация

В результате проведенных исследований в работе, осуществлена разработка системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске, и получающего питания от понизительной подстанции класса напряжения 10/0,4 кВ.

В результате проведенного анализа существующего состояния рассматриваемого вопроса, определены цели, задачи и методы исследования, применяемые в работе.

Осуществлен анализ исходных данных к выполнению работы и обзор литературных источников по рассматриваемой тематике работы.

Обоснованы схемные решения для разработки проекта системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске.

Проведён расчёт и выбор элементов системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске, выбраны силовые трансформаторы на питающей подстанции 10/0,4 кВ микрорайона, а также электрические проводники и аппараты. Выбраны места для строительства трансформаторных подстанций и тип оборудования, которое будет там установлено.

Осуществлено определение основных технико-экономических показателей разработанного проекта системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске.

Проектирование производится на основе действующих технических норм и методик расчета с использованием актуального электрооборудования, что делает данный проект расчета электрической части подстанции завода современным и актуальным.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской объёмом 64 страницы, а также содержит шесть чертежей графической части формата А1.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 4  |
| 1 Исходная характеристика микрорайона .....   | 7  |
| 1.1 Состав потребителей микрорайона .....   | 7  |
| 1.2 Основы проектирования систем электроснабжения микрорайонов городов .....                  | 13 |
| 2 Проектирование системы электроснабжения микрорайона.....                                    | 18 |
| 2.1 Выбор схемы электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска.....              | 18 |
| 2.2 Расчёт электрических нагрузок .....   | 22 |
| 2.3 Выбор трансформаторов на питающей подстанции 10/0,4 кВ .....                              | 29 |
| 2.4 Выбор и проверка компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции..... | 32 |
| 2.5 Выбор и проверка проводников микрорайона «Молодёжный» города Олекминска.....              | 35 |
| 2.6 Расчёт токов короткого замыкания .....  | 40 |
| 2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов .....  | 47 |
| 3 Техничко-экономическое обоснование принятых решений.....                                    | 56 |
| Заключение .....  | 63 |
| Список используемых источников.....   | 65 |

## Введение

Основная цель проектирования систем электроснабжения микрорайонов города – обеспечить надежную и бесперебойную работу всех потребителей электроэнергии в этом микрорайоне.

Кроме того, проектирование системы электроснабжения должно учитывать экологические аспекты, такие как использование энергии и снижение отрицательного воздействия на окружающую среду.

Основные задачи проектирования систем электроснабжения микрорайонов города:

- разработка универсального схмотехнического решения системы электроснабжения, обеспечивающая соответствие требованиям надежности, безопасности и эффективности;
- расчет мощности электроснабжения, которая должна быть достаточной для обеспечения всех потребителей в микрорайоне;
- проектирование потребляемых сетей и подстанций, которые потребляют до конечных потребителей;
- расстановка и компоновка оборудования и сетей, включая технические, исключительные и экологические аспекты;
- использование энергоэффективного оборудования и систем управления энергопотреблением;
- разработка системы мониторинга и управления, которая позволяет контролировать и контролировать процессы электроснабжения в микрорайоне;
- обеспечение безопасности системы электроснабжения, которая включает в себя защиту от перегрузок, случаев перегрузки и коротких замыкания, а также других аварийных ситуаций;
- соблюдение нормативных требований и параметров в области электроснабжения, таких как нормы потребления энергии и энергетической эффективности;

– организация обучения и поддержки персонала, который будет осуществлять обслуживание системы электроснабжения микрорайона.

Основной целью данной работы является разработка проекта электроснабжения микрорайона части небольшого города, осуществлённая на примере микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске Республики Саха (Якутия).

Объектом исследования в работе является система электроснабжения микрорайона части небольшого города (микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске Республики Саха (Якутия)).

Предметом исследования являются схема электрических соединений системы электроснабжения, а также её составные элементы: электрооборудование распределительных устройств классов напряжения 10 кВ и 0,4 кВ, электрические сети этих же классов напряжения, а также система учёта и контроля электроэнергии в системе электроснабжения объекта проектирования.

Осуществляется анализ исходных данных к выполнению работы и обзор литературных источников по рассматриваемой тематике работы. Проводится обоснование схемных решений для разработки проекта системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске. Проводится расчёт и выбор элементов системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске, выбираются силовые трансформаторы на питающей подстанции 10/0,4 кВ микрорайона, а также электрические проводники и аппараты. Осуществляется определение основных технико-экономических показателей разработанного проекта системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске. Необходимо принять общие требования нормативно-правовых документов в области электроэнергетики и условий, связанных с обеспечением безопасности труда и защитой окружающей среды, при выполнении данной работы.

## **1 Исходная характеристика микрорайона**

### **1.1 Состав потребителей микрорайона**

Задачей раздела является наиболее точный и полный сбор данных о проектируемом микрорайоне. Рассматривается проектируемый микрорайон "Молодежный" в городе Олекминске Республики Саха (Якутия), который относится к электрическим сетям ПАО «Якутскэнерго» ЗЭС «Олекминского энергорайон».

Олекминский район расположен на юго-западе Якутии. По реке Лена его протяженность составляет более 400 км (западная граница проходит от Чапаевского наслега, до восточного в Саньяхтахском наслега). Площадь района 161 тыс. кв. км. Таким образом для разных частей района будет характерен свой температурный режим воздуха.

Рассматриваемый в проекте микрорайон относится к III климатической зоне. Климат носит резко-континентальный характер с низкими температурами воздуха зимой (до -59 град.) и высокими температурами летом (до +37 град.). Годовое количество осадков 358 мм. Средняя толщина снегового покрова 31 см, глубина промерзания 1,8 – 2 м. Основное направление ветров это - ветры северо-западные и юго-западные. Скорость ветра 1,9 м/с.

Район города расположен в области сплошной многолетней мерзлоты. Глубина сезонного оттаивания составляет от 0,4 до 3,0 метров.

Проектируемый микрорайон находится в северо-западной части города, и предназначен для переселения граждан в комфортное жилье по программе «Расселение аварийных домов».

Для разработки системы электроснабжения микрорайона «Молодежный» необходимо выполнить следующие шаги [15]:

- изучение технических условий и требований к системе электроснабжения, установленных местными органами власти и

- регулирующими органами. Это позволит определить требования к мощности, надежности и безопасности системы электроснабжения;
- проведение технико-экономического обоснования проекта. Необходимо оценить объем работ, затраты на строительство и эксплуатацию системы электроснабжения, а также прогнозируемый объем потребления электроэнергии жителями микрорайона;
  - проектирование системы электроснабжения. На основе требований, определенных на предыдущих этапах, необходимо разработать проект системы электроснабжения, включающий в себя выбор и расчет трансформаторной подстанции, линий электропередачи, распределительных устройств, силовых кабелей и других элементов;
  - согласование проекта с местными органами власти и регулирующими органами. Перед началом строительства необходимо получить все необходимые разрешения и согласования;
  - проведение строительных работ. Строительство системы электроснабжения должно выполняться в соответствии с проектом и требованиями безопасности;
  - монтаж и подключение оборудования. После завершения строительства необходимо произвести монтаж и подключение всех элементов системы электроснабжения;
  - наладка и пуско-наладочные работы. После монтажа и подключения необходимо провести наладку системы электроснабжения, а также пуско-наладочные работы, чтобы убедиться в правильной работе всех элементов системы;
  - эксплуатация системы электроснабжения. После пуско-наладочных работ система электроснабжения готова к эксплуатации. Необходимо проводить регулярное техническое обслуживание, чтобы обеспечить безопасность и надежность работы системы;
  - мониторинг и контроль. Необходимо осуществлять мониторинг и контроль за работой системы электроснабжения, включая контроль за

напряжением, током, мощностью и другими параметрами, а также оперативно реагировать на любые отклонения и неисправности;

- обучение и информирование пользователей. Жители микрорайона должны быть проинформированы о правилах использования электроэнергии и об общей работе системы электроснабжения. Необходимо также организовать обучение пользователей по правильному использованию электроприборов и предотвращению аварийных ситуаций.

Все вышеперечисленные этапы необходимо проводить в тесном сотрудничестве с местными органами власти и специалистами в области электроснабжения, чтобы обеспечить безопасность и эффективность системы электроснабжения микрорайона «Молодежный» города Олекминска Республики Саха (Якутия).

Проводится изучение технических условий и требований к системе электроснабжения, установленных местными органами власти и регулирующими органами.

Согласно техническим условиям на выполнение работы, микрорайон «Молодежный», расположенного в городе Олекминске Республики Саха (Якутия), является вновь строящимся объектом, который необходимо ввести в эксплуатацию после осуществления мероприятий по проектированию.

Планируется, что проектируемый микрорайон будет питаться от энергосистемы через понизительную двухтрансформаторную подстанцию 10/0,4 кВ.

Основными потребителями в проектируемом микрорайоне «Молодежный», расположенного в городе Олекминске Республики Саха (Якутия), согласно техническому заданию на выполнение работы, можно условно систематизировать и разделить на следующие основные типы:

- «многоквартирные жилые дома разной этажности» [8];
- «общественные здания» [8];
- «сети наружного освещения» [8].



«Основные характеристики указанных типов потребителей приведены в работе далее» [8].

Первой группой потребителей в проектируемом микрорайоне «Молодежный», расположенного в городе Олекминске Республики Саха (Якутия), согласно техническому заданию на выполнение работы, являются «многоквартирные жилые дома разной этажности» [8].

На объекте проектирования предусмотрены жилые дома этажностью в пять, девять и двенадцать этажей.

При этом лифтовые установки присутствуют в девятиэтажных и двенадцатиэтажных жилых домах.

Все жилые дома любой этажности относятся к III категории надёжности по [11].

«Состав и характеристики многоквартирных жилых домов, расположенных в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия), приведены в таблице 1» [8].

Таблица 1 – Состав и характеристики многоквартирных жилых домов, расположенных в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия)

| Наименование               | Обозначение | Число, шт. |         |        |
|----------------------------|-------------|------------|---------|--------|
|                            |             | этажей     | квартир | лифтов |
| Жилой дом квартирного типа | К-1         | 5          | 68      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-13        | 5          | 68      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-17        | 5          | 68      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-27        | 5          | 68      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | Б-6         | 5          | 68      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | Б-3         | 5          | 68      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-3         | 5          | 45      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-5         | 5          | 45      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-9         | 5          | 45      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | Б-8         | 5          | 45      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | Б-2         | 5          | 45      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-11        | 5          | 51      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-19        | 5          | 51      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-21        | 5          | 51      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-23        | 5          | 51      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | К-25        | 5          | 51      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | Б-4         | 5          | 51      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | Б-7         | 5          | 51      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | Б-5         | 5          | 51      | -      |

Продолжение таблицы 1

| Наименование               | Обозначение | Число, шт. |         |        |
|----------------------------|-------------|------------|---------|--------|
|                            |             | этажей     | квартир | лифтов |
| Жилой дом квартирного типа | С-54        | 5          | 51      | -      |
| Жилой дом квартирного типа | С-42        | 12         | 48      | 2      |
| Жилой дом квартирного типа | С-44        | 12         | 48      | 2      |
| Жилой дом квартирного типа | С-46        | 12         | 48      | 2      |
| Жилой дом квартирного типа | С-48        | 9          | 144     | 4      |
| Жилой дом квартирного типа | С-50        | 9          | 144     | 4      |

Второй основной группой проектируемого микрорайона является группа общественных зданий.

К этой группе относятся административные и коммунальные общественные потребители государственной и частной собственности (детские сады, школы, магазины, парикмахерские, рестораны, торговые центры и прочие аналогичные объекты).

«Состав и характеристики общественных зданий, расположенных в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия), приведены в таблице 2» [16].

Таблица 2 – Состав и характеристики общественных зданий, расположенных в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия)

| Наименование                        | Обозначение | Чел/м <sup>2</sup> | Категория надёжности |
|-------------------------------------|-------------|--------------------|----------------------|
| Детский сад                         | О-1         | 250                | II                   |
| Средняя школа                       | О-2         | 1000               | II                   |
| Продуктовый магазин                 | О-3         | 150                | III                  |
| Парикмахерская                      | О-4         | 70                 | III                  |
| Магазин непродовольственных товаров | О-5         | 210                | III                  |
| Ресторан                            | О-6         | 50                 | III                  |
| Автомобильный магазин               | О-7         | 70                 | III                  |
| Хозяйственный магазин               | О-8         | 280                | III                  |
| Торговый центр                      | О-9         | 360                | III                  |
| Алко-маркет                         | О-10        | 210                | III                  |
| Детский сад-ясли                    | О-11        | 120                | II                   |

Кроме того, в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия), необходимо предусмотреть

освещение территорий, улиц, а также подсветку некоторых зданий с прилегающими сооружениями (в частности, парковки).

Для удобства территория улиц и зданий, подлежащих искусственному освещению, расположенных в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия), разделена на участки.

На каждом из данных участков, в зависимости от габаритов освещаемого объекта и его нормируемой освещённости, а также длины участка, предусматривается определённое число опор системы наружного освещения, для которых далее в работе необходимо выбрать и проверить количество и мощность светильников и источников освещения.

«Схема расположения осветительных приборов односторонняя, на опорах с одной стороны проезжей части» [12].

«Расстояние между светильниками по типовому проекту при нормируемой освещённости 4 лк составляет 35 м» [14].

Исключение составляет участок от питающей ТП к первой опоре (участок 1-1), длина которого равна 50 м.

Состав и характеристики сетей наружного освещения территории улиц и зданий, подлежащих искусственному освещению, расположенных в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия), приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Состав и характеристики сетей наружного освещения территории улиц и зданий, подлежащих искусственному освещению, расположенных в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия)

| Участок | S (мм <sup>2</sup> ) | L уч. (м) |
|---------|----------------------|-----------|
| ТП0-1-1 | 10                   | 50        |
| 1-2     | 10                   | 35        |
| 2-3     | 10                   | 35        |
| 3-4     | 10                   | 35        |
| 4-5     | 10                   | 35        |
| 5-6     | 10                   | 35        |
| 6-7     | 10                   | 35        |
| 7-8     | 10                   | 35        |
| 8-9     | 10                   | 35        |

Продолжение таблицы 3

| Участок | S (мм <sup>2</sup> ) | L уч. (м) |
|---------|----------------------|-----------|
| ТП0-1-1 | 10                   | 50        |
| 9-10    | 10                   | 35        |
| 10-11   | 10                   | 35        |
| 11-12   | 10                   | 35        |
| 12-13   | 10                   | 35        |
| 13-14   | 10                   | 35        |
| 14-15   | 10                   | 35        |
| 15-16   | 10 </td <td>35</td>  | 35        |
| 16-17   | 10                   | 35        |
| 17-18   | 10                   | 35        |
| 18-19   | 10                   | 35        |
| 19-20   | 10                   | 35        |
| 20-21   | 10                   | 35        |
| 21-22   | 10                   | 35        |
| 22-23   | 10                   | 35        |
| 23-24   | 10                   | 35        |

«План расположения потребителей в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия), представлен на рисунке 1» [13].

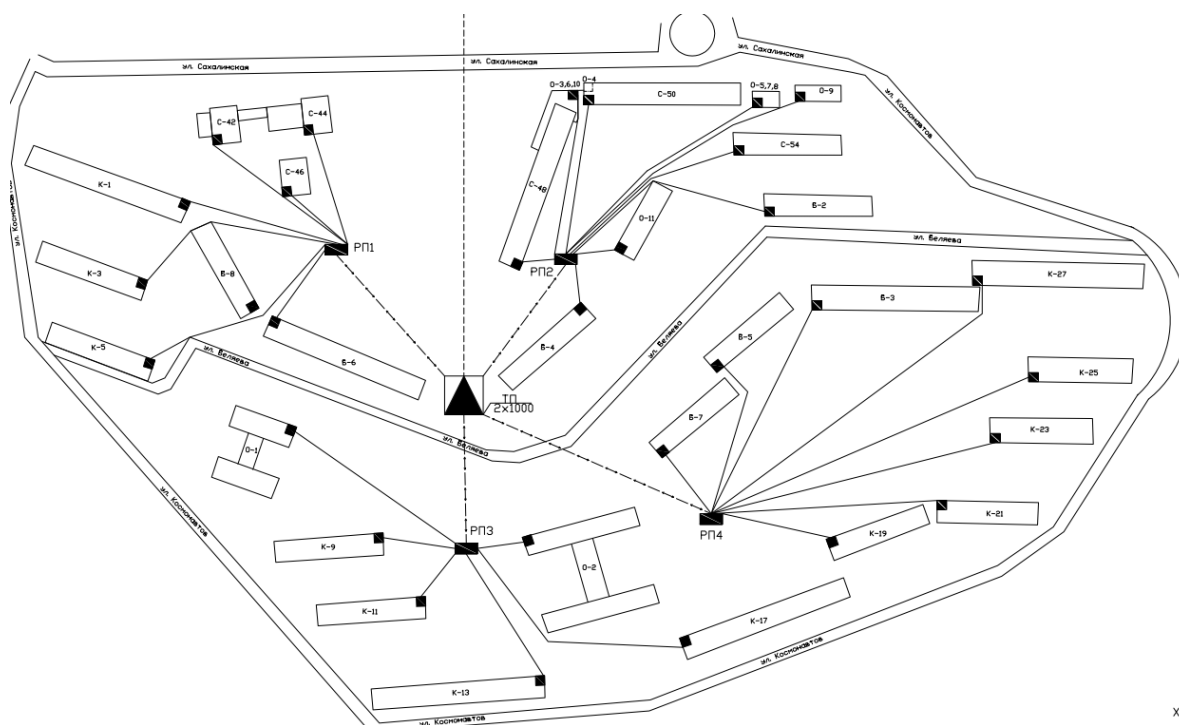


Рисунок 1 – План расположения потребителей в проектируемом микрорайоне «Молодежный», города Олекминска Республики Саха (Якутия), согласно топографической карте данного города

Таким образом, на основании приведённых технических условий и требований к системе электроснабжения, установленных местными органами власти и регулирующими органами, далее в работе проводится разработка проекта системы электроснабжения микрорайона «Молодежный» города Олекминска Республики Саха (Якутия).

## **1.2 Основы проектирования систем электроснабжения микрорайонов городов**

Для разработки качественного проекта системы электроснабжения микрорайона «Молодежный» города Олекминска Республики Саха (Якутия), необходимо рассмотреть основы проектирования систем электроснабжения микрорайонов городов.

Проектирование системы электроснабжения микрорайонов городов является сложным процессом, требующим учета многих факторов, таких как планирование территории, потребности жителей, мощность электрооборудования и другие.

Основы проектирования системы электроснабжения микрорайонов городов могут быть описаны следующим образом [15]:

- анализ потребностей. Необходимо определить потребности жителей микрорайона в электроэнергии, исходя из численности населения, типа зданий, используемых электроприборов, а также иных факторов;
- разработка технического задания. Необходимо разработать техническое задание на проектирование системы электроснабжения микрорайона, включающее в себя требования к оборудованию, мощности и надежности;
- выбор и расчет трансформаторной подстанции. Трансформаторная подстанция является одним из ключевых элементов системы электроснабжения. Необходимо выбрать тип и мощность

- трансформаторной подстанции, а также расчет ее параметров в соответствии с требованиями потребностей микрорайона;
- разработка схемы электроснабжения. Необходимо разработать схему электроснабжения микрорайона, включающую в себя расчет и выбор линий электропередачи, распределительных устройств и других элементов;
  - расчет мощности и нагрузки. Необходимо рассчитать мощность и нагрузку системы электроснабжения микрорайона, чтобы обеспечить необходимый уровень надежности и эффективности;
  - выбор оборудования. Необходимо выбрать оборудование для системы электроснабжения микрорайона, включая силовые кабели, трансформаторы, распределительные устройства и другие элементы;
  - разработка проектной документации. На основе технического задания необходимо разработать проектную документацию на систему электроснабжения микрорайона, включающую в себя схему, расчеты и спецификации оборудования;
  - согласование с органами власти. Необходимо получить все необходимые разрешения и согласования с местными органами власти и регулирующими органами перед началом строительства;
  - строительство и монтаж. После получения всех необходимых разрешений и согласований необходимо начать строительство и монтаж системы электроснабжения микрорайона. Строительство должно проводиться в соответствии с проектной документацией и требованиями безопасности;
  - пусконаладочные работы и наладка. После завершения строительства и монтажа системы электроснабжения необходимо провести пусконаладочные работы и наладку, чтобы обеспечить правильную работу всех элементов системы;
  - эксплуатация и обслуживание. После пусконаладочных работ система электроснабжения готова к эксплуатации. Необходимо проводить

- регулярное техническое обслуживание, чтобы обеспечить безопасность и надежность работы системы;
- мониторинг и контроль. Необходимо осуществлять мониторинг и контроль за работой системы электроснабжения, включая контроль за напряжением, током, мощностью и другими параметрами, а также оперативно реагировать на любые отклонения и неисправности;
  - обучение и информирование пользователей. Жители микрорайона должны быть проинформированы о правилах использования электроэнергии и об общей работе системы электроснабжения. Необходимо также организовать обучение пользователей по правильному использованию электроприборов и предотвращению аварийных ситуаций.

Все вышеперечисленные этапы необходимо проводить в тесном сотрудничестве с местными органами власти и специалистами в области электроснабжения, чтобы обеспечить безопасность и эффективность системы электроснабжения микрорайона города.

Система электроснабжения крупного города включает в себя, как правило, несколько промежуточных звеньев и различных классов напряжения. При этом система электроснабжения города состоит из совокупности трансформаторных подстанций и электрических сетей.

Типичная схема электроснабжения крупного и среднего города представлена на рисунке 2.

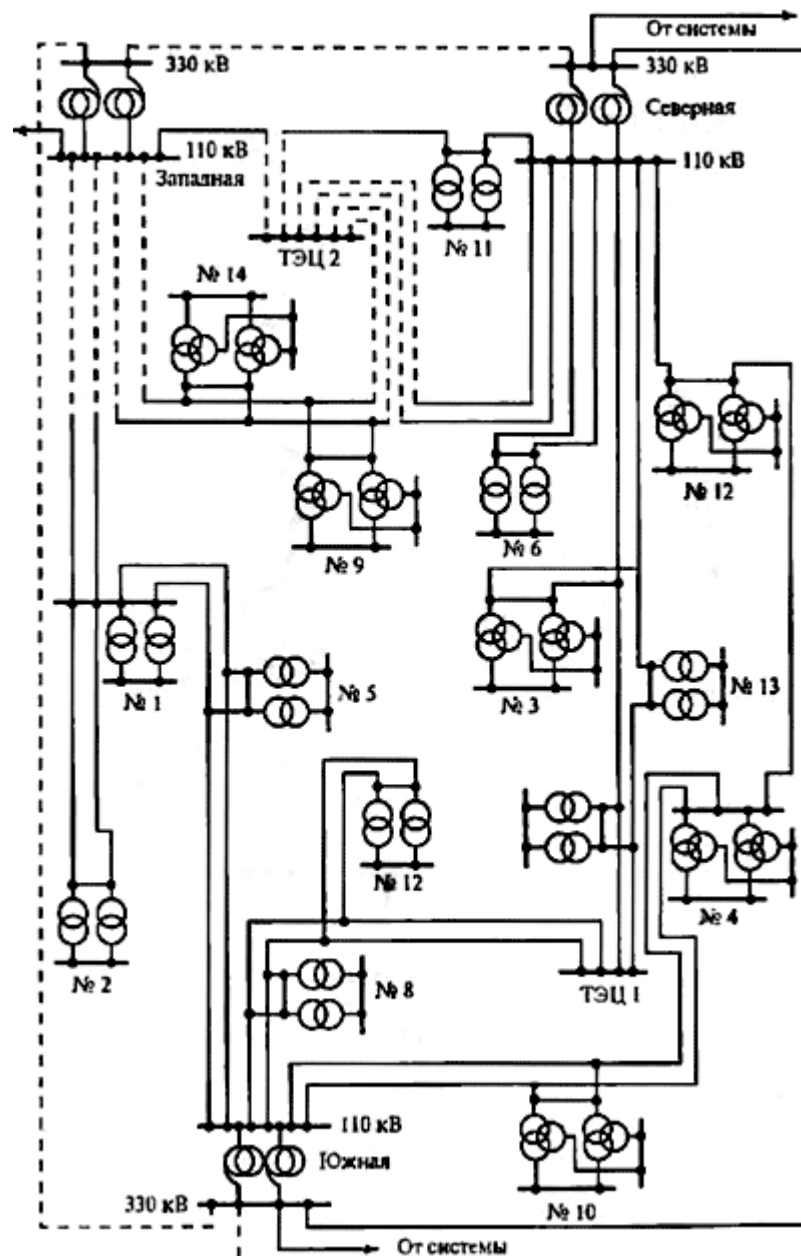


Рисунок 2 – Типичная схема электроснабжения крупного и среднего города

Система электроснабжения небольшого города, в основном, включает в себя применение меньшего числа промежуточных звеньев и классов напряжения значительно меньших, чем при электроснабжении крупных городов. Как правило, при проектировании стремятся уменьшить количество питающих и распределительных подстанций, а также промежуточных звеньев схемы, сохранив при этом необходимый уровень резервирования.

Таким образом, установлено, что в основе системы электроснабжение микрорайона части небольшого города, осуществляется в работе на примере микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске



Республики Саха (Якутия), лежит одна понизительная подстанция 10/0,4 кВ, либо их совокупность.

Выводы по разделу.

В работе приведены исходные данные для проектирования микрорайона «Молодежный» основными потребителями электроэнергии являются многоквартирные дома и нежилые помещения (школа, детский сад, магазины и т.д.). Категория надежности для всех потребителей проектируемых сетей устанавливается II и III.

Указано, что в основе данной разработки лежит рабочий проект системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске Республики Саха (Якутия), обусловленный потребностью ввода новых объектов на территории данного микрорайона.

Для разработки качественного проекта системы электроснабжения микрорайона «Молодежный» города Олекминска Республики Саха (Якутия), рассмотрены основы проектирования систем электроснабжения микрорайонов городов. Установлено, что в основе системы электроснабжение микрорайона части небольшого города, осуществляется в работе на примере микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске Республики Саха (Якутия), лежит одна понизительная подстанция 10/0,4 кВ, либо их совокупность.

## **2 Проектирование системы электроснабжения микрорайона**

### **2.1 Выбор схемы электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска**

На основе приведённых ранее исходных данных, а также основных теоретических сведений, далее в работе проводится выбор схемы электроснабжения рассматриваемого микрорайона города Олекминска.

Выбор схемы электроснабжения микрорайона города Олекминска зависит от ряда факторов, таких как планировка микрорайона, количество зданий и жилых помещений, расположение трансформаторных подстанций и линий электропередач, а также будущие потребности в электроэнергии.

В основе системы электроснабжения данного микрорайона, лежит понизительная трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ, обеспечивающая связь с энергосистемой и понижение электроэнергии с высокого напряжения 10 кВ до низкого напряжения 0,38/0,22 кВ.

Проводится выбор схемы внешнего электроснабжения ТП-10/0,4 кВ проектируемого микрорайона. При этом данная ТП-10/0,4 кВ образует общую сеть (питающую схему) совместно с аналогичными подстанциями других микрорайонов системы электроснабжения города Олекминска. Поэтому данный вопрос требует комплексного подхода и рассматривается в совокупности с двумя другими ТП-10/0,4 кВ (ТП-2 и ТП-3).

Известно, что во внешних системах электроснабжения применяются, в основном, два вида схемы: радиальная и петлевая (магистраль с резервированием).

Так как в системе электроснабжения микрорайона присутствуют потребители II категории надёжности, следовательно, должно быть обеспечено два независимых источника питания [11]. Таким образом, на питающей ТП-10/0,4 кВ устанавливается два силовых трансформатора.

Один из наиболее распространенных вариантов схемы электроснабжения жилых микрорайонов – это схема с применением петлевой сети. В этом случае, линии электропередач подводятся к микрорайону из разных направлений, а затем соединяются в петли, образуя замкнутое кольцо. Каждое здание подключается к кольцу через трансформаторную подстанцию, что обеспечивает надежность и устойчивость системы электроснабжения.

Схема петлевой питающей сети 10 кВ системы электроснабжения микрорайона представлена на рисунке 3.

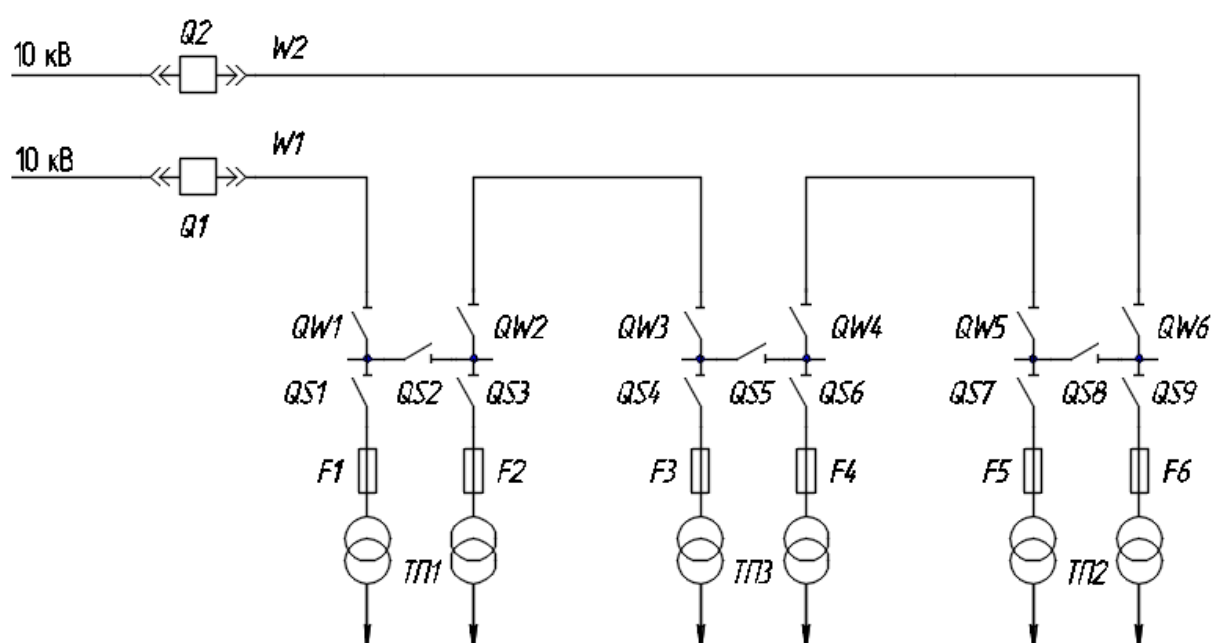


Рисунок 3 – Схема петлевой питающей сети 10 кВ системы электроснабжения микрорайона

Еще один вариант – это схема с применением радиальной (двухлучевой) сети. В этом случае, линии электропередач подводятся к микрорайону из одного или нескольких направлений и напрямую подключаются к трансформаторным подстанциям.

Эта схема обычно используется в небольших микрорайонах с низкой плотностью застройки.

Данная схема представлена на рисунке 4.

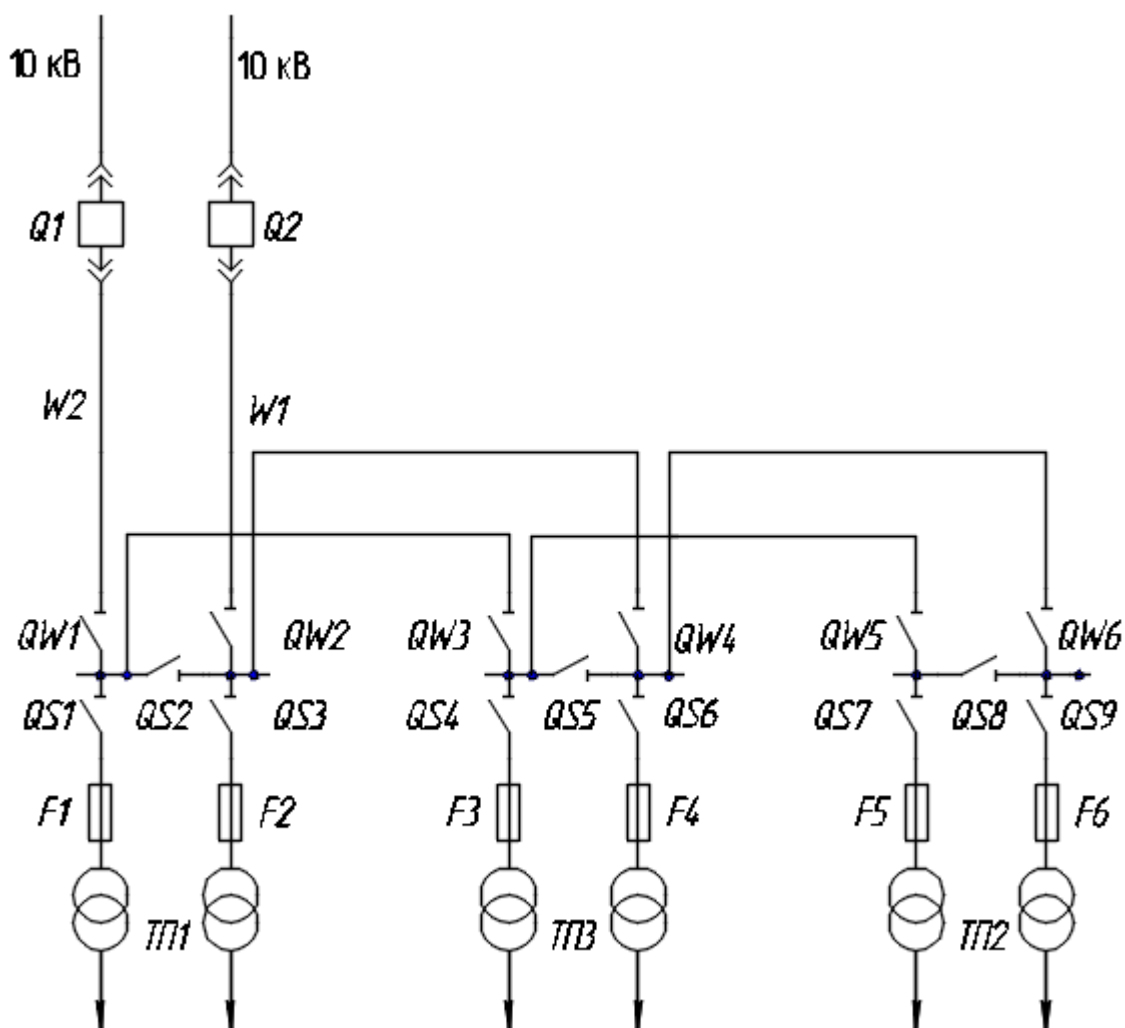


Рисунок 4 – Схема радиальной (двухлучевой) питающей сети 10 кВ системы электроснабжения микрорайона

Основываясь на основных теоретических сведениях, с учётом нормативно-правовых документов, для применения в схеме внешнего электроснабжения микрорайона, принимается радиальный тип (двухлучевая схема) питающей сети 10 кВ.

Двухлучевая схема электроснабжения является одной из наиболее распространенных схем электроснабжения и имеет несколько преимуществ:

- надежность и безопасность. Двухлучевая схема электроснабжения обеспечивает надежность и безопасность работы системы, так как при отключении одного луча, электроснабжение продолжает работать через другой луч;

- экономия на оборудовании. Двухлучевая схема электроснабжения позволяет сократить количество используемого оборудования, так как используется одна трансформаторная подстанция на два луча, что экономит средства на строительство и эксплуатацию;
- простота управления. Двухлучевая схема электроснабжения имеет простую и удобную систему управления, что позволяет оперативно реагировать на любые отклонения и неисправности;
- устойчивость к перегрузкам. Двухлучевая схема электроснабжения позволяет более равномерно распределять нагрузку на оба луча, что обеспечивает устойчивость к перегрузкам и предотвращает возможные аварийные ситуации;
- возможность ремонта и технического обслуживания. Двухлучевая схема электроснабжения позволяет проводить ремонт и техническое обслуживание одного луча, не прерывая работы электроснабжения;
- гибкость и расширяемость. Двухлучевая схема электроснабжения обладает гибкостью и расширяемостью, так как позволяет легко добавлять новые лучи при расширении территории электроснабжения.

Таким образом, выбор данного типа схемы в работе является аргументированным и обоснованным.

Далее от шин питающей ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения микрорайона, по радиальной схеме получают питание распределительные пункты (РП), количество и расположение которых выбирается после расчёта электрических нагрузок.

При этом в схеме между соседними РП предусматривается резервирование секционными автоматами.

От шин РП на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ питаются распределительные щиты (РЩ) потребителей. При этом на каждый объект (строение) микрорайона предполагается один РЩ.

Таким образом, принятые схемные решения соответствуют нормам [11].

## 2.2 Расчёт электрических нагрузок

Расчет электрических нагрузок проектируемого микрорайона города Олекминска включает в себя определение общей потребляемой мощности населением, а также нагрузок, связанных с работой электроприборов и освещения в зданиях и общественных помещениях.

Значение средней потребляемой мощности на одно жилое помещение зависит от многих факторов, таких как наличие электроприборов, количество жильцов, тип и состояние здания и другие. Обычно это значение лежит в диапазоне от 2 до 4 кВт на одно жилое помещение [6].

Для определения нагрузок, связанных с работой электроприборов и освещения, необходимо провести инвентаризацию используемых приборов и оценить их потребляемую мощность и режим работы.

Полученные значения общей потребляемой мощности и нагрузок на освещение и электроприборы могут быть использованы для выбора оптимальной схемы электроснабжения микрорайона, расчета необходимой мощности трансформаторных подстанций и линий электропередач, а также для определения требований к резервированию системы электроснабжения.

Согласно заданию, в работе необходимо разработать проект системы электроснабжения микрорайона г. Олекминска, получающего питание от подстанции 10/0,4 кВ, при соблюдении требований надёжности и экономичности принятых решений.

Установлено, что многие объекты микрорайона относятся к потребителям II-й категории и также требуют двух независимых источников питания.

Согласно приведённым исходным данным и характеристикам, далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок проектируемого микрорайона г. Олекминска.

Расчёт электрических нагрузок в работе включает:

- «расчёт нагрузки жилых потребителей» [18];

– «расчёт нагрузки общественно-административных зданий и коммунально-бытовых потребителей» [18];

– «расчёт нагрузки уличного освещения» [18].

Известно, что в сети переменного тока промышленной частоты расчётная нагрузка состоит из следующих составляющих: активная, реактивная и полная нагрузка.

Исходя из приведённых сведений, далее в работе осуществляется расчёт нагрузок по указанным типам.

«Расчётные электрические нагрузки от жилых квартир» [18]:

$$P_{кв.} = P_{кв.уд} \cdot n, \quad (1)$$

где « $P_{кв.уд}$  – удельная расчётная электрическая нагрузка квартир» [1];

« $n$  – количество квартир» [14].

«Расчётная электрическая активная нагрузка жилых домов» [16]:

$$P_{р.ж.д} = P_{кв.} + K_y \cdot P_c, \quad (2)$$

где « $P_{кв.}$ , кВт – расчётная электрическая нагрузка квартир» [18];

« $P_c$ , кВт – расчётная нагрузка силовых электроприёмников жилого дома» [7];

« $K_y$  – коэффициент участия в максимуме нагрузки» [18].

«Активная нагрузка лифтовых установок» [18]:

$$P_{р.л} = K_{с.л} + \sum_{i=1}^n P_{ni}, \quad (3)$$

где « $K_{с.л}$  – коэффициент спроса» [1];

« $n_l$  – количество лифтовых установок» [17];

« $P_{ni}$ , кВт – установленная мощность электродвигателя лифта» [18].

Суммарная расчётная нагрузка жилых домов принимается равной алгебраической сумме расчётной нагрузки жилых домов и расчётной активной нагрузки лифтовых установок.

«Расчётная электрическая реактивная нагрузка жилых домов» [16]:

$$Q_{p.ж.д} = P_{кв} \cdot tg\varphi_{кв} + k_y \cdot P_l \cdot tg\varphi_l, \quad (4)$$

где « $tg \varphi_{кв}$  и  $tg \varphi_l$  – расчетные коэффициенты» [4].

«Полная расчётная нагрузка жилого дома» [18]:

$$S_{p.ж.д} = S_{p.ж.д} = \sqrt{P_{p.ж.д}^2 + Q_{p.ж.д}^2} = \frac{P_{кв.}}{\cos \varphi_{кв.}} + 0,9 \cdot \frac{P_{p.л.}}{\cos \varphi_l}. \quad (5)$$

Для примера подробно рассчитывается нагрузка жилого дома К-1 по приведённым выше условиям (1) – (5):

$$P_{кв.} = 1,2 - \frac{1,2 - 1,05}{60 - 40} \cdot (58 - 40) = 1,065 \text{ кВт} / \text{кв.}$$

$$P_{кв} = 1,065 \cdot 58 = 61,77 \text{ кВт.}$$

$$P_l = 0 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.ж.д.} = 61,77 + 0 = 61,77 \text{ кВт.}$$

$$P_{p.ж.д.} = Q_{p.ж.д.} = 61,77 \cdot 0,29 = 17,91 \text{ квар.}$$

$$S_{p.ж.д.} = \sqrt{61,77^2 + 17,91^2} = 64,31 \text{ кВА.}$$

«Аналогичные расчёты выполняются для остальных жилых домов проектируемого микрорайона г. Олекминска» [8].

«Результаты сведены в таблицу 4» [8].



Таблица 4 – Результаты расчёта нагрузки жилых домов проектируемого микрорайона г. Олекминска

| Номер жилого дома | Число квартир, $N_{кв}$ | Число этажей | $P_{уд.кв.}$ , кВт/кв | $n_l/P_l$ , шт/кВт | $P_{р.ж.д.}$ , кВт | $Q_{р.ж.д.}$ , квар | $S_{р.ж.д.}$ , кВА |
|-------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| К-1               | 68                      | 5            | 1,065                 | -                  | 61,77              | 17,91               | 64,31              |
| К-13              | 68                      | 5            | 1,065                 | -                  | 61,77              | 17,91               | 64,31              |
| К-17              | 68                      | 5            | 1,065                 | -                  | 61,77              | 17,91               | 64,31              |
| К-27              | 68                      | 5            | 1,065                 | -                  | 61,77              | 17,91               | 64,31              |
| Б-6               | 68                      | 5            | 1,065                 | -                  | 61,77              | 17,91               | 64,31              |
| Б-3               | 68                      | 5            | 1,065                 | -                  | 61,77              | 17,91               | 64,31              |
| К-3               | 45                      | 5            | 1,163                 | -                  | 52,31              | 15,17               | 54,47              |
| К-5               | 45                      | 5            | 1,163                 | -                  | 52,31              | 15,17               | 54,47              |
| К-9               | 45                      | 5            | 1,163                 | -                  | 52,31              | 15,17               | 54,47              |
| Б-8               | 45                      | 5            | 1,163                 | -                  | 52,31              | 15,17               | 54,47              |
| Б-2               | 45                      | 5            | 1,163                 | -                  | 52,31              | 15,17               | 54,47              |
| К-11              | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| К-19              | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| К-21              | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| К-23              | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| К-25              | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| Б-4               | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| Б-7               | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| Б-5               | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| С-54              | 51                      | 5            | 1,12                  | -                  | 57,12              | 16,56               | 59,47              |
| С-42              | 48                      | 12           | 1,14                  | 2/4,5              | 60,12              | 18,34               | 62,86              |
| С-44              | 48                      | 12           | 1,14                  | 2/4,5              | 60,12              | 18,34               | 62,86              |
| С-46              | 48                      | 12           | 1,14                  | 2/4,5              | 60,12              | 18,34               | 62,86              |
| С-48              | 144                     | 9            | 0,82                  | 4/4,5              | 128,88             | 38,41               | 134,48             |
| С-50              | 144                     | 9            | 0,82                  | 4/4,5              | 128,88             | 38,41               | 134,48             |

«Расчётная активная нагрузка общественно-административных зданий и коммунально-бытовых потребителей» [5] проектируемого микрорайона г. Олекминска [1]:

$$P_o = P_{уд} \cdot n, \quad (6)$$

где « $P_{уд}$  – удельная электрическая нагрузка» [1];

« $n$  – количественный показатель для объекта» [8].

Расчётная реактивная нагрузка определяется по условию (4).

«Полная расчётная нагрузка» [1]:

$$S_{o.} = \frac{P_{o.}}{\cos \varphi_{o.}} = \sqrt{P_{o.}^2 + Q_{o.}^2}, \text{ кВА.} \quad (7)$$

«На примере детского сада» [1]:

$$P_{o.} = 0,46 \cdot 250 = 115 \text{ кВт.}$$

$$Q_{o.} = 115 \cdot 0,2 = 23 \text{ квар.}$$

$$S_{o.} = \sqrt{115^2 + 23^2} = 117,3 \text{ кВА.}$$

«Аналогичные расчёты выполняются для остальных объектов проектируемого микрорайона г. Олекминска» [8].

Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта электрических нагрузок общественно-административных зданий и коммунально-бытовых объектов микрорайона

| Объект | М    | $P_{уд.о.з.}$ , кВт/ед. | $\text{tg } \varphi$ | $P_{р.о.з.}$ , кВт | $Q_{р.о.з.}$ , квар | $S_{р.о.з.}$ , кВА |
|--------|------|-------------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| О-1    | 250  | 0,46                    | 0,2                  | 115,0              | 23,0                | 117,3              |
| О-2    | 1000 | 0,25                    | 0,33                 | 250,0              | 82,5                | 263,26             |
| О-3    | 150  | 0,25                    | 0,62                 | 37,5               | 23,25               | 44,12              |
| О-4    | 70   | 0,25                    | 0,62                 | 17,5               | 10,85               | 20,59              |
| О-5    | 210  | 0,25                    | 0,62                 | 52,5               | 32,55               | 61,77              |
| О-6    | 50   | 0,66                    | 0,2                  | 33,0               | 6,6                 | 33,65              |
| О-7    | 70   | 0,25                    | 0,62                 | 17,5               | 10,85               | 20,59              |
| О-8    | 280  | 0,25                    | 0,62                 | 70,0               | 43,4                | 82,36              |
| О-9    | 360  | 0,25                    | 0,62                 | 90,0               | 55,8                | 105,89             |
| О-10   | 210  | 0,25                    | 0,62                 | 52,5               | 32,55               | 61,77              |
| О-11   | 120  | 0,46                    | 0,2                  | 55,2               | 11,04               | 56,29              |

Далее рассчитывается нагрузка освещения.

«Число светильников» [2]:

$$m = \frac{\lambda}{l_{св}}, \text{ шт.} \quad (8)$$

«Активная нагрузка уличного освещения» [2]:

$$P_{p.осв.} = P_{св.} \cdot m = \sum_{i=1}^n P_{св.} \cdot n_i, \text{ кВт.} \quad (9)$$

$$P_{p.y.o.} = 0,055 \cdot 15 + 0,055 \cdot 25 + 0,055 \cdot 10 = 2,75 \text{ кВт.}$$

«Реактивная нагрузка уличного освещения» [2]:

$$Q_{p.осв.} = P_{p.осв.} \cdot tg\varphi, \text{ квар.} \quad (10)$$

$$Q_{p.o.мкр.} = 2,75 \cdot 0,328 = 0,9 \text{ квар.}$$

«Полная нагрузка уличного освещения» [2]:

$$S_{p.осв.} = \sqrt{P_{p.осв.}^2 + Q_{p.осв.}^2}, \text{ кВА.} \quad (11)$$

$$S_{p.o.мкр.} = \sqrt{2,75^2 + 0,9^2} = 2,89 \text{ кВА.}$$

«Суммарная расчётная активная и реактивная нагрузка проектируемого микрорайона» [2]:

$$P_{микр} = P_{p.max} + \sum_1^{n_i} k_{y_i} \cdot P_{p.i}, \text{ кВт,} \quad (12)$$

$$Q_{микр} = P_{p.max} \cdot tg\varphi + \sum_1^n k_{y.i} \cdot (P_{кв.i} \cdot tg\varphi_{кв.i} + k'_{с.i} \cdot P_{л.i} \cdot tg\varphi_{л.i}), \quad (13)$$

где « $P_{p.max}$  – максимальная электрическая нагрузка групп однородных потребителей, кВт» [3];

« $P_{p.i}$  – значение расчетных нагрузок групп потребителей, кВт» [3];

« $K_{y.i}$  – нормируемый коэффициент участия (несовпадения) максимумов нагрузки» [4].

Исходя из типа однородных потребителей, условно принимается разделение всех объектов системы электроснабжения микрорайона, на два «условных дома», для каждого из которых проводится расчёт нагрузки.

«Для первого «условного дома»» [3]:

$$n_l \cdot P_l = 14 \cdot 4,5 = 63 \text{ кВт},$$

$$P_{кв.705} = 1,27 - \frac{1,27 - 1,23}{600 - 400} \cdot (432 - 400) = 1,26 \text{ кВт / кв},$$

$$P_{кв.у.д.1} = 1,26 \cdot 432 = 545,9 \text{ кВт},$$

$$P_{л.у.д.1} = 0,65 \cdot 63 = 40,95 \text{ кВт},$$

$$P_{р.у.д.1} = 545,9 + 0,9 \cdot 40,95 = 582,76 \text{ кВт},$$

$$Q_{р.у.д.1} = 545,9 \cdot 0,2 + 0,9 \cdot 40,95 \cdot 1,17 = 152,3 \text{ квар},$$

$$S_{р.у.д.1} = \sqrt{582,76^2 + 152,3^2} = 602,3 \text{ кВА}.$$

«Для второго «условного дома»» [3]:

$$P_{кв.562} = 0,69 - \frac{0,69 - 0,67}{1200 - 1000} (1200 - 1092) = 0,68 \text{ кВт / кв},$$

$$P_{кв.у.д.2} = 0,68 \cdot 1092 = 742,56 \text{ кВт},$$

$$Q_{р.у.д.2} = 742,56 \cdot 0,29 = 215,34 \text{ квар},$$

$$S_{р.у.д.2} = \sqrt{742,56^2 + 215,34^2} = 773,15 \text{ кВА}.$$

«Суммарная расчетная нагрузка микрорайона» [3]:

$$P_{р.мкр} = 582,76 + 742,56 + (115 \cdot 0,5 + 250 \cdot 0,5 + 37,5 \cdot 0,4 + 17,5 \cdot 0,4 + 52,5 \cdot 0,4 + 33 \cdot 0,4 + 17,5 \cdot 0,4 + 70 \cdot 0,4 + 90 \cdot 0,4 + 52,5 \cdot 0,4 + 55,2 \cdot 0,5) + 2,75 = 1668,1 \text{ кВт}.$$

«Реактивная расчетная нагрузка микрорайона, квар» [3]:

$$Q_{p.мкр} = 152,3 + 215,34 + (115 \cdot 0,5 \cdot 0,62 + 250 \cdot 0,5 \cdot 0,62 + 37,5 \cdot 0,4 \cdot 0,2 + 17,5 \cdot 0,4 \cdot 0,2 + 52,5 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + 33 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + 17,5 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + 70 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + 90 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + 52,5 \cdot 0,4 \cdot 0,62 + 55,2 \cdot 0,5 \cdot 0,62) + 2,89 = 456,29 \text{ квар}$$

«Полная расчетная нагрузка микрорайона, кВА» [3]:

$$S_{p.мкр.} = \sqrt{1668,1^2 + 456,29^2} = 1729,38 \text{ кВА.}$$

Полученные результаты нагрузок используются в работе далее.

### **2.3 Выбор трансформаторов на питающей подстанции 10/0,4 кВ**

Далее в работе проводится аргументированный выбор трансформаторов на питающей подстанции 10/0,4 кВ.

Известно, что выбор трансформаторов на подстанциях проектируемого микрорайона города зависит от нескольких факторов, включая:

- общая мощность потребления электроэнергии в микрорайоне. Это важный параметр, который определяет общее количество трансформаторов, необходимых для обеспечения потребностей микрорайона в электроэнергии;
- расстояние между трансформаторами и потребителями. Чем дальше расположены трансформаторы от потребителей, тем выше вероятность потери энергии на протяжении пути передачи;
- нагрузка потребителей. В зависимости от типа зданий и количества жителей в микрорайоне может быть необходимо различное количество трансформаторов различной мощности;

- надежность системы электроснабжения. Для обеспечения надежности системы необходимо учитывать возможные отказы и аварии и предусматривать резервирование трансформаторов;
- соответствие нормам и требованиям регулирующих органов. При выборе трансформаторов необходимо учитывать соответствие требованиям нормативно-технической документации и правилам эксплуатации.

В целом, выбор трансформаторов на подстанциях микрорайона города Олекминска должен осуществляться на основе комплексного анализа вышеперечисленных факторов.

«Мощность силовых трансформаторов на понизительной ТП-10/0,4 кВ проектируемого микрорайона г. Олекминска выбирается по условию» [19]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}}}{N\beta_{\text{т}}} \quad (14)$$

Для понизительной ТП-10/0,4 кВ проектируемого микрорайона г. Олекминска:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1668,1}{2 \cdot 0,85} = 981,2 \text{ кВА.}$$

Выбираются для установки на данной понизительной ТП-10/0,4 кВ проектируемого микрорайона г. Олекминска два силовых трансформатора марки ТМЗ-1000/10.

«Коэффициент загрузки в нормальном режиме» [3]:

$$\beta_{\text{т}} = \frac{S_{\text{р.ТП}}}{S_{\text{тр.ном.}} \cdot n_{\text{тр.}}} \quad (15)$$

«Коэффициент загрузки в послеаварийном режиме» [3]:

$$\beta_{ав.Т} = \frac{S_{р.ТП}}{S_{тр.ном.} \cdot (n_{тр.} - 1)}. \quad (16)$$

«Коэффициенты загрузки трансформаторов» [19]:

$$0,6 \leq \beta_T \leq 0,9; \beta_{ав.Т} \leq 1,8. \quad (17)$$

Для питающей ТП-10/0,4 кВ значения расчётных коэффициентов загрузки нормального режима и допустимой перегрузки в послеаварийном режиме, находятся в допустимых пределах:

$$\beta_T = \frac{0,5 \cdot 1729,38}{1000} = 0,85 \leq 0,9.$$

$$\beta_{ав.Т} = \frac{1729,38}{1000 \cdot (2 - 1)} \approx 1,7 \leq 1,8.$$

Фактическая загрузка и допустимая перегрузка выбранных силовых трансформаторов для установки на питающей ТП микрорайона «Молодёжный» в г. Олекминске в нормальном и послеаварийном режимах находится в допустимых пределах.

Таким образом, в работе, исходя из полученных результатов расчётов и проверок, окончательно принимается к установке на питающей ТП-10/0,4 кВ «два силовых трансформатора марки ТМЗ-1000/10» [19].

«Расположение питающей ТП-10/0,4 кВ с выбранными силовыми трансформаторами» [20], а также питающих и распределительных сетей микрорайона, представлено на графическом листе 1.

## **2.4 Выбор и проверка компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции**

Компенсация реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции является важной задачей для обеспечения эффективной и безопасной работы системы электроснабжения микрорайона.

Для выбора и проверки компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции 10/0,4 кВ системы электроснабжения микрорайона «Молодёжный», рекомендуется выполнить следующие шаги согласно [5]:

- расчет потребности в компенсации реактивной мощности. Необходимо рассчитать потребность в компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции, исходя из характеристик подключенных нагрузок и электрических параметров линий;
- выбор типа компенсации. Необходимо выбрать тип компенсации реактивной мощности, который наиболее подходит для конкретной системы электроснабжения. Существует несколько типов компенсации реактивной мощности, включая пассивную, активную и гибридную компенсацию;
- выбор оборудования. Необходимо выбрать оборудование для компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции, включая конденсаторы, регулируемые реакторы и другие элементы;
- разработка проекта. Необходимо разработать проект компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции, включающий в себя схему подключения оборудования и расчеты электрических параметров;
- установка и монтаж. После разработки проекта необходимо провести установку и монтаж оборудования для компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции;



- пусконаладочные работы. После установки и монтажа оборудования необходимо провести пусконаладочные работы и наладить систему компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции;
- мониторинг и контроль. После наладки необходимо осуществлять мониторинг и контроль за работой системы компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции, включая контроль за напряжением, током, мощностью и другими параметрами, а также оперативно реагировать на любые отклонения и неисправности;
- регулярное техническое обслуживание. Необходимо проводить регулярное техническое обслуживание системы компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции, чтобы обеспечить ее надежную работу и продлить срок ее службы;
- оценка эффективности. После установки и настройки системы компенсации реактивной мощности необходимо оценить ее эффективность. Для этого можно провести сравнительный анализ электрических параметров до и после установки системы компенсации реактивной мощности;
- внесение корректировок. Если в процессе мониторинга и контроля за работой системы компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции будут выявлены некоторые неисправности или несоответствия, необходимо провести корректировки в системе для устранения этих проблем.

Таким образом, выбор и проверка компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции системы электроснабжения микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска требует выполнения ряда шагов, начиная от расчета потребности в компенсации и выбора типа компенсации, заканчивая настройкой системы и оценкой ее эффективности. Это поможет обеспечить надежную и эффективную работу системы электроснабжения микрорайона и уменьшить расходы на электроэнергию.

«Значение максимальной реактивной мощности,  $Q_T$ , квар, которую желательно передавать через силовые трансформаторы ТП-10/0,4 кВ в сеть напряжением 0,4 кВ для обеспечения необходимого нормативного коэффициента загрузки силовых трансформаторов подстанции  $\beta_T$ » [5]:

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.т}})^2 - P_p^2}, \quad (18)$$

где « $N$  – количество силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, шт.» [5];

« $\beta_T$  – нормативное значение коэффициента загрузки силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ» [5];

« $S_{\text{ном.т}}$  – значение полной номинальной мощности силового трансформатора ТП-10/0,4, кВА» [5];

« $P_p$  – значение расчетной активной нагрузки на шинах 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ, кВт» [5].

Расчётная мощность конденсаторных установок (КУ) для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ микрорайона  $Q_{\text{н.к}}$ , квар:

$$Q_{\text{н.к}} = Q_p - Q_T, \quad (19)$$

где « $Q_p$  – значение реактивной расчётной нагрузки на шинах питающей ТП-10/0,4 кВ микрорайона, квар» [5].

Согласно (18)

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,85 \cdot 1000)^2 - 1668,1^2} = 327,8 \text{ квар.}$$

Согласно (19)

$$Q_{\text{н.к}} = 456,29 - 327,8 = 128,49 \text{ квар.}$$

Так как проектируемая ТП-10/0,4 кВ микрорайона – двухтрансформаторная, принимается к установке парное количество конденсаторных установок (КУ).

Исходя из этого, выбираются две КУ марки АУКРМ Alprimatic-60/0,4 с тремя степенями регулирования для каждой КУ (10+25+25 квар).

Суммарная мощность стандартных КУ для установки на ТП-10/0,4 кВ микрорайона:

$$Q_{\text{н.к.ст}} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ квар.}$$

Суммарное значение некомпенсированной реактивной мощности на ТП-10/0,4 кВ микрорайона, которая компенсируется в сети 10 кВ на шинах ЦРП-10 кВ (источник питания для ТП-10/0,4 кВ):

$$Q_{\text{неск.}} = 128,49 - (2 \cdot 60) = 8,49 \text{ квар.}$$

## **2.5 Выбор и проверка проводников микрорайона «Молодёжный» города Олекминска**

Известно, что выбор и проверка проводников микрорайона «Молодёжный» города Олекминска должны осуществляться в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и правилами эксплуатации [10].

Важными параметрами, которые необходимо учитывать при выборе и проверке проводников, являются [17]:

- тип проводника: выбор типа проводника должен осуществляться в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и спецификаций проекта. Например, медные проводники имеют более высокую электропроводность, чем алюминиевые, но могут быть дороже в производстве;

- сечение проводника: выбор сечения проводника должен основываться на мощности потребляемой энергии и длине линии. Чем больше мощность и дальше расположены потребители, тем больше должно быть сечение проводника;
- материал изоляции: изоляция проводника должна соответствовать нормативно-техническим требованиям и обеспечивать надежную защиту от электрических разрядов и коррозии;
- устойчивость к перегрузкам: проводники должны быть способны выдерживать нагрузки, превышающие номинальную мощность;
- контрольные испытания: проводники должны проходить контрольные испытания, которые позволяют проверить их соответствие нормативно-техническим требованиям.

Для проверки проводников необходимо провести визуальный осмотр, измерение сопротивления проводника, проверку на наличие механических повреждений и изоляционных дефектов, а также проверку наличия заземления и соответствие цветовой маркировки проводников.

Для электроснабжения микрорайона самым оптимальным вариантом будет строительство кабельной линии (КЛ), хоть и не самым дешевым. При проектировании микрорайона нужно обязательно учитывать какие свойства грунта имеет данный участок, способ прокладки, месте расположена КЛ, способ соединения, а так же заземление оболочек кабелей.

Таким образом, установлено, что выбор и проверка проводников – это ответственный процесс, который должен осуществляться с соблюдением нормативных требований и правил безопасности.

Это позволит гарантировать безопасность и надежность системы электроснабжения в жилом микрорайоне «Молодёжный» города Олекминска.

Выбираются питающие линии 10 кВ системы электроснабжения в жилом микрорайоне города Олекминска.

«Сечение кабелей напряжением 10 кВ выбирается по экономической плотности тока» [17].

$$S_{\text{ек}} = \frac{I_{\text{н}}}{j_{\text{э}}}, \quad (20)$$

где « $I_{\text{н}}$  – ток нормального режима, который протекает по кабелю, А» [17];

$j_{\text{э}}$  - нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>.

«Ток нормального режима, который протекает по кабелю, определяется током силовых трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ микрорайона, А» [8]:

$$I_{\text{ном.т}} = \frac{S_{\text{ном.т.}}}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}}, \quad (21)$$

где « $S_{\text{ном.т.}}$  – номинальная мощность трансформатора ТП-10/0,4 кВ микрорайона, кВА» [17];

« $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение трансформатора, кВ» [17].

$$I_{\text{ном.т}} = I_{\text{н.}} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,8 \text{ А.}$$

«Сечения кабелей,  $S_{\text{ек}}$ , мм<sup>2</sup>» [8]:

$$S_{\text{ек}} = \frac{57,8}{1,6} = 36,1$$

«Принимаются кабели АСБ-10(3×35)» [17].

«Сечение предварительно выбранной кабельной линии проверяется по условию нагрева максимальным током, А» [17]:

$$K_{\text{пер}} I'_{\text{доп}} \geq I_{\text{ф}} = K_{\text{рез}} I_{\text{н}}, \quad (22)$$

где « $K_{\text{пер}}$  – значение коэффициента перегрузки кабельных линий;

« $I'_{\text{доп}}$  - допустимый ток, А» [15].

При этом:

$$I'_{дон} = K_{cp} K_{np} I_{дон}, \quad (23)$$

где « $K_{cp}$  – поправочный коэффициент на температуру среды» [4];

« $K_{np}$  – поправочный коэффициент на количество кабелей» [13].

Таким образом, выбранные кабели проходят проверку по максимальному нагреву с учётом температурных условий среды:

$$1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 110 = 99 \text{ A} > 1,4 \cdot 57,8 = 80,9 \text{ A}.$$

«Условия выполняются, значит, выбранные кабели АСБ-10(3×35) могут работать в максимальном режиме нагрузки без перегрева изоляции» [17].

«Окончательно принимается для кабельной линии напряжением 10 кВ, которая питает ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска, силовой кабель марки АСБ-10 (3×35), прокладка – в земляной траншее» [16].

Далее в работе проводится выбор кабельных линий, питающих потребители микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Выбор и проверка сечения кабелей до 1 кВ осуществляется по току допустимого нагрева [2].

Выбор и проверка марки кабеля 0,38/0,22 кВ проводится на примере участка сети РП1 – РЦ К1.

«Для данной линии РП-1 – К-1, предварительно выбирается кабель марки АВБбШвнг (5×25) с допустимым током  $I_{дон} = 115 \text{ A}$  [2].

Кабель АВБбШв состоит из:

- алюминиевой токопроводящей жилы,
- изоляции из ПВХ пластиката,
- заполнение из ПВХ пластиката или не вулканизированной резиновой смеси – для придания кабелю практически круглой

формы внутренние и наружные промежутки между изолированными жилами должны быть заполнены,

- внутренняя оболочка из ПВХ пластиката,
- броня из стальных оцинкованных лент,
- защитный шланг из ПВХ пластиката.

«Проверки кабеля по условиям нагрева выполняется» [2]:

$$115 A > 98,9 A.$$

$$I'_{доп.} = 0,9 \cdot 115 = 103,5 A.$$

$$103,5 A > 98,9 A.$$

«Окончательно принимается для линии РП-1 – К-1 один силовой кабель марки АВБбШвнг (5×25) с  $I_{доп.} = 115 A$ , прокладка – в земляной траншее» [2].

«Аналогичные расчеты проводятся для остальных кабельных линий, питающих РЩ потребителей микрорайона на напряжении 0,38/0,22 кВ от ТП-10/0,4 кВ (таблица 6).

Таблица 6 – «Результаты выбора марок и сечений кабельных линий питающей и распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения микрорайона «Молодёжный» в г. Олекминске

| Линия             | <i>n</i> , шт. | $S_{р.н.}$ , кВА | $I_{р.н.}$ , А | $I_{р.н.}$ , А | Марка кабеля      | $I_{доп.}$ , А |
|-------------------|----------------|------------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|
| ТП-10/0,4 кВ – РП |                |                  |                |                |                   |                |
| ТП1-РП1           | 2              | 220,7            | 339,5          | 475,4          | 2АВБбШвнг (5×95)  | 480            |
| ТП1-РП2           | 2              | 376,8            | 579,7          | 811,6          | 3АВБбШвнг (5×120) | 825            |
| ТП1-РП3           | 2              | 280,4            | 431,4          | 604,1          | 2АВБбШвнг (5×150) | 610            |
| ТП1-РП4           | 2              | 218,5            | 336,2          | 470,6          | 2АВБбШвнг (5×95)  | 480            |
| РП-1              |                |                  |                |                |                   |                |
| РП1-К1            | 1              | 64,31            | 98,9           | -              | АВБбШвнг (5×25)   | 115            |
| РП1-К3            | 1              | 64,31            | 98,9           | -              | АВБбШвнг (5×25)   | 115            |
| РП1-К5            | 1              | 54,47            | 83,8           | -              | АВБбШвнг (5×16)   | 90             |
| РП1-Б6            | 1              | 64,31            | 98,9           | -              | АВБбШвнг (5×25)   | 115            |
| РП1-Б8            | 1              | 54,47            | 83,8           | -              | АВБбШвнг (5×16)   | 90             |
| РП1-С42           | 2              | 62,86            | 48,36          | 67,7           | АВБбШвнг (5×16)   | 90             |
| РП1-С44           | 2              | 62,86            | 48,36          | 67,7           | АВБбШвнг (5×16)   | 90             |
| РП1-С46           | 2              | 62,86            | 48,36          | 67,7           | АВБбШвнг (5×16)   | 90             |
| РП-2              |                |                  |                |                |                   |                |

Продолжение таблицы 6

| Линия            | $n$ ,<br>шт. | $S_{р.н.}$<br>кВА | $I_{р.н.}$<br>А | $I_{р.н.}$<br>А | Марка кабеля     | $I_{доп.}$<br>А |
|------------------|--------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| РП-2             |              |                   |                 |                 |                  |                 |
| РП2-Б2           | 1            | 54,47             | 83,8            | -               | АВБбШвнг (5×16)  | 90              |
| РП2-С54          | 1            | 59,47             | 91,5            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП2-О3-О6-О10-О4 | 1            | 144,1             | 221,7           | -               | АВБбШвнг (5×95)  | 240             |
| РП2-О5-О7-О8     | 1            | 148,2             | 228,0           | -               | АВБбШвнг (5×95)  | 240             |
| РП2-О9           | 1            | 105,89            | 162,9           | -               | АВБбШвнг (5×50)  | 165             |
| РП2-С48          | 2            | 134,48            | 103,4           | 144,8           | АВБбШвнг (5×50)  | 165             |
| РП2-С50          | 2            | 134,48            | 103,4           | 144,8           | АВБбШвнг (5×50)  | 165             |
| РП2-О11          | 2            | 56,29             | 43,3            | 60,6            | АВБбШвнг (5×10)  | 65              |
| РП-3             |              |                   |                 |                 |                  |                 |
| РП3-К9           | 1            | 54,47             | 83,8            | -               | АВБбШвнг (5×16)  | 90              |
| РП3-К11          | 1            | 59,47             | 91,5            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП3-К13          | 1            | 64,31             | 98,9            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП3-К17          | 1            | 64,31             | 98,9            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП3-О1           | 2            | 117,3             | 90,2            | 126,3           | АВБбШвнг (5×35)  | 135             |
| РП3-О2           | 2            | 263,26            | 202,5           | 283,5           | АВБбШвнг (5×150) | 305             |
| РП-4             |              |                   |                 |                 |                  |                 |
| РП4-Б7           | 1            | 59,47             | 91,5            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП4-Б5           | 1            | 59,47             | 91,5            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП4-Б3           | 1            | 64,31             | 98,9            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП4-К27          | 1            | 64,31             | 98,9            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП4-К25          | 1            | 59,47             | 91,5            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП4-К23          | 1            | 59,47             | 91,5            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП4-К21          | 1            | 59,47             | 91,5            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |
| РП4-К19          | 1            | 59,47             | 91,5            | -               | АВБбШвнг (5×25)  | 115             |

«Все выбранные кабели показаны в графической части работы» [3].

## 2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Далее в работе проводится расчёт токов короткого замыкания на объекте проектирования.

Расчёт токов короткого замыкания в системе электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска необходим для определения параметров защитных устройств и оборудования на подстанциях и линиях электропередачи [6].



Для расчёта токов короткого замыкания необходимо выполнить следующие шаги [6]:

- определить характеристики электрической сети: напряжение, тип системы (заземленная или незаземленная), количество фаз, конфигурация сети;
- определить параметры источника короткого замыкания: мощность источника, напряжение короткого замыкания;
- определить параметры линий электропередачи: длину линии, сечение проводника, тип проводника, материал проводника, ток нагрузки, наличие заземления;
- рассчитать параметры короткого замыкания: ток короткого замыкания, время замыкания, мощность короткого замыкания, величину и характеристики силы электродинамического взаимодействия;
- определить параметры защитного оборудования: выбрать подходящий автоматический выключатель, выставить параметры релейной защиты и координацию между ними;
- провести проверку полученных результатов и сделать соответствующие выводы.

Таким образом, расчет токов короткого замыкания в относительных единицах в системе электроснабжения проектируемого микрорайона «Молодежный» г. Олекминска может быть выполнен по следующим шагам:

- определить схему электроснабжения. Для расчета токов короткого замыкания необходимо знать схему электроснабжения, включая количество и тип подстанций, используемые линии и кабели, а также характеристики подключенных нагрузок;
- определить типы коротких замыканий. В зависимости от схемы электроснабжения необходимо определить типы коротких замыканий, которые могут возникнуть в системе, например, трехфазные короткие замыкания, однофазные короткие замыкания;

- определить параметры сети. Необходимо определить параметры сети, такие как напряжение, сопротивление и реактивность, для расчета токов короткого замыкания;
- непосредственный расчет токов короткого замыкания. Для расчета токов короткого замыкания можно использовать стандартные формулы и таблицы. Расчеты проводятся в относительных единицах, которые выражаются в процентах от номинального напряжения источника питания;
- проверка результатов. После расчета необходимо проверить полученные результаты на соответствие требованиям нормативных документов и установленным нормам.

Результаты расчетов могут быть использованы для определения параметров оборудования и защиты системы от ненормальных режимов.

Как было определено ранее, на понизительной ТП-10/0,4 кВ проектируемого микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска установлены силовые трансформаторы ТМЗ-1000/10. Мощность данного трансформатора принимается в качестве «базисной мощности при расчёте токов КЗ» [7].

В качестве базисных напряжений приняты классы напряжения, которые присутствуют в системе электроснабжения проектируемого микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска:

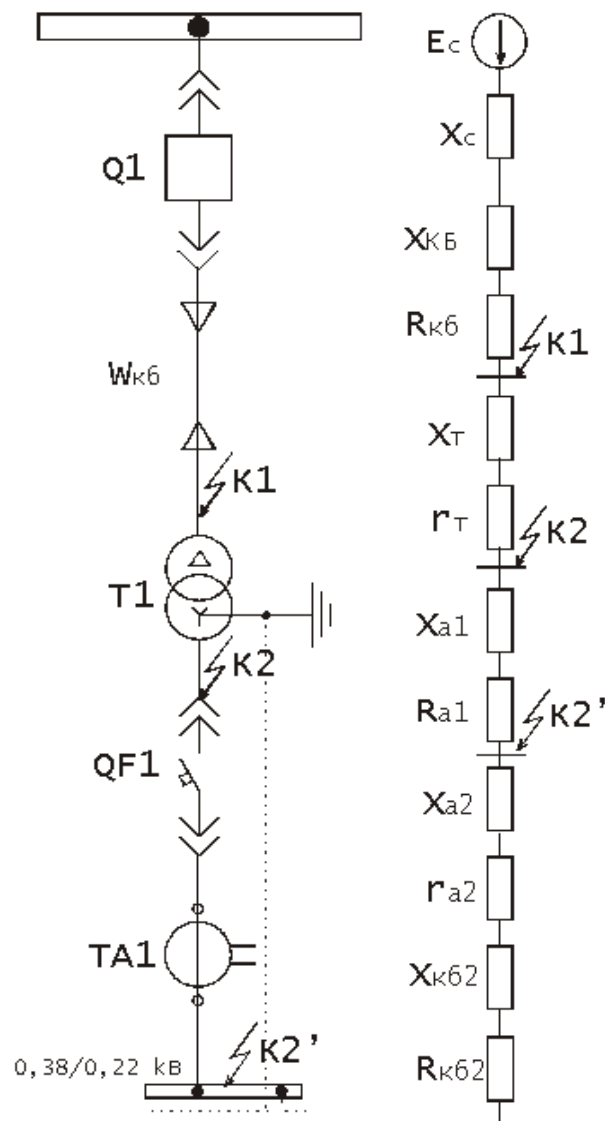
- на стороне ВН – 10 кВ;
- на стороне НН – 0,4 кВ.

«Базисный ток» [15]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}}, A. \quad (24)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 A.$$

«Разработана расчётная схема (рисунок 5, а), а также её схема замещения (рисунок 5, б)» [7].



«Рисунок 5 – Схема для расчета токов КЗ: а – расчетная схема; б – схема замещения» [7]

«Индуктивное сопротивление энергосистемы» [8]:

$$x_{c*} = \frac{I_6}{I_{п.о}^{(3)}}, o.e. \quad (25)$$

$$x_{c*} = \frac{55}{3000} = 0,018 o.e.$$

«Сопротивление питающей кабельной линии» [8]:

$$x_{*кб1} = x_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, o.e. \quad (26)$$

$$r_{*кб1} = r_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, o.e. \quad (27)$$

$$x_{*кб1} = 0,083 \cdot 3 \cdot \frac{1}{10,5^2} = 0,002 o.e.$$

$$r_{*кб1} = 0,625 \cdot 3 \cdot \frac{1}{10,5^2} = 0,014 o.e.$$

«Сопротивление силового трансформатора» [8]:

$$r_{*T} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{НОМ.Т}}, o.e. \quad (28)$$

$$x_{*T} = \sqrt{u_{*K}^2 - r_{*T}^2}, o.e. \quad (29)$$

$$r_{*T} = \frac{12,2}{1000} = 0,0122 o.e.$$

$$x_{*T} = \sqrt{0,055^2 - 0,0122^2} = 0,0537 o.e.$$

«Суммарное сопротивление к точке К1» [8]:

$$x_{*ΣК1} = x_{*C} + x_{*кб1}, o.e. \quad (30)$$

$$x_{*ΣК1} = 0,018 + 0,002 = 0,02 o.e.$$

$$z_{*ΣК1} = \sqrt{x_{*ΣК1}^2 + r_{*ΣК1}^2}, o.e. \quad (31)$$

$$z_{*ΣК1} = \sqrt{0,02^2 + 0,014^2} = 0,025 o.e.$$

«Суммарное сопротивление к точке К2» [8]:

$$x_{*\Sigma K2} = x_{*\Sigma K1} + x_{*T}, \text{ o.e.} \quad (32)$$

$$x_{*\Sigma K2} = 0,02 + 0,0537 = 0,0737 \text{ o.e.}$$

$$r_{*\Sigma K2} = r_{*K61} + r_{*T}, \text{ o.e.} \quad (33)$$

$$r_{*\Sigma K2} = 0,014 + 0,0122 = 0,0262 \text{ o.e.}$$

«Суммарное сопротивление к точке K2» [8]:

$$x_{\Sigma K2} = x_{*\Sigma K2} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом.} \quad (34)$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,0737 \cdot \frac{0,4^2}{1} = 0,0118 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_{*\Sigma K2} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом.} \quad (35)$$

$$r_{\Sigma K2} = 0,0262 \cdot \frac{0,4^2}{1} = 0,0042 \text{ Ом.}$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом.} \quad (36)$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,0118^2 + 0,0042^2} = 0,0125 \text{ Ом.}$$

«Суммарное сопротивление к точке K2'» [8]:

$$r_{\Sigma K2'} = r_{\Sigma K2} + r_{a1}, \text{ Ом.} \quad (37)$$

$$r_{\Sigma K2'} = 0,0042 + 0,0014 = 0,0056 \text{ Ом.}$$

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{r_{\Sigma K2'}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом.} \quad (38)$$

$$z_{\Sigma K2'} = \sqrt{0,0056^2 + 0,0118^2} = 0,0131 \text{ Ом.}$$

«Ток трехфазного КЗ в точке K1» [8]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{I_6}{z_{\Sigma \kappa 1}}, A. \quad (39)$$

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{55}{0,025} = 2200 A = 2,2 \kappa A.$$

«Ток трехфазного КЗ в точках К2, К2'» [8]:

$$I_{\kappa.i}^{(3)} = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma \kappa.i}}, \kappa A. \quad (40)$$

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0125} = 18,48 \kappa A.$$

$$I_{\kappa 2'}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,0131} = 17,63 \kappa A.$$

«Ударный ток» [8]:

$$i_{y.\kappa.i} = \sqrt{2} \cdot K_y I_{\kappa.i}^{(3)}, \kappa A, \quad (41)$$

где « $K_y$  - ударный коэффициент» [8].

«Ударные токи в расчётных точках схемы» [7]:

$$i_{y.\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,2 = 4,36 \kappa A.$$

$$i_{y.\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 18,48 = 28,75 \kappa A.$$

$$i_{y.\kappa 2'} = \sqrt{2} \cdot 1,1 \cdot 17,63 = 27,43 \kappa A.$$

«Полученные значения токов КЗ используются в работе далее при проверке электрических аппаратов в системе электроснабжения проектируемого микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска» [7].

## 2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Далее на основании полученных результатов расчётов, необходимо выбрать электрические аппараты для установки в системе электроснабжения микрорайона «Молодёжный» г. Олекминске. Выбор и проверка электрических аппаратов в системе электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска являются важным процессом, который требует соблюдения нормативно-технической документации и правил безопасности.

Ниже приведены некоторые важные параметры, которые необходимо учитывать при выборе и проверке электрических аппаратов:

- тип электрических аппаратов: выбор типа электрических аппаратов должен осуществляться в соответствии с нормативно-технической документацией и требованиями проекта. Например, выключатели, рубильники и предохранители должны иметь соответствующие параметры и характеристики для обеспечения надежной работы системы электроснабжения;
- номинальное напряжение: выбор номинального напряжения электрических аппаратов должен основываться на параметрах электрической сети, таких как напряжение и частота;
- номинальный ток: выбор номинального тока электрических аппаратов должен основываться на максимальном потреблении тока в системе электроснабжения;
- степень защиты: выбор степени защиты электрических аппаратов должен основываться на условиях эксплуатации. Например, для электрических аппаратов, устанавливаемых в помещениях с повышенной влажностью, необходима высокая степень защиты от воды и пыли;
- контрольные испытания: электрические аппараты должны проходить контрольные испытания, которые позволяют проверить их

соответствие нормативно-техническим требованиям и обеспечить надежную работу системы электроснабжения.

Для проверки электрических аппаратов необходимо провести проверку на соответствие номинальным параметрам, а также проверить их на стойкость к токам КЗ.

Кроме того, необходимо проверить соответствие электрических аппаратов нормативно-технической документации и требованиям проекта.

Таким образом, исходя из спроектированной схемы системы электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска, в работе необходимо выбрать следующие электрические аппараты таких классов напряжения:

- выше 1 кВ (10 кВ) – для установки на стороне ВН питающей ТП-10/0,4 кВ;
- до 1 кВ (0,38/0,22 кВ) – для установки в питающей и распределительной сети объекта проектирования.

Проводится выбор электрических аппаратов для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ на стороне 10 кВ.

Важнейшими аппаратами коммутации и защиты сети 10 кВ является выключатель, поэтому их выбор рассмотрен более детально.

«Известно, что выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий» [18]:

- «по номинальному напряжению» [13]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (42)$$

где « $U_{уст}$ ,  $U_{ном}$  – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя (параметр завода-изготовителя)» [15];

- «по максимальному рабочему току» [13]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (43)$$

где « $I_{раб.макс}$ ,  $I_n$  – соответственно максимальный рабочий ток ПАВ



режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя (параметр завода-изготовителя)» [16];

– проверка выключателя на симметричный ток отключения:

$$I_{пт} \leq I_{откн.н} \quad (44)$$

где « $I_{пт}$  – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения дугогасительных контактов» [12];

« $I_{откн.н}$  – номинальный ток отключения выбранного выключателя, кА» [13];

– «проверка выключателя на отключение асимметричного тока КЗ» [7]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{откн.н} (1 + \beta_n), \quad (45)$$

где « $i_{ат}$  – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов» [13];

« $\beta_n$  – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ» [13];

« $\tau$  – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [13]:

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (46)$$

где « $t_{з.мин}$  – минимальное время действия релейной защиты, с» [14];

« $t_{с.в}$  – собственное время отключения выключателя, с» [11];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [18]:

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (47)$$

где « $i_{нр.с}$  – действующее значение предельного сквозного тока КЗ» [11];

« $i_y$  – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [10];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [18]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (48)$$

где « $B_k$  – тепловой импульс по расчёту,  $A^2 \cdot c$ » [10];

« $I_T$  – предельный ток термической устойчивости,  $A^2 \cdot c$ » [10];

« $t_T$  – время протекания тока термической устойчивости,  $c$ » [10].

При этом тепловой импульс с учётом токов КЗ и отключения цепи:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (49)$$

По приведённым выше условиям, с учётом рассчитанных параметров электрической сети 10 кВ, далее в работе необходимо осуществить проверку выключателей высокого напряжения микрорайона «Молодёжный».

Результаты выбора выключателей высокого напряжения представлены в работе в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты выбора новых выключателей высокого напряжения для установки в РУ-10 кВ ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Молодёжный»

| Расчётные данные                                   | Условия выбора             | Паспортные данные выключателя LF1-10,5-12,5/ 630-У2-41     |
|--|----------------------------|--|
| $U_{ном.м} = 10 \text{ кВ}$                        | $U_{ном.в} \geq U_{ном.м}$ | $U_{ном.в} = 10 \text{ кВ}$                                |
| $I_{\phi} = 80,92 \text{ А}$                       | $I_{ном.в} \geq I_{\phi}$  | $I_{ном.в} = 630 \text{ А}$                                |
| $i_{у.к1} = 4,36 \text{ кА}$                       | $i_{дин} \geq i_{у.к1}$    | $i_{дин} = 32 \text{ кА}$                                  |
| $B_k = 2,2^2 \cdot 3 = 14,52 \text{ кА}^2 \cdot c$ | $I_T^2 t_T \geq B_k$       | $I_T^2 t_T = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot c$ |

Выключатели нагрузки ВНПу-10/400-10-УЗ являются высоковольтными электрическими аппаратами, предназначенными для управления и защиты

высоковольтных электрических цепей переменного тока на напряжение до 10 кВ и частотой 50 Гц.

Они применяются в системах электроснабжения для обеспечения безопасной эксплуатации высоковольтного оборудования и контроля процессов электропередачи (таблица 8).

Таблица 8 – Выбор и проверка выключателей нагрузки 10 кВ

| Расчётные данные   | Условия выбора                                  | Паспортные данные<br>ВНПу-10/400-10-У3  |
|--|---|---|
| $U_{\text{ном.м}} = 10 \text{ кВ}$                                 | $U_{\text{ном.в}} \geq U_{\text{ном.м}}$        | $U_{\text{ном.вн}} = 10 \text{ кВ}$   |
| $I_{\phi} = 80,92 \text{ А}$                                       | $I_{\text{ном.в}} \geq I_{\phi}$                | $I_{\text{ном.вн}} = 250 \text{ А}$   |
| $i_{\text{у.к1}} = 4,36 \text{ кА}$                                | $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у.к1}}$           | $i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$  |
| $B_{\text{к}} = 2,2^2 \cdot 3 = 14,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$ | $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

«Результаты выбора предохранителей представлен в таблице 9» [9].

Таблица 9 – Выбор предохранителей 10 кВ

| Расчётные данные   | Условия выбора                                  | Паспортные данные<br>ПК103-10-100-31,5/У3   |
|--|---|---|
| $U_{\text{ном.с}} = 10 \text{ кВ}$                                 | $U_{\text{ном.вн}} \geq U_{\text{ном.с}}$       | $U_{\text{ном.п}} = 10 \text{ кВ}$  |
| $I_{\phi} = 80,92 \text{ А}$                                       | $I_{\text{ном.вст}} \geq I_{\phi}$              | $I_{\text{ном.вст}} = 100 \text{ А}$  |
| $i_{\text{у.к1}} = 4,36 \text{ кА}$                                | $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у.к}}$            | $i_{\text{дин}} = 100 \text{ кА}$   |
| $B_{\text{к}} = 2,2^2 \cdot 3 = 14,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} \geq B_{\text{к}}$ | $I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

Для питания цепей вторичной коммутации на напряжении 10 кВ используются измерительные трансформаторы тока.

Выбор трансформаторов тока для применения на стороне 10 кВ представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор трансформатора тока

| Условия выбора                                  | Расчетные данные   | Каталожные данные ТТ ТПОЛМ-10   |
|---|--|---|
| $U_{\text{ном.ТТ}} \geq U_{\text{ном.с}}$       | $U_{\text{ном.м}} = 10 \text{ кВ}$                                 | $U_{\text{ном.ТТ}} = 10 \text{ кВ}$   |
| $I_{\text{ном.ТТ}} \geq I_{\phi}$               | $I_{\phi} = 80,92 \text{ А}$                                       | $I_{\text{ном.ТТ}} = 250 \text{ А}$   |
| $i_{\text{дин}} \geq i_{\text{у.к}}$            | $i_{\text{у.к1}} = 4,36 \text{ кА}$                                | $i_{\text{дин}} = 32 \text{ кА}$  |
| $I_{\text{Т}}^2 t_{\text{Т}} \geq B_{\text{к}}$ | $B_{\text{к}} = 2,2^2 \cdot 3 = 14,52 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{\text{Т}}^2 t_{\text{Т}} = 12,5^2 \cdot 3 = 468,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |
| $Z_{2\text{ном}} \geq Z_{2\text{розр}}$         | $Z_{2\text{розр}} = 0,19 \text{ Ом}$                               | $Z_{2\text{ном}} = 0,4 \text{ Ом}$  |

Проводится выбор электрических аппаратов напряжением до 1 кВ для защиты и коммутации системы электроснабжения проектируемого микрорайона г. Олекминска.

«Для ТП-10/0,4 кВ со стороны 0,4 кВ выбираются автоматы ввода, а для защиты РЩ потребителей системы электроснабжения проектируемого микрорайона г. Олекминска– линейные автоматы» [9].

«Для защиты и коммутации ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения проектируемого микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска, в работе применяются автоматы ввода» [9].

«В работе для данной цели выбираются современные отечественные автоматы марки ВА» [9].

«Номинальные токи автомата и теплового расцепителя» [15]:

$$I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{р.}} \quad (50)$$

$$I_{\text{ном.т.р}} \geq 1,1 \cdot I_{\text{р.}} \quad (51)$$

«Ток уставки электромагнитного расцепителя» [14]:

$$I_{\text{ном.э.р}} \geq K_{\text{то}} \cdot I_{\text{р}}, \quad (52)$$

где « $K_{\text{то}}$  – кратность тока отсечки» [13].

«Проверка автомата на отключающую способность» [14]:

$$I_{откл.} \geq I_k. \quad (53)$$

На примере автомата ввода для установки на ТП-10/0,4 кВ:

$$I_{ном.а} = 400 \text{ А} \geq I_p = 339,5 \text{ А}.$$

$$I_{ном.т.р} = 400 \text{ А} \geq 1,1 \cdot 339,5 = 373,5 \text{ А}.$$

$$I_{ном.э.р} = 7 \cdot 4000 = 2800 \text{ А} \leq 18480 \text{ А}.$$

$$I_{откл.} = 60 \text{ кА} \geq 14,9 \text{ кА}.$$

Окончательно выбирается для проектируемого микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска, автомат ввода ТП-10/0,4 кВ марки ВА 52-37, с параметрами:  $U_{ном.а} = 380 \text{ В}$ ;  $I_{ном.а} = 400 \text{ А}$ ;  $I_{ном.т.р} = 400 \text{ А}$ ;  $I_{ном.э.р} = 2800 \text{ А}$ ;  $K_{то} = 7$ .

Выбор всех линейных автоматов проведён в работе аналогично с приведением результатов в форме таблицы 11.

Таблица 11 – Результаты выбора автоматов 0,38/0,22 кВ проектируемого микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска

| Объект СЭС                                       | $I_p,$<br>А | $I, I \cdot I_p,$<br>А | Марка автомата | $I_{ном.а},$<br>А | $I_{ном.т.р},$<br>А | $I_{ном.э.р},$<br>А | $K_{то}$ |
|--|-------------|------------------------|----------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------|
| Автоматы ввода и секционный автомат ТП-10/0,4 кВ |             |                        |                |                   |                     |                     |          |
| Автомат ввода ТП-10/0,4 кВ                       | 1519,3      | 1671,2                 | ВА 55-43       | 2000              | 2000                | 20000               | 10       |
| Секционный автомат ТП-10/0,4 кВ                  | 1229,2      | 1352,1                 | ВА 53-43       | 1600              | 1600                | 16000               | 10       |
| Автоматы ввода к РП (к каждой секции)            |             |                        |                |                   |                     |                     |          |
| Автомат ввода РП1                                | 339,5       | 373,5                  | ВА 52-37       | 400               | 400                 | 2800                | 7        |
| Автомат ввода РП2                                | 569,7       | 627,7                  | ВА 52-39       | 630               | 630                 | 4410                | 7        |
| Автомат ввода РП3                                | 431,4       | 474,5                  | ВА 52-39       | 630               | 500                 | 3500                | 7        |
| Автомат ввода РП4                                | 336,2       | 369,8                  | ВА 52-37       | 400               | 400                 | 2800                | 7        |
| Линейные автоматы РП1                            |             |                        |                |                   |                     |                     |          |
| К1   | 98,9        | 108,8                  | ВА 52-33       | 160               | 120                 | 360                 | 3        |
| К3   | 98,9        | 108,8                  | ВА 52-33       | 160               | 120                 | 360                 | 3        |
| К5   | 83,8        | 92,2                   | ВА 52-31       | 100               | 100                 | 300                 | 3        |
| Б6   | 98,9        | 108,8                  | ВА 52-33       | 160               | 120                 | 360                 | 3        |
| Б8   | 83,8        | 92,2                   | ВА 52-31       | 100               | 100                 | 300                 | 3        |
| С42  | 48,36       | 53,2                   | ВА 52-31       | 100               | 63                  | 189                 | 3        |

Продолжение таблицы 11

| Объект СЭС            | $I_p, A$ | $I, I \cdot I_p, A$ | Марка автомата | $I_{ном.а}, A$ | $I_{ном.т.р}, A$ | $I_{ном.э.р}, A$ | $K_{то}$ |
|-----------------------|----------|---------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|----------|
| С44                   | 48,36    | 53,2                | ВА 52-31       | 100            | 63               | 189              | 3        |
| С46                   | 48,36    | 53,2                | ВА 52-31       | 100            | 63               | 189              | 3        |
| Линейные автоматы РП2 |          |                     |                |                |                  |                  |          |
| РП2-Б2                | 83,8     | 92,2                | ВА 52-31       | 100            | 100              | 300              | 3        |
| РП2-С54               | 91,5     | 100,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП2-О3-О6-О10-О4      | 221,7    | 243,9               | ВА 52-35       | 250            | 250              | 750              | 3        |
| РП2-О5-О7-О8          | 228,0    | 249,8               | ВА 52-35       | 250            | 250              | 750              | 3        |
| РП2-О9                | 162,9    | 179,2               | ВА 52-35       | 250            | 200              | 600              | 3        |
| РП2-С48               | 103,4    | 113,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП2-С50               | 103,4    | 113,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП2-О11               | 43,3     | 47,6                | ВА 52-31       | 100            | 50               | 150              | 3        |
| Линейные автоматы РП3 |          |                     |                |                |                  |                  |          |
| РП3-К9                | 83,8     | 92,2                | ВА 52-31       | 100            | 100              | 300              | 3        |
| РП3-К11               | 91,5     | 100,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП3-К13               | 98,9     | 108,8               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП3-К17               | 98,9     | 108,8               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП3-О1                | 90,2     | 99,2                | ВА 52-31       | 100            | 100              | 300              | 3        |
| РП3-О2                | 202,5    | 222,8               | ВА 52-35       | 250            | 250              | 750              | 3        |
| Линейные автоматы РП4 |          |                     |                |                |                  |                  |          |
| РП4-Б7                | 91,5     | 100,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП4-Б5                | 91,5     | 100,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП4-Б3                | 98,9     | 108,8               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП4-К27               | 98,9     | 108,8               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП4-К25               | 91,5     | 100,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП4-К23               | 91,5     | 100,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП4-К21               | 91,5     | 100,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |
| РП4-К19               | 91,5     | 100,7               | ВА 52-33       | 160            | 120              | 360              | 3        |

Все выбранные аппараты подходят для установки в системе электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска.

Выводы по разделу.

В результате выполнения работы, приняты следующие решения по проектированию системы электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска, а именно:

- для электроснабжения питающей сети микрорайона выбрана радиальная (двухлучевая) схема питания понизительной подстанции 10/0,4 кВ с резервированием;

- для распределительной сети микрорайона принята радиальная схема питания от четырёх РП к РЩ потребителей;
- введена в эксплуатацию новая ТП-10/0,4 кВ для обеспечения питания системы электроснабжения микрорайона. На ТП-10/0,4 кВ в результате проведения расчётов выбраны и рекомендованы к установке два силовых трансформатора марки ТМЗ-1000/10;
- выбраны кабельные линии питающей сети 10 кВ с использованием силовых кабелей марки АСБ-10-3×35, прокладка – в земляной траншее;
- проведён выбор проводников распределительной сети 0,4 кВ, в результате чего выбраны для всех потребителей силовые кабели марки АВБбШвнг разных сечений, прокладка – в земле;
- рассчитаны токи короткого замыкания и ударные токи;
- выбраны электрические аппараты 10 кВ и 0,4 кВ для защиты оборудования и сетей питающей ТП-10/0,4 кВ, а также питающей и распределительной сети 0,4 кВ микрорайона.

### **3 Технико-экономическое обоснование принятых решений**

Известно, что самым важным и ответственным, и в то же время самым дорогим элементом трансформаторных подстанций всех типов является силовой трансформатор.

Технико-экономическое обоснование принятых решений в работе проводится на основании целесообразности выбора мощности и типа силовых трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска.

Кроме того, у правильно выбранного трансформатора с оптимальным коэффициентом загрузки, всегда значительно лучше, как технические, так и экономические показатели, что в конечном итоге приводит к их улучшению всей системы электроснабжения, которую питает данный силовой трансформатор.

Также оборудование распределительных устройств для трансформаторов правильно выбранной мощности всегда дешевле, чем для трансформаторов, выбранных по завышенным параметрам.

Известно, что технико-экономическое сравнение трансформаторов обычно проводится для определения наиболее экономически выгодного варианта. Оно может быть полезно в различных ситуациях, таких как при выборе трансформатора для строительства энергетической подстанции, при замене старого трансформатора на новый более эффективный, при выборе трансформатора для использования в производственных целях.

Технические параметры, которые могут быть учтены при сравнении трансформаторов, включают в себя мощность, номинальное напряжение, сопротивление, потери мощности, эффективность и габариты. Эти параметры могут варьироваться в зависимости от конкретной задачи. Экономические параметры, которые могут быть учтены при сравнении трансформаторов, включают в себя стоимость трансформатора, затраты на транспортировку и установку, затраты на эксплуатацию и обслуживание, срок службы.



При сравнении трансформаторов важно учитывать не только их стоимость, но и все дополнительные затраты, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации. Например, трансформатор с более высокой эффективностью может быть более дорогим при покупке, но при этом снизит затраты на электроэнергию в будущем и уменьшит затраты на обслуживание и ремонт.

В итоге, технико-экономическое сравнение трансформаторов должно учитывать все технические и экономические параметры и помочь выбрать наиболее оптимальный вариант в соответствии с требованиями и условиями конкретной задачи.

Установлено, что ранее в работе для применения на питающей ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска, выбраны и обоснованы два силовых трансформатора марки ТМЗ-1000/10.

При этом проводится технико – экономическое сравнение вариантов: сравнению подлежит выбранный трансформатор номинальной мощностью  $S_{ном.т.1} = 1000$  кВА (ТМЗ-1000/10), который выбран для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ микрорайона в результате проведения расчётов в работе ранее, и трансформатор, мощность которого на одну ступень выше  $S_{ном.т.2} = 1600$  кВА (ТМЗ-1600/10) [14].

Для упрощения проводится сравнения вариантов, в который принят один силовой трансформатор.

Паспортные параметры и технические данные выбранных для сравнения силовых трансформаторов для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска, приводятся в таблице 12 [15].

Таблица 12 – Паспортные параметры и технические данные выбранных для сравнения силовых трансформаторов для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ микрорайона «Молодёжный» г. Олекминска

| Вариант | Тип         | $S_{ном.т}$ , кВА | $\Delta P_x$ , кВт | $\Delta P_k$ , кВт | Стоимость, руб |
|---------|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| 1       | ТМЗ-1000/10 | 1000              | 1,12               | 5,5                | 450000         |
| 2       | ТМЗ-1600/10 | 1600              | 1,25               | 7,5                | 570000         |

На основе данных, приведённых в таблице 5, в работе проводится непосредственное технико-экономическое обоснование сравниваемых вариантов.

Критерием оптимальности в работе при проведении технико-экономического обоснования «принимается минимум суммарных затрат» [20]:

$$Z_{дс} = \sum_{t=1}^{t_e} \frac{B + K - Л}{(1 + E)^t}, \text{ руб.}, \quad (54)$$

где « $B$  – расходы за год эксплуатации (учитываются на каждом году, кроме нулевого), руб.» [20];

« $K$  – капитальные затраты на приобретение (учитываются на нулевом году), руб.» [20];

« $Л$  – ликвидационная стоимость (учитывается на последнем году), руб.» [20];

« $E$  - норма дисконта» [20];

« $t_e$  - срок эксплуатации» [20];

« $t_e$  – расчётный срок,  $t_e = 20$  лет» [20];

« $t$  - текущий год» [20].

«Расходы при эксплуатации определяется по формуле» [20]:

$$B = B_e + B_{пот}, \text{ руб.} \quad (55)$$

где « $B_e$  – эксплуатационные расходы, руб.» [20];

« $B_{пот}$  – стоимость потерь электроэнергии, руб.» [20]

«Эксплуатационные расходы» [20]:

$$B_e = 0,024 \cdot K, \text{ руб.} \quad (56)$$

«Стоимость потерь электроэнергии» [20]:

$$B_{nom} = (\Delta P_x + \beta^2 \cdot \Delta P_k) \cdot \tau \cdot C_e, \text{ руб.}, \quad (57)$$

где « $\Delta P_x$  – потери холостого хода, кВт» [20];

« $\Delta P_k$  – потери короткого замыкания, кВт» [20];

« $\beta$  – коэффициент загрузки» [20];

« $\tau$  – время максимальных потерь» [20];

« $C_e$  – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч» [20].

«Время максимальных потерь» [20]:

$$\tau = (0,124 + \frac{T_e}{10^4})^2 \cdot T_e, \text{ руб.}, \quad (58)$$

где « $T_e$  – годовое число часов включения трансформатора» [5].

$$\tau = (0,124 + \frac{3500}{10^4})^2 \cdot 8760 = 1968 \text{ ч / год.}$$

«Ликвидная стоимость» [7]:

$$L = K_o \cdot (1 - \frac{a_r t_e}{100}), \text{ руб.}, \quad (59)$$

где « $K_o$  – капитальные затраты, тыс. руб.» [20];

« $a_r$  – норма амортизации на реновацию,  $a_r = 4,4\%$ » [20].

«Коэффициент загрузки» [8]:

$$\beta = \frac{S_{p.III}}{2S_{ном.m}}$$

Проводятся расчёты для первого варианта (установка на питающей ТП-10/0,4 микрорайона трансформаторов ТМЗ-1000/10).

«Коэффициент загрузки для первого варианта (установка на питающей ТП-10/0,4 микрорайона трансформаторов ТМЗ-1000/10)» [20]:

$$\beta = \frac{S_{p.ТП}}{2S_{ном.т}}$$
$$\beta = \frac{1729,38}{1000 \cdot 2} = 1,73.$$

«Эксплуатационные расходы для первого варианта (установка на питающей ТП-10/0,4 микрорайона трансформаторов ТМЗ-1000/10)» [20]:

$$B = 0,024 \cdot 378430 + (0,9 + 1,73^2 \cdot 44) \cdot 1968 \cdot 1,83 = 25050 \text{ руб.}$$

«Ликвидная стоимость варианта 1» [20]:

$$L = 450000 \cdot \left(1 - \frac{4,4 \cdot 20}{100}\right) = 54000 \text{ руб.}$$

«Расходы первого варианта на первом году» [20]:

$$З_{дс} = \frac{25050}{(1+0,1)^1} = 22772,7 \text{ руб.}$$

Аналогично проведены расчёты для второго варианта (трансформатор марки ТМЗ-1600/10)» [20].

«Результаты расчетов дисконтных расходов для последующих лет первого варианта (трансформатор ТМЗ-1000/10), а также для второго варианта (трансформатор ТМЗ-1600/10), приводятся в таблице 13» [20].

Таблица 13 – «Результаты расчёта дисконтных расходов вариантов» [20]

| Год   | Расходы по варианту 1 | Расходы по варианту 2 |
|-------|-----------------------|-----------------------|
| 0     | 450000,0              | 570000,0              |
| 1     | 22772,7               | 23354,1               |
| 2     | 20312,4               | 20848,6               |
| 3     | 19252,7               | 19894,1               |
| 4     | 18651,0               | 19023,2               |
| 5     | 17359,5               | 18954,1               |
| 6     | 15989,6               | 17352,7               |
| 7     | 15094,8               | 16454,7               |
| 8     | 14145,6               | 15254,8               |
| 9     | 13246,5               | 14432,9               |
| 10    | 12110,5               | 13521,7               |
| 11    | 11347,8               | 12141,9               |
| 12    | 10347,4               | 11252,8               |
| 13    | 9783,4                | 10421,2               |
| 14    | 9302,5                | 9987,6                |
| 15    | 9003,4                | 9121,7                |
| 16    | 8764,3                | 8652,1                |
| 17    | 8252,7                | 8148,2                |
| 18    | 7149,8                | 6984,3                |
| 19    | 6651,0                | 6422,9                |
| 20    | -3861,2               | -4615,4               |
| Всего | 695676,4              | 827608,2              |

График сравнения вариантов выбора трансформаторов без учёта капиталовложений «нулевого» года, представлен на рисунке 6.

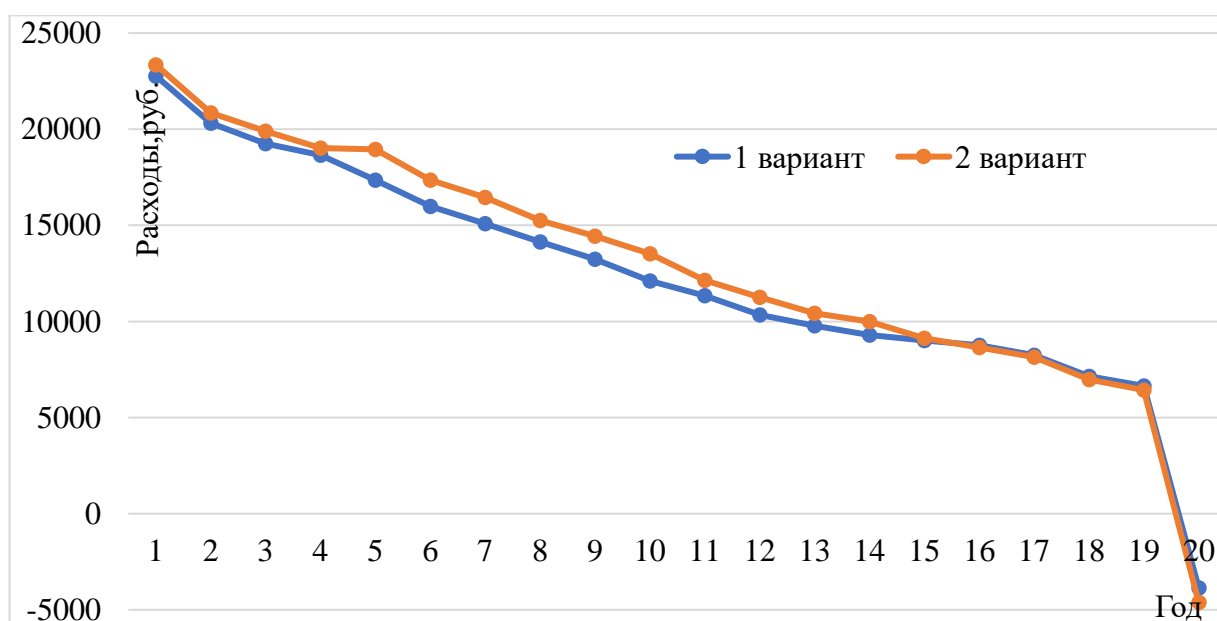


Рисунок 6 – График сравнения вариантов выбора трансформаторов без учёта капиталовложений «нулевого» года

«Согласно принятого критерия, оптимальным является первый вариант, то есть выбранный ранее в работе трансформатор с номинальной мощностью  $S_{ном.т} = 1000$  кВА» [20] с меньшей величиной дисконтных расходов за период 20 лет.

«Окончательно принимаются к установке на ТП-10/0,4 кВ микрорайона два силовых трансформатора марки ТМЗ-1000/10» [20].

Выводы по разделу.

В работе осуществлено технико-экономическое обоснование принятых в работе решений, основываясь на результатах расчетов дисконтных расходов при выборе силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ микрорайона.

В результате проведения расчётов установлено, что оптимальным решением является установка на питающей ТП-10/0,4 кВ трансформатора марки ТМЗ-1000/10.

## Заключение

В результате проведенных исследований в работе, проведена разработка системы электроснабжения микрорайона «Молодежный», расположенного в городе Олекминске Республики Саха (Якутия), рассмотрены теоретические и практические решения создания надёжного, бесперебойного электроснабжения жилого микрорайона.

В работе приведены исходные данные на проектирование микрорайона основными потребителями которого являются многоквартирные жилые дома, общественные здания и уличное освещение, в результате выполнения работы, и произведенных расчетов были приняты следующие решения по проектированию системы электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска, а именно:

- для электроснабжения питающей сети микрорайона выбрана радиальная (двухлучевая) схема питания понизительной подстанции 10/0,4 кВ с резервированием;
- для распределительной сети микрорайона принята радиальная схема питания от четырёх РП к РЩ потребителей;
- введена в эксплуатацию новая ТП-10/0,4 кВ для обеспечения питания системы электроснабжения микрорайона. На ТП-10/0,4 кВ в результате проведения расчётов выбраны и рекомендованы к установке два силовых трансформатора марки ТМЗ-1000/10;
- выбраны кабельные линии питающей сети 10 кВ с использованием силовых кабелей марки АСБ-10-3×35, прокладка – в земляной траншее;
- проведён выбор проводников распределительной сети 0,4 кВ, в результате чего выбраны для всех потребителей силовые кабели марки АВБШВнг разных сечений, прокладка – в земле;
- рассчитаны токи короткого замыкания и ударные токи;

- выбраны электрические аппараты 10 кВ и 0,4 кВ для защиты оборудования и сетей питающей ТП-10/0,4 кВ, а также питающей и распределительной сети 0,4 кВ микрорайона.

Осуществлено технико-экономическое обоснование принятых в работе решений, основываясь на результатах расчетов дисконтных расходов при выборе силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ микрорайона. Установлено, что оптимальным решением является установка на питающей ТП-10/0,4 кВ трансформатора марки ТМЗ-1000/10.

Таким образом, требуемая задача по выбору оптимальных решений в системе электроснабжения микрорайона «Молодёжный» в г. Олекминске решена в полном объёме. Проектирование электроснабжения микрорайона выполнено на основе действующих технических норм и методик расчета с использованием актуального электрооборудования, что делает данный проект современным и актуальным.



## Список используемых источников

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 4  |
| 1 Исходная характеристика микрорайона.....   | 6  |
| 1.1 Состав потребителей микрорайона .....  | 6  |
| 1.2 Основы проектирования систем электроснабжения микрорайонов городов.....                    | 13 |
| 2 Проектирование системы электроснабжения микрорайона .....                                    | 18 |
| 2.1 Выбор схемы электроснабжения микрорайона «Молодёжный» города Олекминска .....              | 18 |
| 2.2 Расчёт электрических нагрузок.....   | 22 |
| 2.3 Выбор трансформаторов на питающей подстанции 10/0,4 кВ .....                               | 29 |
| 2.4 Выбор и проверка компенсации реактивной мощности на шинах 0,4 кВ питающей подстанции ..... | 32 |
| 2.5 Выбор и проверка проводников микрорайона «Молодёжный» города Олекминска .....              | 35 |
| 2.6 Расчёт токов короткого замыкания .....   | 40 |
| 2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов.....  | 47 |
| 3 Техничко-экономическое обоснование принятых решений .....                                    | 56 |
| Выводы по разделу.....   | 62 |
| Заключение .....   | 63 |
| Список используемых источников.....  | 65 |

1. Автоматические выключатели ВА [Электронный ресурс]: URL: <https://www.elektrokontaktor.ru/produkcija/vyklyuchateli-avtomaticheskie-va> (дата обращения: 31.03.2023).

2. Барыбин Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения. М.: Энергоатомиздат, 2018. 576 с.

3. Кабели силовые АВБбШвнг [Электронный ресурс]: URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/avbbshng/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/avbbshng/) (дата обращения: 31.03.2023).

4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.

5. Китунович Ф.Г. Энергетика России. 1920-2020 гг. В 4 томах. М.:

Энергия, 2020. 1072 с.

6. Климова Г.Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение. Учебное пособие. М.: Юрайт, 2016. 180 с.

7. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2020. 320 с.

8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.

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

10. Олекминск [Электронный ресурс]: URL: <https://sakhagis.ru/town/details/365> (дата обращения: 28.03.2023).

11. Филатова, Ольга. Температурный режим воздуха в пределах Олекминского района РС(Я) / Ольга Филатова, О. Ю. Рожкова. — Текст : непосредственный // Юный ученый. — 2017. — № 1.1 (10.1). — С. 29-30. — URL: <https://moluch.ru/young/archive/10/675/> (дата обращения: 21.04.2023).

12. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2019. 174 с.

13. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2019. 324 с.

14. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.

15. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2018. 448 с.

16. Свириденко Э.А. Основы электротехники и электроснабжения. М.: Техноперспектива, 2018. 436 с.

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

18. СТО 56947007- 29.240.30.047-2010. «Рекомендации по применению типовых принципиальных электрических схем распределительных устройств подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/2616342/> (дата обращения: 28.03.2023).

19. Трансформатор силовой ТМЗ-1000/10 [Электронный ресурс]: URL: <https://uralen.ru/catalog/trans/group-18/73.html> (дата обращения: 31.03.2023).

20. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ об энергосбережении [Электронный ресурс]: URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_41502/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/) (дата обращения: 28.03.2023).

21. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».