

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Электронного обучения

Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электропривод и электрооборудование

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы                                                        |
|--------------------------------------------------------------------|
| Проектирование системы электроснабжения электротехнического завода |
| УДК 621.31.031:629.114.2.002                                       |

Студент

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| 3-5Г13 | Любимов Артур Андреевич |         |      |

Руководитель

| Должность                 | ФИО                | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|---------------------------|--------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор кафедры<br>ЭПЭО | Качин Сергей Ильич | Д.Т.Н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                     | ФИО                               | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры<br>менеджмента | Мелик-Гайказян<br>Мария Вигеновна | К.Э.Н.,<br>доцент         |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность          | ФИО                        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|--------------------|----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент кафедры ЭБЖ | Романцов Игорь<br>Иванович | К.Т.Н                     |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой                          | ФИО            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------------|----------------|---------------------------|---------|------|
| Электропривод и<br>электрооборудование | Дементьев Ю.Н. | К.Т.Н.,<br>доцент         |         |      |

Томск – 2016 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Электронного обучения  
 Направление подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
 Кафедра Электропривод и электрооборудование

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Бакалаврской работы</b>                                                 |
| (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации) |

Студенту:

| Группа | ФИО                     |
|--------|-------------------------|
| 3-5Г13 | Любимов Артур Андреевич |

Тема работы:

|                                                                    |                   |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Проектирование системы электроснабжения электротехнического завода |                   |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                        | 01.04.2016г, 2533 |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 12.06.2016 |
|------------------------------------------|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Исходные данные к работе</b><br/> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p> | <p><i>Объектом исследования является кузнечный цех электротехнического завода. В качестве исходных данных представлены:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- генеральный план завода;</li> <li>- сведения об электрических нагрузках завода;</li> <li>- сведения об электрических нагрузках кузнечного цеха</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                    |
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br/> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по</i></p>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- постановка задачи проектирования;</li> <li>- проектирование системы электроснабжения;</li> <li>- детальное рассмотрение особенностей трансформаторных подстанций в системах электроснабжения с последующим выбором цеховых трансформаторов; определение метода расчета.</li> <li>- обсуждение результатов выполненной работы;</li> <li>- разработка раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»;</li> <li>- разработка раздела «Социальная ответственность»;</li> <li>- заключение.</li> </ul> |

|                                                                                                    |                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>работе).</i>                                                                                    |                                                                                                                                         |
| <b>Перечень графического материала</b><br><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>        | - картограмма электрических нагрузок предприятия;<br>- план внутризаводского электроснабжения;<br>- однолинейная схема кузнечного цеха. |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br><i>(с указанием разделов)</i> |                                                                                                                                         |
| <b>Раздел</b>                                                                                      | <b>Консультант</b>                                                                                                                      |
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»                                  | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна                                                                                                          |
| «Социальная ответственность»                                                                       | Романцов Игорь Иванович                                                                                                                 |

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 10.02.2016 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность              | ФИО                | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------------|--------------------|------------------------|---------|------|
| Профессор кафедры ЭПЭО | Качин Сергей Ильич | Д.Т.Н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                     | Подпись | Дата |
|--------|-------------------------|---------|------|
| З-5Г13 | Любимов Артур Андреевич |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа включает в себя 105 страниц, 15 рисунков, 31 таблицу, 13 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: картограмма нагрузок, подбор трансформаторов, компенсация, электроснабжение цеха, расчетная нагрузка, подбор оборудования, проверка оборудования, однолинейная схема, менеджмент, социальная ответственность.

Объектом исследования является кузнечный цех электротехнического завода.

Цели работы: разработка системы электроснабжения электротехнического завода и обоснование принятых решений с экономической точки зрения.

В ходе исследования на основе исходных данных были выполнены следующие задачи: определение метода расчета, поэтапный расчет электрических нагрузок предприятия и рассматриваемого цеха, подбор оборудования, а также его проверка в разных режимах работы.

По итогам исследования спроектировали конкретную модель электроснабжения промышленного предприятия, также были представлены расчет затрат и безопасность для окружающей среды.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: исследуемый завод состоит из одиннадцати цехов, напряжение питающей линии 35 кВ; рабочие напряжения внутри завода: 10, 0,4 кВ; схема внутрив заводской сети – радиальная.

## Содержание

|                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение .....                                                                                                                                                      | 6   |
| 1. Объект и методы исследования .....                                                                                                                               | 8   |
| 1.2 Характеристика среды производственных помещений завода электротехнической промышленности. Категории электроприемников по бесперебойности электроснабжения ..... | 10  |
| 2. Расчеты и аналитика.....                                                                                                                                         | 12  |
| 2.1 Расчет нагрузок кузнечного цеха.....                                                                                                                            | 12  |
| 2.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом .....                                                                                                        | 17  |
| 2.3Картограмма и определение центра электрических нагрузок .....                                                                                                    | 19  |
| 2.4Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций .....                                                                                                  | 23  |
| 2.5 Расчет мощности компенсирующих устройств в сети 0,4 кВ.....                                                                                                     | 28  |
| 2.6Система внешнего электроснабжения.....                                                                                                                           | 30  |
| 2.7Схемавнутризаводского электроснабжения. ....                                                                                                                     | 37  |
| 2.8 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В. ....                                                                                                       | 41  |
| 2.9Выбор высоковольтного оборудования .....                                                                                                                         | 46  |
| 2.10Электроснабжение кузнечного цеха.....                                                                                                                           | 49  |
| 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....                                                                                             | 68  |
| 3.1 SWOT-анализ системы электроснабжения .....                                                                                                                      | 68  |
| 3.2 Организация работ технического проекта .....                                                                                                                    | 70  |
| 3.4 Определение ресурсоэффективности проекта.....                                                                                                                   | 79  |
| 4 Социальная ответственность.....                                                                                                                                   | 85  |
| 4.1 Анализ опасных и вредных факторов на химических объектах .....                                                                                                  | 85  |
| 4.2 Промышленная безопасность при эксплуатации комплектной трансформаторной подстанции установленной в цеху.....                                                    | 86  |
| 4.3 Расчет защитного заземления.....                                                                                                                                | 86  |
| 4.4 Производственная санитария .....                                                                                                                                | 89  |
| 4.5 Защита от электромагнитных полей.....                                                                                                                           | 91  |
| 4.6Производственное освещение. ....                                                                                                                                 | 92  |
| 4.7 Пожарная безопасность .....                                                                                                                                     | 93  |
| 4.8 Чрезвычайные ситуации .....                                                                                                                                     | 97  |
| 4.9 Повышение надежности снабжения электроэнергией, паром и водой.....                                                                                              | 98  |
| Заключение.....                                                                                                                                                     | 101 |
| Список использованных источников.....                                                                                                                               | 102 |
| Приложение А.....                                                                                                                                                   | 104 |
| Приложение Б .....                                                                                                                                                  | 105 |

## **Введение**

В данном курсовом проекте необходимо произвести расчет электроснабжения завода электротехнической промышленности. В качестве исходных данных были заданы установленные мощности цехов (электропримники кузнечного цеха были заданы подробно, что позволило выполнить более точный расчет электрических нагрузок вышеупомянутого цеха), генплан завода и генплан кузнечного цеха.

Целями данного курсового проекта являются:

1. Произвести расчет нагрузки кузнечного цеха.
2. Определить расчетные нагрузки предприятия в целом по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов с учетом расчетной нагрузки освещения цехов и территории предприятия.
3. На основе уже рассчитанных данных построить картограмму электрических нагрузок с целью определения места положения ГПП (Главная питающая подстанция) на территории предприятия.
4. Рассчитать схему внутризаводского электроснабжения. Для этого выбирается число и мощности цеховых трансформаторных подстанций и проводники для их соединения и питания, а также потери в цеховых ТП (трансформаторная подстанция) и кабельных линий.
5. Рассчитать компенсацию реактивной мощности.
6. Разработать схему внешнего электроснабжения. Для этого необходимо осуществить подбор напряжения питающей сети на предприятии, сечения проводов, мощности трансформаторов ГПП. Данные действия выполняются с учетом надежности электроснабжения, а именно питающая линия – двухцепная, а ГПП представляет собой двух трансформаторную подстанцию.
7. Рассчитать токи короткого замыкания в сети выше 1000 В для проверки правильности выбора сечений проводников и выбора устройств защиты цеховых ТП.

8. Произвести разработку сети до 1000 В, куда входит выбор токоведущих частей, распределение потребителей по пунктам питания, выбор распределительных пунктов. Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В, выбор аппаратов защиты. Построения карты селективности действия защитных аппаратов, с помощью которой, в свою очередь, можно проверить правильность выбора защитных аппаратов и селективность их действия.

## 1. Объект и методы исследования

Объектом исследования является электротехнический завод в целом и его кузнечный цех в частности. Исходными данными на проектирование являются генплан завода электротехнической промышленности (рисунок 1), сведения об электрических нагрузках завода электротехнической промышленности (таблица 1), генплан кузнечного цеха и сведения об электрических нагрузках кузнечного цеха (рисунок 2, таблица 2).

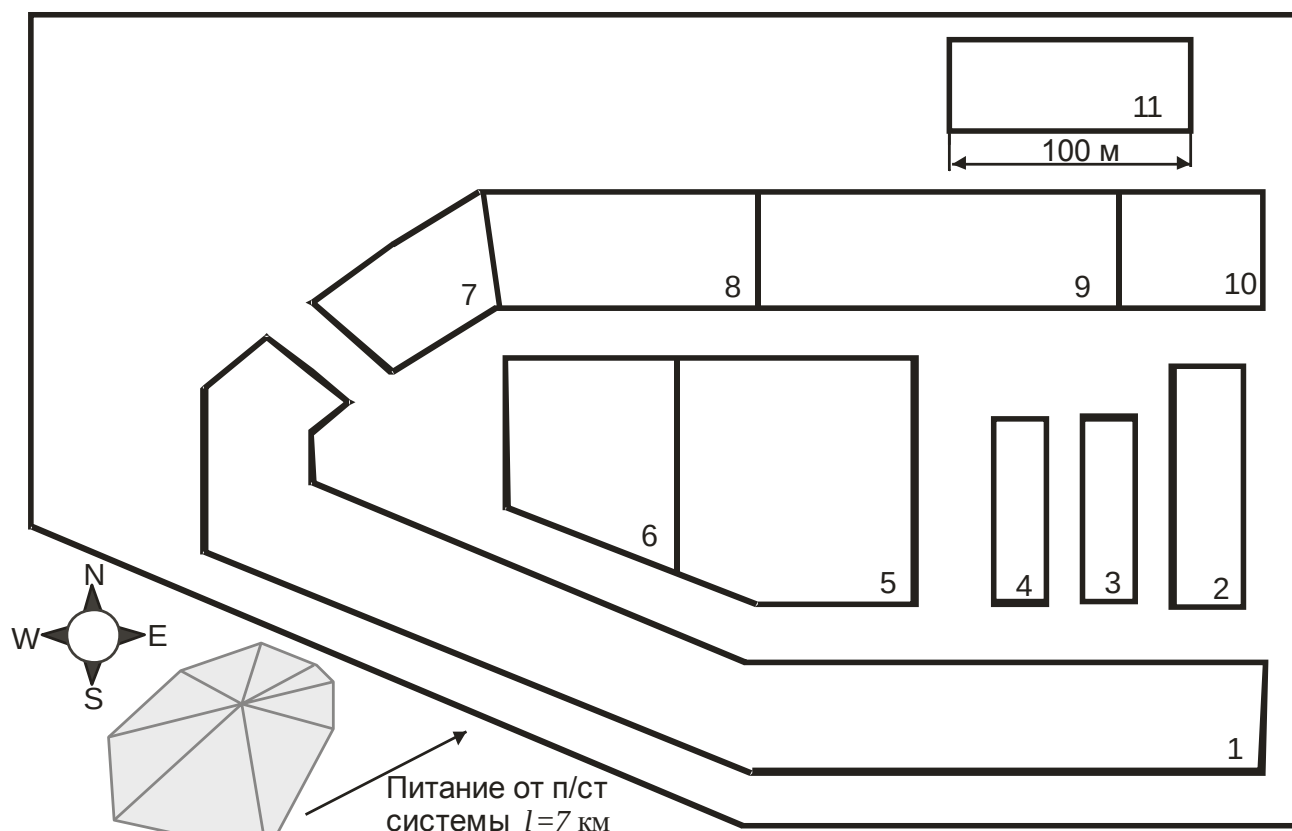


Рисунок 1 – Генплан завода электротехнической промышленности



Таблица 1 – Сведения об электрических нагрузках

| Номер на генплане | Название цеха                     | Установленная мощность, кВт |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1                 | Главный корпус                    | 500                         |
| 2                 | Заводоуправление                  | 100                         |
| 3                 | Механический                      | 520                         |
| 4                 | Инструментальный                  | 1100                        |
| 5                 | Обмоточный                        | 330                         |
| 6                 | Лаборатория                       | 120                         |
| 7                 | Кузнечный                         | -                           |
| 8                 | Штамповочный                      | 800                         |
| 9                 | Сборочный                         | 790                         |
| 10                | Литейный                          | 700                         |
| 11                | Компрессорная<br>10 кВ<br>0,38 кВ | 650<br>50                   |



Рисунок 2 – Генплан кузнечного цеха

Таблица 2 – Сведения об электрических нагрузках

| Номер на плане | Название электроприёмника      | Установленная мощность ЭП, кВт |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1, 30          | Кран-балка ПВ=40%              | 34                             |
| 18             | Пресс                          | 32                             |
| 2-5            | Фрезерный станок               | 14                             |
| 6-8, 10,11     | Трубогибочный станок           | 18                             |
| 9,26           | Шлифовальный станок            | 8                              |
| 12, 13, 14, 24 | Сварочный трансформатор ПВ=25% | 50                             |
| 31             | Вентилятор                     | 4                              |
| 15, 27         | Сушильный шкаф                 | 14                             |
| 16, 17         | Закалочная печь                | 100                            |
| 19-23, 25, 34  | Токарный станок                | 9                              |
| 37             | Сверлильный станок             | 4                              |
| 28, 29         | Электрованна                   | 50                             |
| 32, 36         | Электромолот                   | 30                             |
| 38             | Поворотный кран                | 7                              |
| 33, 40         | Вентилятор горна               | 20                             |
| 35             | Обдирочный станок              | 10                             |
| 39             | Нагревательная плита           | 6                              |

### **1.2 Характеристика среды производственных помещений завода электротехнической промышленности. Категории электроприемников по бесперебойности электроснабжения**

В данном проекте рассматривается электроснабжение завода электротехнической промышленности. В состав данного завода входят 11 производственных помещений, к которым также относятся производственные и вспомогательные цеха, заводоуправление и лаборатория.

Помимо того, что характеристики внешней среды (такие как влажность, температура, присутствие пожара или взрывоопасных зон) оказывают сильное влияние на конструктивное исполнение оборудования, они также могут влиять на выбор марок и сечений проводов, кабелей и защитной аппаратуры. В основном производственный процесс на разрабатываемом заводе можно охарактеризовать нормальными условиями, но присутствуют также исключения из этого правила. А именно некоторые отделения цехов завода, можно отнести к жарким и влажным помещениям, а

так же к помещениям с химически активной средой. Характеристика среды основных производственных помещений по цехам завода электротехнической промышленности представлена в таблице 3.

Последствиями перерыва электроснабжения электро приёмников основного производства завода электротехнической промышленности могут являться массовый не до отпуск продукции и простых людей, в этой связи электроприёмники основного производства относятся ко второй категории. Цеха и подразделения, являющиеся вспомогательными, то есть прямо не участвующими в создании продукции предприятия, относятся к третьей категории. Классификация основной доли электроприёмников завода электротехнической промышленности по бесперебойности электроснабжения приведена в таблице 3.

Таблица 3– Характеристика внешней среды производственных помещений предприятия

| Номер на генплане | Название цеха                     | Характеристика среды | Категория электроснабжения | Установленная мощность, кВт |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1                 | Главный корпус                    | нормальная           | III                        | 500                         |
| 2                 | Заводоуправление                  | нормальная           | III                        | 100                         |
| 3                 | Механический                      | нормальная           | III                        | 520                         |
| 4                 | Инструментальный                  | нормальная           | II                         | 1100                        |
| 5                 | Обмоточный                        | нормальная           | III                        | 330                         |
| 6                 | Лаборатория                       | нормальная           | II                         | 120                         |
| 7                 | Кузнечный                         | пыльная, жаркая      | II                         | -                           |
| 8                 | Штамповочный                      | нормальная           | II                         | 800                         |
| 9                 | Сборочный                         | нормальная           | II                         | 790                         |
| 10                | Литейный                          | пыльная, жаркая      | II                         | 700                         |
| 11                | Компрессорная<br>10 кВ<br>0,38 кВ | нормальная           | II                         | 650<br>50                   |

Как видно из таблицы 3, в рассматриваемом кузнечном цехе под номером 7 на генплане среда пыльная, жаркая и большинство электроприёмников относятся ко II категории по надежности электроснабжения.

## 2. Расчеты и аналитика

### 2.1 Расчет нагрузок кузнечного цеха

Все электроприёмники разделим на две группы:

- Группа А – ЭП с переменным графиком нагрузки  $K_u < 0,6$ ,
- Группа Б – ЭП с практически постоянным графиком нагрузки  $K_u \geq 0,6$ .

Таблица 4 – Справочные данные для ЭП кузнечного цеха

| №п\п | Наименование ЭП         | Коэффициент использования $K_{и}$ | $\cos \varphi$ |
|------|-------------------------|-----------------------------------|----------------|
| 1    | Кран-балка ПВ=40%       | 0,06                              | 0,45           |
| 2    | Пресс                   | 0,25                              | 0,65           |
| 3    | Фрезерный станок        | 0,14                              | 0,5            |
| 4    | Трубогибочный станок    | 0,14                              | 0,5            |
| 5    | Шлифовальный станок     | 0,14                              | 0,5            |
| 6    | Сварочный трансформатор | 0,3                               | 0,35           |
| 7    | Вентилятор              | 0,65                              | 0,8            |
| 8    | Сушильный шкаф          | 0,75                              | 1,0            |
| 9    | Закалочная печь         | 0,6                               | 0,95           |
| 10   | Токарный станок         | 0,14                              | 0,5            |
| 11   | Сверлильный станок      | 0,14                              | 0,5            |
| 12   | Электрованна            | 0,55                              | 0,95           |
| 13   | Электромолот            | 0,3                               | 0,6            |
| 14   | Поворотный кран         | 0,06                              | 0,6            |
| 15   | Вентилятор горна        | 0,65                              | 0,8            |
| 16   | Обдирочный станок       | 0,14                              | 0,5            |
| 17   | Нагревательная плита    | 0,6                               | 0,7            |

\* – данные таблицы были приняты, согласно справочной литературе

[8, стр. 119-122]

Определение установленной мощности, приведённой к ПВ = 100%:

- Трансформатор сварочный  $P_{ном} = P_n \cdot \sqrt{ПВ} = 50 \cdot \sqrt{0,25} = 25$  (кВт),
- Кран-балка  $P_{ном} = P_n \cdot \sqrt{ПВ} = 34 \cdot \sqrt{0,4} = 21,5$  (кВт).

Определение  $K_{u.ср}$  по группе А:  $K_{u.ср} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{ном}} = \frac{64,88}{142} \approx 0,46$

т.к.  $m > 3$  и  $K_{u.ср} > 0,2$ , то  $n_{\varphi} = \frac{2 \sum P_n}{P_{н.макс}} = \frac{2 \times 142}{100} = 2$

Определение расчётной нагрузки:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{145.8^2 + 90.5^2} = 171.6 \text{ (кВА)}$$

Определение расчётного тока:

$$\text{Расчётный ток } I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \times U_n} = \frac{171.6}{\sqrt{3} \times 0.38} = 260.7 \text{ А}$$

Расчёты систематизируем в виде таблицы 5, представленной ниже.

Таблица 5 – Расчетная нагрузка кузнечного цеха

| № | Наименование узлов питания и групп электроприёмников | Количество ЭП, п | Установленная мощность, приведённая к ПВ = 100% |                   | $m = P_{н. макс} \setminus P_{н. мин}$ | Коэффициент использования, $K_{и}$ | $\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$ | Средняя нагрузка за максимально нагруженную смену |                                                      | Эффективное число электроприёмников, № | Коэффициент максимума, $K_m$ | максимальная нагрузка      |                                                                             |                                    | Расчётные токи, $I_m \setminus I_p$ |
|---|------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
|   |                                                      |                  | одного ЭП (наименьшего, наибольшего)            | Общая $P_n$ , кВт |                                        |                                    |                                            | $P_{см} = K_{и} * P_n$ , кВт                      | $Q_{см} = P_{см} * \operatorname{tg} \varphi$ , кВАр |                                        |                              | $P_m = K_m * P_{см}$ , кВт | $Q_m = Q_{см}$ при $n \geq 10$<br>$Q_m = 1,1 Q_{см}$ при $n \leq 10$ , кВАр | $S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$ , кВА |                                     |
| 1 | 2                                                    | 3                | 4                                               | 5                 | 6                                      | 7                                  | 8                                          | 9                                                 | 10                                                   | 11                                     | 12                           | 13                         | 14                                                                          | 15                                 | 16                                  |
|   | ПР1                                                  |                  |                                                 |                   |                                        |                                    |                                            |                                                   |                                                      |                                        |                              |                            |                                                                             |                                    |                                     |
|   | Группа А                                             |                  |                                                 |                   |                                        |                                    |                                            |                                                   |                                                      |                                        |                              |                            |                                                                             |                                    |                                     |
| 1 | Станки разные №7,8,9,10, 11                          | 5                | 8-18                                            | 80                | -                                      | 0,14                               | 0,5 / 1,73                                 | 11,2                                              | 19,4                                                 | -                                      | -                            | -                          | -                                                                           | -                                  | -                                   |
| 2 | Сварочный трансформатор №12,13,14                    | 3                | 25                                              | 75                | -                                      | 0,3                                | 0,35 / 2,67                                | 22,5                                              | 60,1                                                 | -                                      | -                            | -                          | -                                                                           | -                                  | -                                   |
|   | Итого по ПР1                                         | 8                | 8 - 25                                          | 155               | > 3                                    | 0,217                              | -                                          | 33,7                                              | 79,5                                                 | 8                                      | 1,5                          | 50,6                       | 87,4                                                                        | 100,96                             | 153,4                               |
|   | ПР2                                                  |                  |                                                 |                   |                                        |                                    |                                            |                                                   |                                                      |                                        |                              |                            |                                                                             |                                    |                                     |
|   | Группа А                                             |                  |                                                 |                   |                                        |                                    |                                            |                                                   |                                                      |                                        |                              |                            |                                                                             |                                    |                                     |
| 1 | Фрезерный станок №2-5                                | 4                | 14                                              | 56                | -                                      | 0,14                               | 0,5 / 1,73                                 | 7,84                                              | 13,56                                                | -                                      | -                            | -                          | -                                                                           | -                                  | -                                   |
| 2 | Трубогибочный станок №6                              | 1                | 18                                              | 18                | -                                      | 0,14                               | 0,5 / 1,73                                 | 2,52                                              | 4,36                                                 | -                                      | -                            | -                          | -                                                                           | -                                  | -                                   |
| 3 | Кран-балка №1                                        | 1                | 21,5                                            | 21,5              | -                                      | 0,06                               | 0,6 / 1,33                                 | 1,29                                              | 1,72                                                 | -                                      | -                            | -                          | -                                                                           | -                                  | -                                   |
| 4 | Пресс №18                                            | 1                | 32                                              | 32                | -                                      | 0,25                               | 0,65 / 1,17                                | 20,8                                              | 24,34                                                | -                                      | -                            | -                          | -                                                                           | -                                  | -                                   |
|   | Итого по группе А                                    | 7                | 14 - 32                                         | 127,5             | < 3                                    | 0,255                              | -                                          | 32,45                                             | 43,98                                                | 7                                      | 1,94                         | 63,0                       | 48,37                                                                       |                                    | -                                   |
|   | Приёмники группы Б                                   |                  |                                                 |                   |                                        |                                    |                                            |                                                   |                                                      |                                        |                              |                            |                                                                             |                                    |                                     |
| 5 | Сушильный шкаф №15                                   | 1                | 14                                              | 14                | -                                      | 0,75                               | 0,95 / 0,33                                | 10,5                                              | 3,47                                                 | -                                      | -                            | -                          | -                                                                           | -                                  | -                                   |
|   | Итого по группе Б                                    | 1                | 14                                              | 14                |                                        | -                                  | -                                          | 10,5                                              | 3,47                                                 | -                                      | -                            | 14                         | 4,62                                                                        |                                    | -                                   |
|   | Итого по ПР2                                         | 8                | 14 - 32                                         | 141,5             |                                        | -                                  | -                                          | 42,95                                             | 47,45                                                |                                        |                              | 77,0                       | 53,0                                                                        | 93,5                               | 142,1                               |

| 1 | 2                           | 3 | 4      | 5   | 6   | 7     | 8           | 9     | 10    | 11 | 12   | 13    | 14    | 15    | 16    |
|---|-----------------------------|---|--------|-----|-----|-------|-------------|-------|-------|----|------|-------|-------|-------|-------|
|   | ПР3                         |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
|   | Группа А                    |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
| 1 | Токарный станок №19-23      | 5 | 9      | 45  | -   | 0,14  | 0,5 / 1,73  | 6,3   | 10,9  | -  | -    | -     | -     | -     | -     |
|   | Итого по группе А           | 5 | 9      | 45  | < 3 | 0,14  | -           | 6,3   | 10,9  | 5  | 2,94 | 18,5  | 11,99 |       | -     |
|   | Приёмники группы Б          |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
| 2 | Закалочная печь №16, 17     | 2 | 100    | 200 | -   | 0,6   | 0,95 / 0,33 | 120   | 39,6  | -  | -    | -     | -     | -     | -     |
|   | Итого по группе Б           | 2 | 100    | 200 |     | -     | -           | 120   | 39,6  | -  | -    | 200   | 66,0  |       | -     |
|   | Итого по ПР3                | 7 | 9-100  | 245 |     | -     | -           | 126,3 | 50,5  | -  | -    | 218,5 | 78,0  | 232,0 | 352,5 |
|   | ПР4                         |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
|   | Группа А                    |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
| 1 | Станки разные №25,26        | 2 | 8-9    | 17  | -   | 0,14  | 0,5 / 1,73  | 2,38  | 4,12  | -  | -    | -     | -     | -     | -     |
| 2 | Электрованна №28,29         | 2 | 50     | 100 | -   | 0,55  | 0,95 / 0,33 | 55    | 18,15 | -  | -    | -     | -     | -     | -     |
| 3 | Сварочный трансформатор №24 | 1 | 25     | 25  | -   | 0,3   | 0,35 / 2,67 | 7,5   | 20,03 | -  | -    | -     | -     | -     | -     |
|   | Итого по группе А           | 5 | 8 - 50 | 142 | > 3 | 0,457 | -           | 64,88 | 42,29 | 2  | -    | 127,8 | 83,1  |       | -     |
|   | Приёмники группы Б          |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
| 4 | Сушильный шкаф №27          | 1 | 14     | 14  | -   | 0,75  | 0,95 / 0,33 | 10,5  | 3,47  | -  | -    | 14    | 4,6   | -     | -     |
| 5 | Вентилятор №31              | 1 | 4      | 4   | -   | 0,65  | 0,8 / 0,7   | 2,6   | 1,82  | -  | -    | 4     | 2,8   | -     | -     |
|   | Итого по группе Б           | 2 | 4-14   | 18  |     | -     | -           | 13,1  | 5,3   | -  | -    | 18    | 7,4   |       | -     |
|   | Итого по ПР4                | 7 | 4 - 50 | 160 |     | -     | -           | 77,98 | 47,16 | -  | -    | 145,8 | 90,5  | 171,6 | 260,7 |
|   | ПР5                         |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
|   | Группа А                    |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
| 1 | Электроломот №32,36         | 2 | 30     | 60  | -   | 0,3   | 0,6 / 1,33  | 18    | 23,94 | -  | -    | -     | -     | -     | -     |
| 2 | Станки разные №34,35        | 2 | 9-10   | 19  | -   | 0,14  | 0,5 / 1,73  | 2,66  | 4,6   | -  | -    | -     | -     | -     | -     |
|   | Итого по группе А           | 4 | 9 - 30 | 79  | > 3 | 0,262 | -           | 20,66 | 28,54 | 4  | 2,34 | 48,3  | 31,4  |       | -     |
|   | Приёмники группы Б          |   |        |     |     |       |             |       |       |    |      |       |       |       |       |
| 3 | Вентилятор горна №33        | 1 | 20     | 20  | -   | 0,65  | 0,8 / 0,75  | 16    | 12    | -  | -    | -     | -     | -     | -     |
|   | Итого по группе Б           | 1 | 20     | 20  |     | -     | -           | 16    | 12    | -  | -    | 20    | 15    |       | -     |
|   | Итого по ПР5                | 5 | 9-30   | 99  |     | -     | -           | 36,66 | 40,54 | -  | -    | 68,3  | 46,4  | 82,6  | 125,5 |

| 1 | 2                       | 3  | 4       | 5    | 6   | 7     | 8          | 9      | 10     | 11 | 12 | 13    | 14    | 15    | 16     |
|---|-------------------------|----|---------|------|-----|-------|------------|--------|--------|----|----|-------|-------|-------|--------|
|   | ПР6                     |    |         |      |     |       |            |        |        |    |    |       |       |       |        |
|   | Группа А                |    |         |      |     |       |            |        |        |    |    |       |       |       |        |
| 1 | Сверлильный станок №37  | 1  | 4       | 4    | -   | 0,14  | 0,5 / 1,73 | 0,56   | 0,969  | -  | -  |       |       | -     | -      |
| 2 | Кран-балка, кран №30,38 | 2  | 7-21,5  | 28,5 | -   | 0,06  | 0,6 / 1,33 | 1,71   | 2,274  | -  | -  |       |       | -     | -      |
|   | Итого по группе А       | 3  | 4- 21,5 | 32,5 | > 3 | 0,457 | -          | 2,27   | 3,243  |    |    | 32,5  | 44,8  |       | -      |
|   | Приёмники группы Б      |    |         |      |     |       |            |        |        |    |    |       |       |       |        |
| 3 | Нагреват. плита №39     | 1  | 6       | 6    | -   | 0,6   | 0,7 / 1,0  | 3,6    | 3,6    | -  | -  | 6     | 6     | -     | -      |
| 4 | Вентилятор горна №40    | 1  | 20      | 20   | -   | 0,65  | 0,8 / 0,75 | 13     | 9,75   | -  | -  | 20    | 15    | -     | -      |
|   | Итого по группе Б       | 2  | 20      | 26   |     | -     | -          | 16,6   | 13,35  | -  | -  | 26    | 21    |       | -      |
|   | Итого по ПР6            | 5  | 9-30    | 58,5 |     | -     | -          | 18,87  | 16,59  | -  | -  | 58,5  | 65,8  | 88,1  | 133,8  |
|   | <b>Итого по цеху</b>    | 40 | 4 - 100 | 859  | -   | -     | -          | 336,46 | 218,74 | -  | -  | 618,7 | 421,1 | 748,4 | 1137,1 |



## 2.2 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом

Расчётную полную мощность предприятия можно определить используя расчётные активные и реактивные нагрузки цехов (до и свыше 1000 В), учитывая при этом расчётную нагрузку освещения цехов и территории на предприятие, а также потери мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ГПП и потери в высоковольтных линиях.

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приёмников цехов определяются из выражений:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

где  $P_p$  – суммарная установленная мощность всех приёмников цеха;

$K_c$  – коэффициент спроса, выбирается согласно справочным данным;

$\operatorname{tg} \varphi$  – выбирается в соответствии значению коэффициента мощности;

Приёмники напряжением свыше 1000В необходимо учитывать отдельно. По выше изложенным формулам, определяем расчётные активную и реактивную мощности групп приёмников свыше 1000В. Пример расчетов для главного корпуса:

Расчётные активная и реактивная нагрузки силовых приёмников цеха:

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,35 \cdot 500 = 175 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 175 \cdot 0,7 = 178,5 \text{ кВАр}.$$

Номинальная мощность осветительной нагрузки цеха:

$$P_{н.о.} = P_{уд.о.} \cdot F = 0,003 \cdot 21150 = 63,5 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка от освещения:

$$P_{p.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} = 63,5 \cdot 0,95 = 60,3 \text{ кВт}.$$

Полная расчетная нагрузка цеха:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.о.})^2 + (Q_p)^2} = \sqrt{(235,3)^2 + (178,5)^2} = 295,3 \text{ кВА}.$$

Результаты расчетов по определению расчетной нагрузки предприятия в целом приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Определение расчетных осветительных нагрузок предприятия в целом

| №  | Наименование цеха       | Силовая нагрузка     |                |           |                      |                       | Осветительная нагрузка             |                                          |                         |                   |                         | Силовая+ осветительная |               |               |
|----|-------------------------|----------------------|----------------|-----------|----------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|---------------|---------------|
|    |                         | Р <sub>н</sub> , кВт | К <sub>с</sub> | cosφ/tgφ  | Р <sub>р</sub> , кВт | Q <sub>р</sub> , кВАр | Ф <sub>цеха</sub> , м <sup>2</sup> | Р <sub>уд.ос.</sub> , кВт/м <sup>2</sup> | Р <sub>н.о.</sub> , кВт | κ <sub>с.о.</sub> | Р <sub>р.о.</sub> , кВт | ΣР, кВт                | ΣQ, кВАр      | ΣS, кВА       |
| 1  | 2                       | 3                    | 4              | 5         | 6                    | 7                     | 8                                  | 9                                        | 10                      | 11                | 13                      |                        | 16            | 17            |
| 1  | Главный корпус          | 500                  | 0,35           | 0,7/1,02  | 175                  | 178,5                 | 21150                              | 0,003                                    | 63,5                    | 0,95              | 60,3                    | 235,3                  | 178,5         | 295,3         |
| 2  | Заводоуправление        | 100                  | 0,5            | 0,8/0,75  | 50                   | 37,5                  | 2937                               | 0,004                                    | 11,7                    | 0,9               | 10,6                    | 60,6                   | 37,5          | 71,2          |
| 3  | Механический            | 520,0                | 0,4            | 0,8/0,75  | 208                  | 156,0                 | 1836                               | 0,003                                    | 5,5                     | 0,95              | 5,2                     | 213,2                  | 156,0         | 264,2         |
| 4  | Инструментальный        | 1100                 | 0,6            | 0,6/1,33  | 660                  | 877,8                 | 1836                               | 0,004                                    | 7,3                     | 1                 | 7,3                     | 667,3                  | 877,8         | 1102,7        |
| 5  | Обмоточный              | 330                  | 0,3            | 0,8/0,75  | 99                   | 74,3                  | 8923                               | 0,003                                    | 26,8                    | 1                 | 26,8                    | 125,8                  | 74,3          | 146,1         |
| 6  | Лаборатория             | 120                  | 0,25           | 0,7/1,02  | 30                   | 30,6                  | 4847                               | 0,006                                    | 29,1                    | 0,8               | 23,3                    | 53,3                   | 30,6          | 61,4          |
| 7  | Кузнечный               |                      |                |           | 618,7                | 421,1                 | 1776                               | 0,00375                                  | 6,7                     | 0,95              | 6,3                     | 625,0                  | 421,1         | 753,6         |
| 8  | Штамповочный            | 800                  | 0,4            | 0,7/1,02  | 320                  | 326,4                 | 4682                               | 0,004                                    | 18,7                    | 0,95              | 17,8                    | 337,8                  | 326,4         | 469,7         |
| 9  | Сборочный               | 790                  | 0,3            | 0,8/0,75  | 237                  | 177,8                 | 7050                               | 0,003                                    | 21,2                    | 1                 | 21,2                    | 258,2                  | 177,8         | 313,4         |
| 10 | Литейный                | 700                  | 0,8            | 0,75/0,88 | 560                  | 492,8                 | 2790                               | 0,003                                    | 8,4                     | 1                 | 8,4                     | 568,4                  | 492,8         | 752,3         |
| 11 | Компрессорный 0,38 кВ   | 50                   | 0,5            | 0,8/0,75  | 25                   | 18,8                  | 3635                               | 0,00375                                  | 13,6                    | 0,95              | 12,9                    | 37,9                   | 18,8          | 42,3          |
|    | <b>Итого по 0,38 кВ</b> | <b>5010</b>          |                |           |                      |                       |                                    |                                          |                         |                   |                         | <b>3182,8</b>          | <b>2791,5</b> | <b>4272,3</b> |
|    |                         |                      |                |           |                      |                       |                                    |                                          |                         |                   |                         |                        |               |               |
| 12 | Компрессорный 10 кВ     | 650                  | 0,5            | 0,8/0,75  | 325                  | 243,8                 |                                    |                                          |                         |                   |                         | 325,0                  | 243,8         | 406,3         |
|    |                         |                      |                |           |                      |                       |                                    |                                          |                         |                   |                         |                        |               |               |
|    | <b>Итого по 10 кВ</b>   | <b>650</b>           |                |           |                      |                       |                                    |                                          |                         |                   |                         | <b>325,0</b>           | <b>243,8</b>  | <b>406,3</b>  |

## 2.3 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Чтобы упростить процедуру определения мест расположения ГПП, РП (распределительный пункт), а также цеховых ТП, изобразим на генплане предприятия нагрузки цехов в виде картограммы электрических нагрузок. Картограмма электрических нагрузок является графическим изображением нагрузок цехов, в форме окружностей, при этом площади данных окружностей соответствуют, в заданном масштабе, расчетным нагрузкам.

Так как на промышленных предприятиях, входящих в ту же отрасль производства что и проектируемый завод, предполагается использование полной, автоматической компенсации реактивной мощности до нормативного коэффициента мощности энергосистемы на всех уровнях электроснабжения, при построении картограммы, данные нагрузки можно не учитывать.

Для отдельных цехов с распределенной нагрузкой определим центры электрических нагрузок опираясь на то, что в пределах цеха электрическая нагрузка распределяется равномерно по всей площади. В этом случае, центр электрических нагрузок отдельного цеха совпадает с центром масс символического изображения цех на генплане.

В таблицу 7 вносим величины расчётных силовых и осветительных нагрузок цехов, взятых из таблицы 6, а также значения координат центров нагрузки цехов, которые определили по генплану.

Для отображения на картограмме нагрузок цехов рассчитаем радиус окружностей для каждого из цехов  $r_i$ , мм как

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{p.i} + P_{p.o.i}}{\pi \cdot m}},$$

где  $m$  – масштаб для определения площади круга,

Принимаем  $m = 1 \text{ кВт/мм}^2$ .

Отделим в окружностях сектора, относящиеся к осветительной нагрузке сектором с углом  $\alpha_i$ , градусы, определяемым по формуле

$$\alpha_i = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o.i}}{P_{p.i} + P_{p.o.i}}.$$

Из генплана определим координаты нагрузок цехов как координаты середины цеха. Полученные  $x_i$  и  $y_i$  занесем в таблицу 2.3.1.

*Пример расчетов для главного корпуса (цех №1):*

Радиус окружности:

$$r_1 = \sqrt{\frac{P_{p1}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{235,3}{3,14 \cdot 1}} = 8,7 \text{ мм}$$

Угол сектора осветительной нагрузки:

$$\alpha_1 = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o}}{P_{p1}} = \frac{360^\circ \cdot 60,3}{235,3} = 92,2 \text{ град.}$$

В виду того что координаты ЦЭН (Центр электрических нагрузок) совпадают с местоположением 5-го цеха, ГПП невозможно расположить в центре электрических нагрузок. Необходимо сместить ГПП в сторону, при этом эго фактические координаты примут следующие значения  $x_0 = 136,7$  (мм)  $y_0 = 76$  (мм).

Построение зоны рассеяния ЦЭН

Полуоси эллипса:

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x}; R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y};$$

Где  $h_x = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2}}; h_y = \frac{1}{\sigma_y \cdot \sqrt{2}} \cdot \sigma_x, \sigma_y$  дисперсии случайных координат.

Для цеха по главному корпусу:

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n P_{xi} \cdot (x_i - x_{0a})^2 = 3038;$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n P_{yi} \cdot (y_i - y_{0a})^2 = 1052.$$

Где  $P_{xi}, P_{yi}$  – эмпирическая вероятность появления  $x_i, y_i$  во.е.

$$P_{xi} = P_{yi} = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i}$$

$$R_x = \frac{\sqrt{3}}{h_x} = \frac{\sqrt{3}}{0,0128} = 135 \text{ мм}; \quad R_y = \frac{\sqrt{3}}{h_y} = \frac{\sqrt{3}}{0,0218} = 76 \text{ мм};$$

Таблица 7 – Расчётные данные для построения картограммы нагрузок

| №  | Наименование потребителей |                         | Координаты цехов |       | Координаты ЦЭН      |                     |       |          |
|----|---------------------------|-------------------------|------------------|-------|---------------------|---------------------|-------|----------|
|    |                           | P <sub>р+ро</sub> , кВт | х, мм            | у, мм | х <sub>0</sub> , мм | у <sub>0</sub> , мм | г, мм | α, град. |
| 1  | Главный корпус            | 235,3                   | 104              | 31    | 136,7               | 76,0                | 8,7   | 92,22    |
| 2  | Заводоуправление          | 60,6                    | 218              | 64    |                     |                     | 4,4   | 62,81    |
| 3  | Механический              | 213,2                   | 199              | 57    |                     |                     | 8,2   | 8,84     |
| 4  | Инструментальный          | 667,3                   | 183              | 57    |                     |                     | 14,6  | 3,96     |
| 5  | Обмоточный                | 125,8                   | 141              | 65    |                     |                     | 6,3   | 76,60    |
| 6  | Лаборатория               | 53,3                    | 103              | 71    |                     |                     | 4,1   | 157,14   |
| 7  | Кузнечный                 | 625,0                   | 72               | 102   |                     |                     | 14,1  | 3,64     |
| 8  | Штамповочный              | 337,8                   | 108              | 106   |                     |                     | 10,4  | 18,96    |
| 9  | Сборочный                 | 258,2                   | 167              | 107   |                     |                     | 9,1   | 29,49    |
| 10 | Литейный                  | 568,4                   | 215              | 107   |                     |                     | 13,5  | 5,30     |
| 11 | Компрессорная 0.38кВ      | 37,9                    | 191              | 137   |                     |                     | 3,5   | 123,00   |
|    | Компрессорная 10кВ        | 325,0                   | 191              | 137   |                     |                     | 10,2  |          |
|    | Итого                     | 3507,8                  | -                | -     | -                   | -                   | -     | -        |

Как видно из рисунка 3. ЦЭН приходится на территорию, на которой расположен цех №5. В этой связи необходимо переместить главную понижающую подстанцию (ГПП) ближе к питающей линии.



## **2.4 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых подстанций**

### **2.4.1 Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП напряжением 10/0,4 кВ**

Основными факторами влияющими на выбор числа и мощности трансформаторов ТП 10/0,4 кВ являются критерии надежности, затраты на питающую сеть 0,4 кВ, потери мощности в этой сети и в трансформаторах, затраты на компенсацию реактивной мощности и строительную часть ТП. Для того чтобы с высокой точностью учесть выше изложенные факторы необходимо произвести технико-экономические расчеты предполагаемых схем электроснабжения предприятия.

Число цеховых ТП оказывает непосредственное влияние на затраты требуемые на распределительные устройства напряжением 10 кВ и внутризаводские и цеховые электрические сети. Так, в случае уменьшения числа ТП (т. е. если увеличивается их единичная номинальная мощность) также уменьшается число ячеек РУ (распределительные устройства), общая длина линий и потери электроэнергии и напряжения в сетях 10 кВ, однако при этом возрастает стоимость сетей напряжением 0,4 кВ, а также потери в них. Напротив в случае увеличения числа ТП, снижаются затраты на цеховые сети, но увеличиваются число ячеек РУ 10 кВ и затраты на сети напряжением 10 кВ.

Таким образом подобрав некоторое число трансформаторов с номинальной мощностью  $S_{\text{ном т}}$ , можно достигнуть минимальных затрат, обеспечивая при этом заданную степень надежности электроснабжения. Данный вариант является оптимальным, и его следует рассматривать как окончательный.

На определение номинальных мощностей трансформаторов ( $S_{\text{ном т}}$ ) влияет плотность нагрузки цехов. Как правило, их выбирают одинаковыми для всей группы цехов, исходя из рациональной их загрузки в нормальном режиме и с учетом резервирования в послеаварийном режиме.

Ориентировочно выбор номинальной мощности цеховых трансформаторов производится по удельной плотности нагрузки  $\sigma, \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}$

$$\sigma = \frac{P_{\text{расч}}}{F_{\text{ц}}},$$

где  $P_{\text{расч}}$  – активная расчетная мощность всех цехов на напряжении до 1000 В;

$F_{\text{ц}}$  – площадь всех цехов предприятия.

$$\sigma = \frac{3183}{61462} = 0,05 \frac{\text{кВА}}{\text{м}^2}.$$

Для данной плотности нагрузки рекомендуемая номинальная мощность трансформаторов  $S_{\text{ном т}}=630\text{кВА}$ . Так как нагрузка по предприятию рассредоточена по территории, по этому будем группировать нагрузки цехов и выбирать соответствующие мощности трансформаторов, исходя из величины  $S_{\text{номт}} = 630 \text{ кВА}$ .

Минимальное число трансформаторов цеховых ТП определяется по формуле:

$$N_{\text{min}} = \frac{\Sigma(P_p'' + P_{po})}{\beta_T S_{\text{нтр}}};$$

$$N_{S_{\text{н.мп}}=630}^{\text{min}} = \frac{3183}{0,7 \cdot 630} = 7,2 \approx 8; N_{S_{\text{н.мп}}=250}^{\text{min}} = \frac{3183}{0,7 \cdot 250} = 18,1 \approx 19;$$

При принятом числе трансформаторов:

$S_{\text{ном т}}=630\text{кВАН}=8$  не удастся обеспечить вторую категорию, а при  $S_{\text{ном т}}=250\text{кВАН}=19$  придется использовать 4х трансформаторные подстанции, что не целесообразно, поэтому будем использовать трансформаторы двух номиналов.

Пример расчета для группы цехов 6 и 7.

Находим мощность через трансформаторы:

$$P'_6 = \frac{P_6}{\beta} = \frac{53}{0,7} = 75,7 \text{ кВт}; P'_7 = \frac{P_7}{\beta} = \frac{625}{0,7} = 892,9 \text{ кВт};$$

Определяем суммарную мощность, проходящую через трансформаторы ТП-1



$$P_{\Sigma} = P_6 + P_7 = 75.7 + 892.9 = 968.6 \text{ кВт};$$

Где  $P_{\Sigma}$  – нагрузка, проходящая через ТП-1

$P_6$  и  $P_7$  – нагрузка 6 и 7 цехов (см табл. 2.2.1)

$\beta$  – коэффициент загрузки

Принимаем 2 трансформатора  $S_{\text{ном т}}=630\text{кВА}$ каждый.Для остальных цехов расчет аналогичен.

Расставим на генплане предприятия выбранное количество трансформаторов и изобразим необходимые для нормального электроснабжения сети. Целесообразно приближать цеховые трансформаторы, к которым подключено несколько цехов, к цеху, имеющему наибольшую мощность. Нагрузки близлежащих цехов объединяем. Подстанции устанавливаем одно- и двух трансформаторные в зависимости от необходимой категории надежности электроснабжения.

Всего установили 6 трансформаторов  $S_{\text{ном т}}=630\text{кВА}$  и 4 трансформатора  $S_{\text{ном т}}=250\text{кВА}$ .

Расставленные трансформаторы  $S_{\text{ном т}}=630\text{кВА}$ марки ТМЗ – Т – трехфазный, М - масляное охлаждение с естественной циркуляцией масла и воздуха; З - без расширителя, герметичный, с азотной подушкой.

Расставляемые трансформаторы  $S_{\text{ном т}}=250\text{кВА}$ марки ТСЗ – Т – трехфазный, С - сухой; З - без расширителя, герметичный, с азотной подушкой.

Распределение электрических нагрузок по пунктам питания сводим в таблицу8.

Таблица 8 – Распределение электрических нагрузок по пунктам питания

| № п/п | Наименование пункта питания | Потребители электроэнергии | Место расположения пункта питания на генплане | Кол-во и мощность тр-ров |
|-------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------|
| 1     | ТП-1                        | Цех 6,7                    | Цех 7,6                                       | 2х630кВА                 |
| 2     | ТП-2                        | Цех 9,10,11                | Цех 11                                        | 2х630кВА                 |
| 3     | ТП-3                        | Цех 8                      | Цех 8                                         | 2х250кВА                 |
| 4     | ТП-4                        | Цех 1,4                    | Цех 4                                         | 2х630кВА                 |
| 5     | ТП-5                        | Цех 3                      | Цех 3                                         | 1х250кВА                 |
| 6     | ТП-6                        | Цех 2,5                    | Цех 5                                         | 1х250кВА                 |

Параметры выбранных трансформаторов цеховых ТП сводим в таблицу

9.

Таблица 9. Параметры трансформаторов цеховых ТП

| Тип трансформатора | S <sub>ном</sub> ,кВ<br>А | U <sub>ном</sub> обмоток,<br>кВ |     | U <sub>к</sub> ,<br>% | P <sub>кз</sub> ,кВ<br>т | P <sub>хх</sub> ,кВ<br>т | I <sub>х</sub> ,<br>% | Схема и группа соединения обмоток |
|--------------------|---------------------------|---------------------------------|-----|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|                    |                           | ВН                              | НН  |                       |                          |                          |                       |                                   |
| ТМЗ-630/10         | 630                       | 10                              | 0,4 | 5,5                   | 7,9                      | 1,25                     | 1,7                   | Y-Y <sub>Н</sub> -11              |
| ТСЗ-250/10         | 250                       | 10                              | 0,4 | 4,5                   | 3,7                      | 0,945                    | 2,3                   | Y-Y <sub>Н</sub> -11              |

На плане предприятия обозначаем места расположения цеховых ТП. Трансформаторы одно- и двух трансформаторных подстанций запитаны от разных секций РУ 10 кВ ГПП.

#### 2.4.2 Расчет потерь мощности в трансформаторах

Существуют два вида потерей мощности в трансформаторе: постоянные и переменные. Соответственно постоянные потери включают в себя потери холостого хода  $\Delta P_{xx}$  и  $\Delta Q_{xx}$ , а к переменные – потери на нагрев обмоток и рассеяние магнитного потока  $\Delta P_{кз}$  и  $\Delta Q_{кз}$ .

В общем виде потери полной мощности в трансформаторах  $\Delta S_{тр}$ , кВА можно записать как:

$$\Delta S_{тр} = \sqrt{\Delta P_{тр}^2 + \Delta Q_{тр}^2};$$

где  $\Delta P_{тр}$  и  $\Delta Q_{тр}$  – потери активной и реактивной мощности трансформатора соответственно.

Потери активной мощности, в случае отдельно работающих  $n$  однотипных трансформаторах  $\Delta P_{тр}$ , кВт определяются как

$$\Delta P_{тр} = n \cdot \Delta P_{xx} + n \cdot \Delta P_{кз} \cdot \beta_{трн}^2;$$

где  $\Delta P_{xx}$  – потери активной мощности на холостой ход, кВт,

Принимаем по справочным данным в зависимости от мощности для трансформатора ТМЗ по каталогу[4];

$\Delta P_{кз}$  – активные потери короткого замыкания, кВт.

Принимаем по справочным данным в зависимости от мощности для трансформатора ТМЗ по каталогу[4].

Потери реактивной мощности при отдельно работающих  $n$  однотипных трансформаторах  $\Delta Q_{\text{тр}}$ , кВАр определяются как

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \Delta Q_{\text{xx}} + n \cdot \Delta Q_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр н}}^2;$$

где  $\Delta Q_{\text{xx}}$  – потери реактивной мощности на холостом ходу, кВАр

$$\Delta Q_{\text{xx}} = \frac{I_{\text{xx}} \cdot S_{\text{ном т}}}{100};$$

где  $I_{\text{xx}}$  – ток холостого хода в % от номинального,

принимаем по справочным данным в зависимости от мощности и марки трансформатора по каталогу [4];

$\Delta Q_{\text{кз}}$  – реактивные потери короткого замыкания, кВАр

$$\Delta Q_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot S_{\text{ном т}}}{100};$$

где  $U_{\text{кз}}$  – напряжение короткого замыкания в % от номинального,

принимаем по справочным данным в зависимости от мощности и марки трансформатора по каталогу [4].

Расчет потерь одного трансформатора ТМЗ-630:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр н}}^2 = 1,25 + 7,9 \cdot 0,7^2 = 5,121 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \Delta Q_{\text{xx}} + \Delta Q_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр н}}^2 = 10,71 + 34,65 \cdot 0,7^2 = 27,688 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{\text{xx}} = \frac{I_{\text{xx}} \cdot S_{\text{ном т}}}{100} = \frac{1,7\% \cdot 630}{100} = 10,71 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot S_{\text{ном т}}}{100} = \frac{5,5\% \cdot 630}{100} = 34,65 \text{ кВАр};$$

Расчет потерь одного трансформатора ТСЗ-250:

$$\Delta P_{\text{тр}} = \Delta P_{\text{xx}} + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр н}}^2 = 0,945 + 3,7 \cdot 0,7^2 = 2,758 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \Delta Q_{\text{xx}} + \Delta Q_{\text{кз}} \cdot \beta_{\text{тр н}}^2 = 5,75 + 11,25 \cdot 0,7^2 = 11,262 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{\text{xx}} = \frac{I_{\text{xx}} \cdot S_{\text{ном т}}}{100} = \frac{2,3\% \cdot 250}{100} = 5,75 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot S_{\text{ном т}}}{100} = \frac{4,5\% \cdot 250}{100} = 11,25 \text{ кВАр};$$

## 2.5 Расчет мощности компенсирующих устройств в сети 0,4 кВ

Для снижения потерь в линиях и трансформаторах примем вариант компенсации реактивной мощности на напряжении 0.4 кВ непосредственно вблизи электроприёмников. КБ (конденсаторные батареи) присоединяем к сборным шинам НН КТП и РУ.

Реактивная мощность, которую возможно передавать через трансформаторы КТП (комплектные трансформаторные подстанции) в сеть напряжением до 1000 В при заданном коэффициенте загрузки, определяется соотношением

$$Q_1 = \sqrt{(N_{opt} \cdot \beta \cdot S_{н.т})^2 - P_{\Sigma}^2},$$

где  $N_{opt}$  – оптимальное число трансформаторов на ТП;

$\beta = 0,7$  – коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме;

$S_{н.т}$  – номинальная мощность трансформаторов, устанавливаемых на ТП;

$P_p$  – расчетная активная нагрузка ТП на шинах 0,4 кВ.

Для ТП –1:

Реактивная мощность, которую могут пропустить трансформаторы

$$Q_1 = \sqrt{(2 \cdot 0,7 \cdot 630)^2 - 678^2} = 564,2 \text{ кВар};$$

Необходимо компенсировать на НН

$$Q_{бкн1} = Q_6 + Q_7 - Q_1 = 31 + 421 - 564,2 = -112,2 \text{ кВар};$$

Установка КУ не требуется.

По факту трансформаторы ТП-1 пропускают РМ:

$$Q_{нн1} = Q_6 + Q_7 = 452 \text{ кВАр}$$

Таблица 10 – Компенсация реактивной мощности

| Наименование | Стр. | Расположение | Потребители | $\sum P$ | $\sum Q$ | Q1    | Qбкн1 | МАРКА КБ              | №к | Qнн1 |
|--------------|------|--------------|-------------|----------|----------|-------|-------|-----------------------|----|------|
| ТП1          | 630  | Цех 6 и 7    | 6,7         | 678      | 452      | 564,2 | 0     | -                     | -  | 452  |
| ТП2          | 630  | Цех 11       | 9,10,11     | 864      | 690      | 177,3 | 512,7 | УКМ58-04-536-67У3     | 1  | 154  |
| ТП3          | 250  | Цех 8        | 8           | 337      | 326      | 94,5  | 231,5 | УКМ58-04-268-67У3     | 1  | 58   |
| ТП4          | 630  | Цех 4        | 4,1         | 902      | 1057     | 0     | 1057  | УКМ58-0,4-536-67У3    | 2  | -15  |
| ТП5          | 250  | Цех 3        | 3           | 213      | 156      | 0     | 156   | УКМ58-0,4-167-33,3У3  | 1  | -11  |
| ТП6          | 250  | Цех 5        | 5,2         | 187      | 112      | 0     | 112   | УКМ58-04-112,5-37,5У3 | 1  | -0,5 |

Для трансформаторов ТП4, ТП5, ТП6 принятые коэффициенты загрузки немного выше 0.7, поэтому перегружать трансформаторы реактивной мощностью нецелесообразно, следовательно необходимо компенсировать всю требуемую РМ на стороне 0.4 кВ, при этом допускается незначительная перекомпенсация.

Проверим необходимость установки дополнительных КБ на НН:

Для трансформаторов  $S_{\text{ном Т}}=630$  кВА длина линий  $L=1,27$  км, тогда  $Kp1=15$ ;  $Kp2=10$ ;  $\gamma=0.55$ .

$Q_{\text{доп630}}=Q_{\text{нн1}_1}+Q_{\text{нн1}_2}+Q_{\text{нн1}_4}+\Delta Q_{\text{мп630}}_{\Sigma} + S_{\text{мп630}}_{\Sigma} = -1322$ Мвар не требуется

Для трансформаторов  $S_{\text{ном Т}}=250$ кВА длина линий  $L=0.715$ км, тогда  $Kp1=15$ ;  $Kp2=4$ ;  $\gamma=0.61$ .

$Q_{\text{доп250}}=Q_{\text{нн1}_3}+Q_{\text{нн1}_6}+Q_{\text{нн1}_5}+\Delta Q_{\text{мп250}}_{\Sigma} + S_{\text{мп250}}_{\Sigma} = -518$ Мвар не требуется

### 2.5.1 Компенсация реактивной мощности на шинах 10 кВ ГПП.

Определим  $Q_c$ :

Для определения напряжения системы воспользуемся формулой Илларионова.

$$U = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{L} + \frac{2500}{P_p}}} = \frac{1000}{\sqrt{\frac{500}{7} + \frac{2500}{3,51}}} = 35,722 \approx 35 \text{ кВ};$$

$$Q_c = \alpha \cdot P_{\Sigma} = 0,24 \cdot 3508 = 841,9 \text{ кВар};$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{нн1_1} + Q_{нн1_2} + Q_{нн1_3} + Q_{нн1_4} + Q_{нн1_5} + Q_{нн1_6} + 4 \cdot \Delta Q_{250} + 6 \cdot \Delta Q_{630} =$$

$$= 452 + 154 + 58 - 15 - 11 - 0,5 + 11,03 + 30,73 = 848,681 \text{ кВАр};$$

$$Q_{бкВн} = Q_{внрасч} + Q_{\Sigma} - Q_c = 244 + 848,681 - 841,92 = 250,761 \text{ кВАр};$$

Требуется установка конденсаторных батарей. Была установлена КБ УКЛ 56.6-10.5-450УЗ

$$Q_{с.номр} = Q_{бкВн} + Q_{\Sigma} - Q_{ок} = 244 + 848,7 - 450 = 642,7 \text{ кВАр};$$

### 2.6 Система внешнего электроснабжения.

Электроснабжение осуществляем от подстанции энергосистемы, при этом используются две ВЛЭП(воздушные линии электропередач) напряжением 35 кВ.

Рассчитаем  $S_{р.ГПП}$  по формуле:

$$S_{р.ГПП} = \sqrt{\left(P_{р.ГПП}^{ВН} + \Delta P_{тр.ГПП} + 6 \cdot \Delta P_{тр.630} + 4 \cdot \Delta P_{тр.250}\right)^2 + \left(\Delta Q_{тр.ГПП} + Q_{с.номр}\right)^2},$$

$$S_{р.ГПП} = \sqrt{(3508 + 72,12 + 41,76 + 211,18)^2 + (642,68 + 360,747)^2} = 3758 \text{ кВА}.$$

Мощность трансформаторов на ГПП определяется по формуле:

$$S_{н.тр.} = \frac{S_{р.ГПП}}{2 \cdot \beta_{\tau}},$$

где  $S_{р.ГПП}$  – полная расчётная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП;

$\beta_{\tau} = 0,7$  – коэффициент загрузки трансформаторов ГПП;

2 – число трансформаторов на ГПП.

Получаем:

$$S_{н.тр} = \frac{3758}{2 \cdot 0,7} = 2685 \text{ [кВА]}.$$

Полученное значение величины  $S_{н.тр}$  необходимо округлить в большую сторону до ближайшего стандартного значения и в соответствии с [5, табл. П.2.28] принимаем установку на ГПП двух трансформаторов типа ТМ – 4000 35/10.

Беря в расчёт тот факт, что в нормальном режиме коэффициент загрузки трансформаторов ГПП можно принять равным 0,7, в послеаварийном режиме любой трансформатор с учетом допустимой перегрузки (до 40 %) сможет полностью обеспечить необходимую мощность предприятия, так как:

$$S_{р.ГПП} < 1,4 \cdot S_{н.тр}.$$

$$3758 \text{ [кВА]} < 5600 \text{ [кВА]}$$

Питающие линии выполняем проводом АС. Выбор сечения провода необходимо произвести по экономической плотности тока, а также по мощности трансформаторов.

$$I_p = \frac{S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n} I_p = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 66 \text{ [А]}$$

В послеаварийном режиме или ремонтном:

$$I_{н.а.} = \frac{2 \cdot S_{н.тр}}{\sqrt{3} \cdot U_n}; I_{н.а.} = \frac{8000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 132 \text{ [А]}$$

При числе смен, равным 2, и продолжительности смены, равной 8 часам, принимаем годовое число часов использования максимума нагрузки  $T_m > 5000$  часов. [3, табл.2.1]

Тогда для  $T_m > 5000$  часов при использовании алюминиевых голых проводов, экономическую плотность тока можно принять равной  $j_{эк} = 1 \text{ [А/мм}^2\text{]}$ . [3, табл.3.12]

Экономически целесообразное сечение проводов равно:

$$F_{эк} = \frac{I_p}{j_{эк}};$$

$$F_{эк} = \frac{66}{1} = 66 \text{ [мм}^2\text{]}$$

В результате получаем сечение, которое необходимо округлить до ближайшего стандартного сечения и принять в качестве ВЛЭП провода марки

АС–50/11 Допустимый длительный ток для полученного сечения равен  $I_{\text{доп}}=210$  [А]. [6, табл.3.15]

Сечение провода необходимо проверить по допустимой токовой нагрузке по нагреву  $I_{\text{доп}}$ :

$$1,3 \cdot I_{\text{доп}} \geq I_{\text{п.а}},$$

где  $I_{\text{доп}}$  – допустимый ток, [А], для выбранного сечения.

$273 \text{ [А]} \geq 132 \text{ [А]}$  – условие выполняется.

Помимо этого, необходимо провести проверку полученного сечения провода, по следующим условиям:

а) коронирования проводов

Проверке по условиям короны подвергаются ВЛ 110 кВ и выше, которые прокладывают по трассам с отметками выше 1500 м над уровнем моря. Наши ВЛ не подпадают под данные критерии, соответственно по условиям коронирования не проверяются;

б) механической прочности:

$$F_{\text{расч}} \geq F_{\text{мин.мех}} = 25 \text{ [мм}^2\text{]},$$

$50 \text{ [мм}^2\text{]} \geq 25 \text{ [мм}^2\text{]}$  – условие выполняется;

в) по допустимой потере напряжения:

$$I_{\text{доп}} = I_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{доп}\%} \cdot k_z \geq 1 \text{ [1]}.$$

где  $I_{\Delta U 1\%}$  – длина линии при полной нагрузке на 1 % потери напряжения, км;

$\Delta U_{\text{доп}\%}$  – допустимая потеря напряжения, %,

$\Delta U_{\text{доп}\%} = 5 \text{ \%}$ ,  $\Delta U_{\text{доп.ав}\%} = 10 \text{ \%}$ ;

$k_z = \frac{I_{\text{доп}}}{I_p}$  – коэффициент обратный коэффициенту загрузки линии;

$I_{\text{доп}}$  – допустимая длина линии, км;

$l$  – фактическая длина линии, км.

По табл. П.2.7 [3] принимаем  $I_{\Delta U 1\%} = 1,65 \text{ [км]}$ .

Тогда:



$$I_{доп} = 1,65 \cdot 5 \cdot \frac{265}{66} = 33,2 \text{ [кА]}$$

Фактическая длина линии  $l=7 \text{ [км]}$

$33,2 \text{ [кА]} > l=7 \text{ [км]}$ , проверка сечения провода по допустимой потере напряжения выполняется.

В итоге получаем, что электроснабжение электротехнического завода осуществляется от подстанции энергосистемы с использованием двух ВЛЭП напряжением 35 кВ, выполненными проводом АС–50/11 на металлических двух цепных опорах.

ГПП расположена в зоне рассеяния ЦЭН. На ГПП установлены два трансформатора типа ТМ–4000 35/10.

Силовые трансформаторы типа ТМ - являются наиболее распространенным и проверенным временем типом трансформаторов.

Трансформатор ТМ-4000 силовой масляный трехфазный, с естественной циркуляцией масла, используется в качестве преобразователя электрической энергии в сетях энергосистем, а также для питания различных потребителей в сетях переменного тока частотой 50Гц.

Трансформаторы ТМ-4000 имеют 5 ступеней регулирования напряжения с диапазоном регулирования  $\pm 2 \times 2,5 \%$  от номинального. Вид регулирования – переключение без возбуждения ПБВ(переключатель без возбуждения). Переключение трехфазного трансформатора на другой диапазон необходимо осуществлять в ручном режиме в отключенном состоянии.

Таблица 11 – Основные технические характеристики

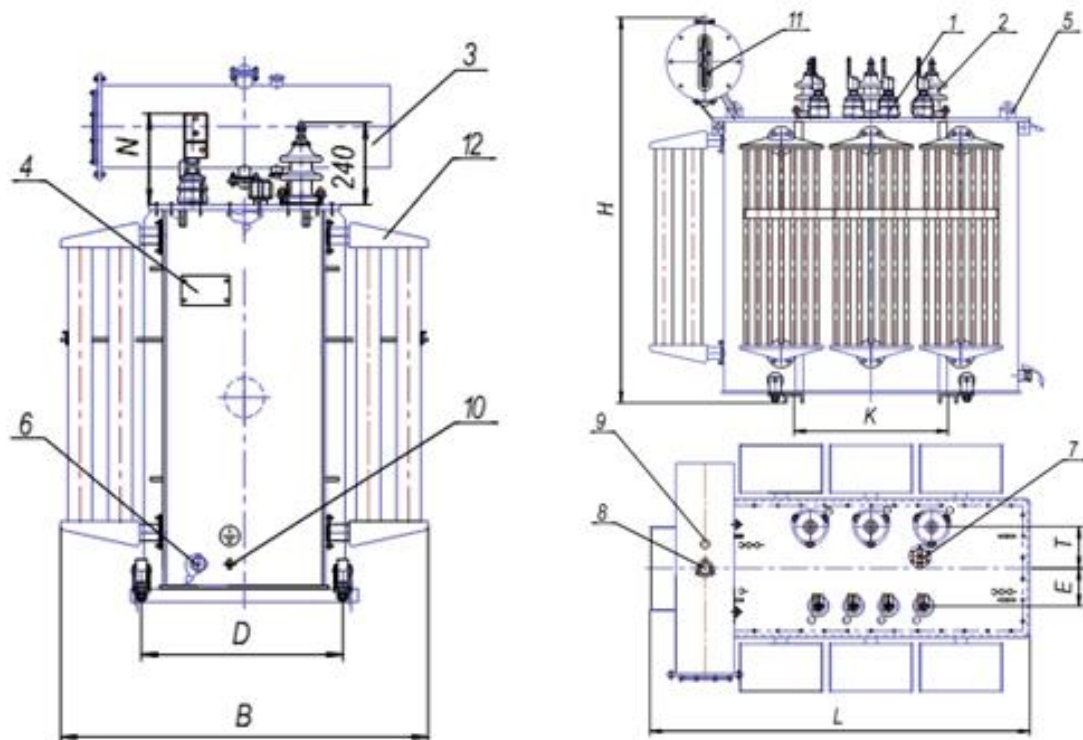
|                                   |            |      |
|-----------------------------------|------------|------|
| Трансформатор                     | ТМ-4000/35 |      |
| Номинальная мощность, кВА         | 4000       |      |
| Номинальное высшее напряжение, кВ | 35         |      |
| Номинальное низшее напряжение, кВ | 6,3        | 10,5 |
| Схема и группа соединения обмоток | Y/D-11     |      |
| Потери холостого хода, кВт        | 5,3        |      |
| Потери короткого замыкания, кВт   | 33,5       |      |
| Ток холостого хода, %             | 0,9        |      |
| Напряжение короткого замыкания, % | 7,5        |      |

Трансформаторы имеют плоско шихтованную магнитную систему из высококачественной электротехнической стали. Вводы ВН и НН расположены на крышке. Обмотки данного трансформатора цилиндрические многослойные, выполнены из медного провода. Активная часть трансформатора жестко закреплена в верхней части бака. Над активной частью установлен переключатель, к неподвижным контактам которого присоединены регулировочные отводы обмоток ВН. Баки трансформаторов ТМ прямоугольной формы. Для увеличения поверхности охлаждения применяются радиаторы. Для предотвращения возникновения избыточного давления при аварийных режимах в баке трансформатора серии ТМ 4000 устанавливается предохранительный клапан. Трансформатор снабжен масло расширителем, обеспечивающим наличие масла при всех режимах работы трансформатора и колебаниях температуры окружающей среды. Для защиты масла от воздействия наружной атмосферы трансформатор снабжается масляным затвором и воздухо осушителем, заполненным сорбентом, который поглощает из поступающего в расширитель воздуха влагу. Для контроля уровня масла в трансформаторе устанавливается поплавковый масло указатель, который крепится на торце масло расширителя. Конструкция пробки позволяет брать пробу масла при частичном ее отвинчивании. Бак трансформатора представляет собой сварную металлическую конструкцию овальной или прямоугольной формы. В верхней части бака приварены крюки для подъема трансформатора. В нижней части бака имеется пластина заземления и пробка для слива масла. Конструкция пробки позволяет брать пробу масла при частичном ее отвинчивании. Ко дну бака приварены опоры с отверстиями для крепления трансформатора к фундаменту. Баки выдерживают избыточное давление 35 кПа.

На крышке расположены: привод переключателя с указателем положений, вводы ВН и НН, расширитель. Для обеспечения герметичности разъемных частей трансформатора применяются уплотнения из маслостойкой резины. Вводы ВН и НН (съёмные), допускающие замену изоляторов без подъема активной части.

Трансформаторы устанавливаются в невзрывоопасной окружающей среде, не содержащей пыли в концентрациях, снижающих параметры изделий в недопустимых пределах. Они не предназначены для работы в условиях тряски, вибрации, ударов, в химически активной среде – это является их главным недостатком. Высота установки ТМ над уровнем моря не более 1000 м. Трансформатор транспортируется на железнодорожной платформе в частично демонтированном виде в собственном баке, заполненном маслом.

Конструктивная схема трансформатора приведена на рис. 2.6.1.



Ввод НН; 2-ввод ВН; 3-маслорасшеритель; 4-табличка паспортная; 5-петли подъемные; 6-пробка для слива масла; 7-привод переключателя; 8-воздухоосушитель; 9-пробка для заливки масла; 10- клемма заземления; 11-маслоуказатель; 12-радиатор;

Рисунок 4– Конструктивная схема трансформатора ТМ - 4000

В таблице 2.6.2 указаны основные габаритные размеры трансформатора ТМ – 4000.

Таблица 12– Габаритно-весовые характеристики трансформатора ТМ - 4000

| Номинальная мощность | Масса масла | Масса полная | Длина(L) | Ширина(B) | Высота полная(H) |
|----------------------|-------------|--------------|----------|-----------|------------------|
| кВА                  | кг          | кг           | мм       | мм        | мм               |
| 4000/10;35           | 2640        | 9400         | 3150     | 2220      | 3300             |

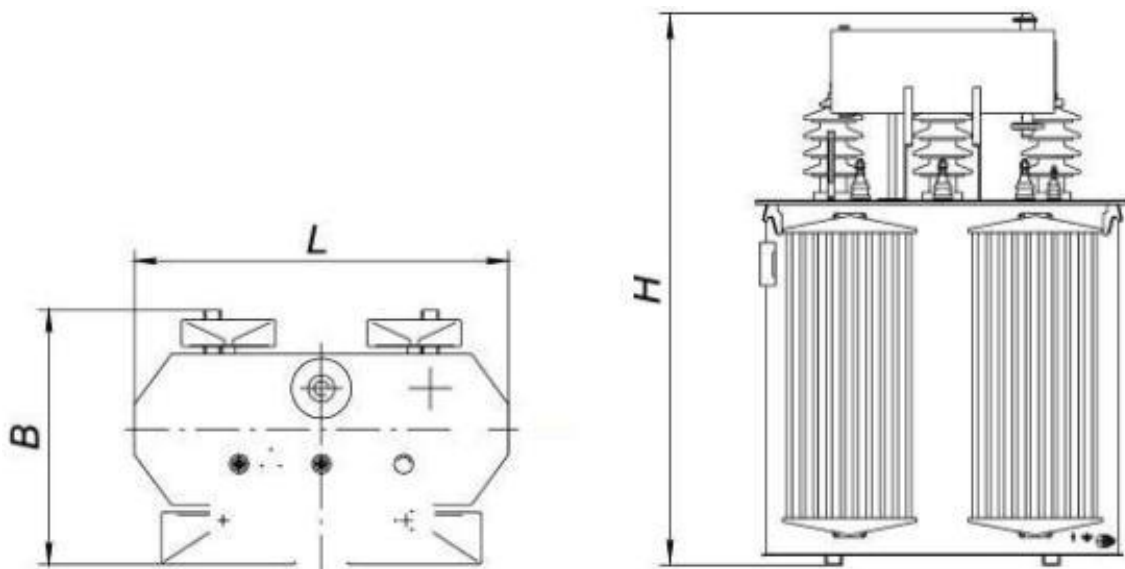


Рисунок 5 – Габаритный рисунок трансформатора ТМ - 4000

### **Основные преимущества трансформатора ТМ - 4000:**

1. Тяжелые режимы нагрузки (включение в холодном состоянии на полную мощность)
2. Высокая устойчивость к коротким замыканиям
3. Защита от суровых климатических условий (обледенение, высокие температуры, контакт с химикатами, высокая влажность)
4. Минимальные эксплуатационные расходы

### **Нормальные условия работы характеризуют следующие данные:**

1. Режим работы - продолжительный;
2. Установка - стационарная на открытом воздухе или вентилируемых помещениях;
3. Высота установки над уровнем моря - не более 1000 метров;
4. Климатическое исполнение - У (умеренный климат), температура окружающего воздуха от -60 градусов Цельсия до +40 градусов Цельсия, при этом среднесуточная температура воздуха не более 30 градусов Цельсия;
5. Относительная влажность воздуха - 80% при температуре 20 градусов Цельсия;
6. Номинальная частота - 50 Гц. Трансформаторы допускают систематические и аварийные перегрузки. Значение и продолжительность нагрузок и аварийных перегрузок по ГОСТ 14209-85

## 2.7 Схемавнутри заводского электроснабжения.

Распределительная сеть выше 1000 В по территории электротехнического завода выполняется кабельными линиями. Прокладка кабелей осуществляется в кабельных траншеях.

Выбор сечений кабелей осуществляется по экономической плотности тока. Экономически целесообразное сечение  $F$ , мм<sup>2</sup>, определяется из выражения:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}},$$

где  $I_p$  – расчётный ток на один кабель, А;

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

Для высоковольтных кабелей из сшитого полиэтилена при  $T_m = 5000$  часов принимаем  $j_{\text{эк}} = 1,7$  А/мм<sup>2</sup> [3, табл. П.2.14].

Далее необходимо округлить полученное сечение до ближайшего стандартного значения. Для питающих цеховых трансформаторов, преобразователей, высоковольтных электродвигателей и трансформаторов электропечей в качестве расчетного тока линии принимается их номинальный ток, независимо от фактической загрузки. Расчетный ток при этом должен соответствовать условиям нормальной работы. Также при его определении не следует учитывать увеличение тока при аварийных ситуациях.

Выбранное сечение проверяется по допустимой нагрузке из условий нагрева в нормальном режиме и с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме. Для загруженных и длинных линий проведем проверку выбранного сечения по допустимой потере напряжения.

Выбор кабеля для линии Л-1 (ГПП – ТП-1):

Рассматриваются две параллельные линии, идущие с разных секций ГПП до ТП-1.

Расчетный ток на один кабель:

$$I_p = \frac{S_{\text{н.тр.}} + \Delta S_{\text{тр.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}, \text{ где } \Delta S_{\text{тр.}} = \sqrt{\Delta P_{\text{тр. 630}}^2 + \Delta Q_{\text{тр. 630}}^2} = \sqrt{5,1^2 + 27,7^2} = 28,2 \text{ кВА}$$
$$I_p = \frac{630 + 28,2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 38 \text{ [A]}$$

$$I_{п/ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 38 = 76 \text{ [A]}.$$

Экономически целесообразное сечение:

$$F_{ЭК} = \frac{I_p}{j_{ЭК}}; F_{ЭК} = \frac{38}{1,7} = 22,4 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение  $F=50 \text{ [мм}^2\text{]}$ :  $I_{доп}=180 \text{ [A]}$  [1, П.6.4].

Проверка выбранного сечения по допустимому нагреву по следующему условию:

$$I_{доп} = 180 \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} = \frac{38}{1 \cdot 1 \cdot 1} = 38 \text{ A}.$$

где  $k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$  - коэффициенты, учитывающие влияние температуры окружающей среды, влияние рядом проложенных кабельных линий, фактическое удельное тепловое сопротивление земли.

Проверка выбранного сечения на допустимый нагрев послеаварийным током:

$$k_{пер} I_{доп} \geq \frac{I_{н/ав}}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}; 1,3 \cdot 180 = 234 \geq \frac{76}{1 \cdot 1 \cdot 1}$$

Выбранное сечение проходит проверку.

Проверка кабеля по потере напряжения:

$$\Delta U = \frac{(P_{расч} + \Delta P_{тр}) \cdot r_{уд} + \Delta Q_{тр} \cdot x_{уд}}{10 \cdot U_{ном}^2} \cdot \frac{l}{2} = \frac{(678 + 2 \cdot 5,1) \cdot 0,641 + (452 + 2 \cdot 27,7) \cdot 0,21}{10 \cdot 10^2} \cdot \frac{0,039}{2} = 0,011 \%$$

Таким образом, выбранное сечение проходит проверку по нормальному и послеаварийному режимам. В качестве линии Л-1 принимаем кабель марки АПВП- 1(3х50).

Выбор кабеля для линии Л-4 (ГПП – ТП2кВ):

Расчетный ток на один кабель:

$$I_p = \frac{S_{н.тр.} + \Delta S_{тр.}}{\sqrt{3} \cdot U_H} + \frac{I_{BH}}{2}, \text{ где } I_{BH} = \frac{\sqrt{P_{BH}^2 + Q_{BH}^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{\sqrt{650^2 + 487,5^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 46,9 \text{ A}$$

$$I_p = \frac{630 + 28,2}{\sqrt{3} \cdot 10} + \frac{46,9}{2} = 61,5 \text{ [A]}.$$

$$\text{Определяем } I_{п/ав} = 2 \cdot I_p = 2 \cdot 61,5 = 123 \text{ [A]}.$$

Экономически целесообразное сечение:

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{I_p}{j_{\text{ЭК}}}$$

$$F_{\text{ЭК}} = \frac{61,5}{1,7} = 36,2 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение  $F=50 \text{ [мм}^2\text{]}$ :  $I_{\text{доп}}=180 \text{ [А]}$ .

Проверка выбранного сечения по допустимому нагреву по следующему условию:

$$I_{\text{доп}} = 180 \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} = \frac{61,5}{1 \cdot 1 \cdot 1} = 61,5 \text{ А.}$$

где  $k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$  - коэффициенты, учитывающие влияние температуры окружающей среды, влияние рядом проложенных кабельных линий, фактическое удельное тепловое сопротивление земли.

Проверка выбранного сечения на допустимый нагрев послеаварийным током:

$$k_{\text{пер}} I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{n/ав}}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3}; \quad 1,3 \cdot 180 = 234 \geq \frac{123}{1 \cdot 1 \cdot 1}$$

Выбранное сечение проходит проверку.

В качестве линии ЛЗ принимаем кабель марки АПвП – 1(3х50).

Для остальных кабельных линий расчет производится аналогично.

Результаты сводим в таблицу 13.

Таблица 13 – Выбор кабельных линий распределительной сети 10 кВ

| №,линии | Назначение<br>линии | N.л | Расчетная нагрузка<br>на 1 кабель. |      | Fэк  | Принятое<br>сечение | Длина<br>линии | r0/x0      | Способ<br>прокладки | Марка и<br>сечение кабеля | Идоп.<br>норм | Идоп<br>авар |
|---------|---------------------|-----|------------------------------------|------|------|---------------------|----------------|------------|---------------------|---------------------------|---------------|--------------|
|         |                     |     | в норм.                            | п/а  |      |                     |                |            |                     |                           |               |              |
| Л-1     | ГПП-ТП1             | 2   | 38                                 | 76   | 22,4 | 50                  | 0,013          | 0,625/0,21 | в траншее           | АпВп1(3х50)               | 180           | 234          |
| Л-2     | ГПП-ТП3             | 2   | 15,1                               | 30,2 | 8,8  | 50                  | 0,36           | 0,625/0,21 | в траншее           | АпВп1(3х50)               | 180           | 234          |
| Л-3     | ГПП-ТП2             | 2   | 61,5                               | 123  | 36,2 | 50                  | 1,3            | 0,625/0,21 | в траншее           | АпВп1(3х50)               | 180           | 234          |
| Л-4     | ГПП-ТП6             | 1   | 15,1                               | 30,2 | 8,8  | 50                  | 0,5            | 0,625/0,21 | в траншее           | АпВп1(3х50)               | 180           | 234          |
| Л-5     | ГПП-ТП4             | 2   | 38                                 | 76   | 22,4 | 50                  | 0,82           | 0,625/0,21 | в траншее           | АпВп1(3х50)               | 180           | 234          |
| Л-6     | ГПП-ТП5             | 1   | 15,1                               | 30,2 | 8,8  | 50                  | 0,89           | 0,625/0,21 | в траншее           | АпВп1(3х50)               | 180           | 234          |

Таблица 14 – Выбор сечений кабельных линий распределительной сети 0,4 кВ

| №,линии | Назначение<br>линии | N <sub>линий</sub> | I <sub>норм</sub> | I п/а  | марка и сечение<br>одной линии |          | I доп | Kпрокл | Iдоп·Kпр | 1,3·Iдоп | Длина |
|---------|---------------------|--------------------|-------------------|--------|--------------------------------|----------|-------|--------|----------|----------|-------|
|         |                     |                    |                   |        |                                |          |       |        |          |          |       |
| 1       | ТП1-РП1             | 2                  | 46,6              | 93,2   | АВВГ                           | 1(4х16)  | 90    | 1      | 90       | 117      | 0,09  |
| 2       | ТП2-РП9             | 2                  | 238,1             | 476,2  | АВВГ                           | 1(4х185) | 385   | 1      | 385      | 500,5    | 0,07  |
| 3       | ТП2-РП10            | 2                  | 571,4             | 1143,8 | АВВГ                           | 3(4х120) | 885   | 1      | 885      | 1151     | 0,12  |
| 4       | ТП6-РП2             | 1                  | 109,2             | -      | АВВГ                           | 1(4х25)  | 115   | 1      | 115      | -        | 0,24  |
| 5       | ТП4- РП4            | 1                  | 448,8             | -      | АВВГ                           | 2(4х95)  | 510   | 1      | 510      | -        | 0,11  |



## 2.8 Расчёт токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.

Расчёт токов короткого замыкания производится в связи с тем, что все электрические аппараты, а также токоведущие части электрических установок необходимо выбрать таким образом, чтобы исключить их разрушение при прохождении по ним наибольших возможных токов КЗ.

Для того, чтобы рассчитать токи КЗ необходимо составить расчётную схему, которая представляет из себя упрощенную однолинейная схема электроустановки, учитывающую все источники питания (п/ст энергосистемы, генераторы ТЭЦ), трансформаторы, воздушные и кабельные линии.

Проведём расчёт токов КЗ для участка распределительной сети 10 кВ ГПП –ТП-1. Составим расчётную схему и схему замещения, для данного участка (Рис. 6).

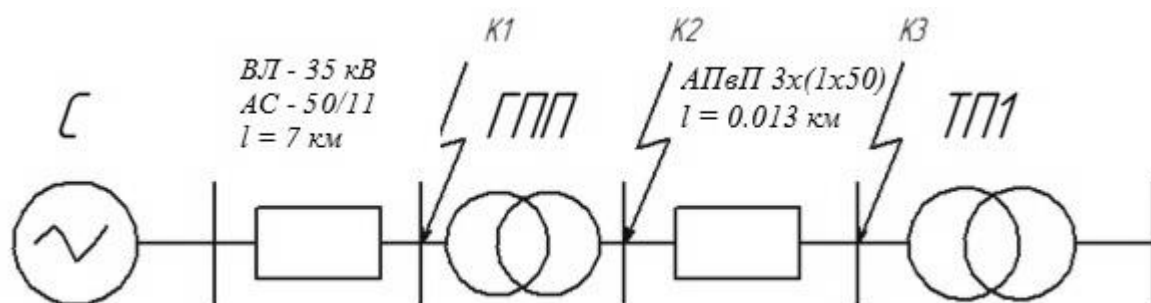


Рисунок 6 – Однолинейная расчетная схема сети

На основе расчётной схемы, составляется схема замещения, в которой необходимо указать сопротивления всех элементов и наметить точки для расчётов токов КЗ.

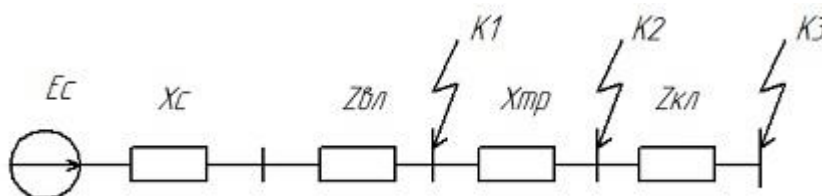


Рисунок 7 – Упрощенная однолинейная схема замещения.

$$R_{кл} = r_0 \cdot L \quad X_{кл} = x_0 \cdot L$$

Рассчитывать токи КЗ необходимо в относительных единицах. Это осуществляется за счёт приведения всех расчётных данных к базисному напряжению и базисной мощности. Величина базисного напряжения  $U_б$  превышает номинальное на 5%. За базисную мощность  $S_б$  принимают любое число кратное 10.

Используя стандартный ряд базисных напряжений, принимаем  $U_{б1} = 37$  [кВ],  $U_{б2} = 10,5$  [кВ]. [1, стр.147].

За базисную мощность, принимаем  $S_б = 100$  [МВА]. [3, стр.147]

Принимаем, что мощность источника электроэнергии (энергосистемы)  $E_c = \frac{37}{U_{б1}} = 1$  и соответственно индуктивное сопротивление  $x_c = 0,05$

Принимаем базисные токи:

$$I_{*б1} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б1}}$$

$$I_{*б1} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 37} = 1,56 \text{ [кА];}$$

$$I_{*б2} = \frac{S_б}{\sqrt{3} \cdot U_{б2}}$$

$$I_{*б2} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,5 \text{ [кА];}$$

Для генераторов, трансформаторов, высоковольтных линий обычно учитываются только индуктивные сопротивления.

Базисные сопротивления в относительных единицах определяются по следующим формулам:

для воздушной линии:

$$X_{*вл} = \frac{1}{n} \cdot X_0 \cdot l \cdot \frac{S_б}{U_{б1}^2},$$

где  $x_0 = 0,408$  Ом/км независимо от сечения ВЛЭП.

$$X_{*ВЛ} = \frac{1}{2} \cdot 0,408 \cdot 7 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,104 \text{ [о.е.]};$$

$$R_{*ВЛ} = \frac{1}{n} \cdot r_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{61}^2},$$

где  $r_0=0,46$  Ом/км независимо от сечения ВЛЭП.

$$R_{*ВЛ} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 7 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,118 \text{ [о.е.]}$$

для трансформатора:

$$X_{*тр} = \frac{1}{2} \frac{U_{к\%}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{н. тр}},$$

где  $U_k$  – напряжение короткого замыкания трансформатора, %;

$S_{н.тр}$  – номинальная мощность трансформатора, МВА.

$$X_{*тр} = \frac{1}{2} \cdot \frac{7.5}{100} \cdot \frac{100}{4} = 0,938 \text{ [о.е.]};$$

для кабельной линии:

$$X_{*кл1} = \frac{1}{n} \cdot X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2}, \text{ где } x_0 - \text{индуктивное сопротивление линии на}$$

один км длины, Ом/км,  $x_0=0,21$  Ом/км для сечения жилы – 50 мм<sup>2</sup>. [7, табл. 8.2.13]

$l$  – длина линии, км.

$$X_{*кл1} = \frac{1}{2} \cdot 0,21 \cdot 0,039 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,004 \text{ [о.е.]};$$

$$R_{*кл1} = \frac{1}{n} \cdot R_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} \text{ где } r_0 - \text{активное сопротивление линии на один км}$$

длины, Ом/км,  $r_0=0,641$  Ом/км для сечения жилы – 50 мм<sup>2</sup>. [7, табл. 8.2.15.]

$l$  – длина линии, км.

$$R_{*кл1} = \frac{1}{2} \cdot 0,641 \cdot 0,039 \cdot \frac{100}{10,5^2} = 0,011 \text{ [о.е.]};$$

Проведем расчет токов КЗ для точки К1:

Сопrotивление короткого замыкания:

$$z_{*\Sigma K1} = \sqrt{(X_c + X_{\text{ВЛ}})^2 + R_{*\text{ВЛ}}^2}$$

$$z_{*\Sigma K1} = \sqrt{(0.05 + 0.104)^2 + 0.118^2} = 0.194 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K1} = \frac{E_c}{z_{*\Sigma K1}} \cdot I_{\text{б1}};$$

$$I_{K1} = \frac{1}{0.194} \cdot 1.56 = 8.1 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$$i_{\text{уд1}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{K1};$$

где  $k_{\text{уд}}$  – ударный коэффициент,  $k_{\text{уд}} = 1,2$  – система, где рассматривается КЗ, воздушными линиями, напряжением 35 кВ [1.рис 7.1].

$$i_{\text{уд K1}} = \sqrt{2} \cdot 1,2 \cdot 8,1 = 13,7 \text{ [кА]};$$

Проведем расчет токов КЗ для точки К2:

Сопrotивление короткого замыкания:

$$z_{*\Sigma K2} = \sqrt{(X_c + X_{\text{ВЛ}} + X_{\text{ТП}})^2 + R_{*\text{ВЛ}}^2};$$

$$z_{*\Sigma K2} = \sqrt{(0.05 + 0.104 + 0.938)^2 + 0.118^2} = 1.098 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K2} = \frac{E_c}{z_{*\Sigma K2}} \cdot I_{\text{б2}};$$

$$I_{K2} = \frac{1}{1.098} \cdot 5.499 = 5 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$$i_{\text{уд2}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{K2}, \text{ где } k_{\text{уд}} \text{ – ударный коэффициент};$$

$$i_{уд\ K2} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 5 = 11,4 \text{ [кА]};$$

Проведем расчет токов КЗ для точки КЗ:

Сопротивление короткого замыкания:

$$z_{*\Sigma\ K3} = \sqrt{(X_c + X_{вл} + X_{тр} + X_{кл})^2 + (R_{*вл} + R_{*кл})^2}$$

$$z_{*\Sigma\ K3} = \sqrt{(0.05 + 0.104 + 0.938 + 0.004)^2 + (0.118 + 0.011)^2} = 1.103 \text{ [о.е.]};$$

Действующее значение установившегося тока КЗ:

$$I_{K3} = \frac{1}{1,103} \cdot 5,499 = 4.98 \text{ [кА]};$$

Ударный ток:

$$i_{уд\ K3} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 4,98 = 9,9 \text{ [кА]};$$

Таблица 15 – Расчет токов КЗ в сети выше 1000 В для участка Система – ГПП – ТП1

| Расчетные точки | Z     | I <sub>кз</sub> ,кА | I <sub>у</sub> ,кА |
|-----------------|-------|---------------------|--------------------|
| К-1             | 0,194 | 8,1                 | 13,7               |
| К-2             | 1.098 | 5,0                 | 11,4               |
| К-3             | 1.103 | 4,98                | 9,9                |

Используя полученные значения токов короткого замыкания, проверим принятые ранее сечения кабелей на термическую стойкость при КЗ в начале линии. Термически стойкое сечение:

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_K}}{C_T}, [1].$$

где  $B_K = I_K^2 \cdot (t_{отк} + T_a)$  – тепловой импульс тока КЗ,  $[A^2 \cdot c]$ ;

$T_a$  – постоянная затухания апериодической составляющей тока КЗ, принимаем равной 0,01 [с];

$t_{отк} = t_3 + t_B$  – время отключения КЗ, [с];

$t_3$  – время действия основной защиты, 0,2 [с]. [9]

$t_B$  – полное время отключения выключателя;  $t_B = 0,14 [с]$ ;

$C_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника, принимаем равным  $90 [A \cdot c^{\frac{1}{2}} / mm^2] \cdot [1]$

Проверяем линию ГПП– ТП-1:

$$I_{K3} = 5.0 [кА]$$

$$(t_{отк} + T_a) = 0,2 + 0,01 + 0,14 = 0,35 [с],$$

$$B_K = 5.0^2 \cdot 0,35 = 8,75 [кА^2 \cdot с]$$

$$F_{min} = \frac{\sqrt{8,75 \cdot 10^6}}{90} = 32,86 [мм^2]$$

По полученному значению минимального сечения видно, что выбранный кабель, для данного участка распределительной сети АПвП – 1х(3×50) проходит проверку на термическую стойкость при КЗ в начале линии.

## **2.9 Выбор высоковольтного оборудования**

Выбор всех видов высоковольтного оборудования необходимо производить в соответствии с вычисленными максимальными расчетными величинами для нормального режима и короткого замыкания. Для этого необходимо провести сравнение указанных расчетных величин с допускаемыми значениями высоковольтного оборудования. Затем необходимо составить таблицу сравнения указанных расчетных и допустимых величин. При этом для того чтобы обеспечить надежную безаварийную работу, расчетные величины не должны превышать допустимые.

Выберем высоковольтный выключатель с низкой стороны ГПП, а также секционный выключатель.

Зная начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ и ударный ток КЗ выберем высоковольтный выключатель.

### Расчетные данные

$$U_H = 10 \text{ кВ}$$

$$I_{\max} = 76 \text{ А}$$

$$I_{\text{п.о.}} = 5 \text{ кА}$$

$$I_y = 11,335 \text{ кА}$$

$$B_k = 8,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

### Справочные данные

$$= U_H = 10 \text{ кВ}$$

$$< I_{\text{ном}} = 630 \text{ А}$$

$$< I_{\text{откл.ном}} = 20 \text{ кА}$$

$$< I_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$$

$$< I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 20^2 \cdot 4 = 1600 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

Принимаем к установке выключатель марки ВПМП-10-630-31,5У3.

Выбор трансформаторов тока.

Выбираем ТПЛ 10- У3[5]

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, I_{\text{ном}}^1 = 100 \text{ А}, I_{\text{ном}}^2 = 5 \text{ А}$$

Проверяем трансформатор тока по следующим условиям:

1) Номинальное напряжение:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} \quad (10 \text{ кВ} \leq 10 \text{ кВ})$$

2) Номинальный ток:

$$I_{\text{ном}} \leq I_{\text{ном}} \quad (38 \text{ А} \leq 100 \text{ А})$$

$$I_{\max} \leq I_{\text{ном}} \quad (76 \text{ А} \leq 100 \text{ А})$$

4) Электродинамическая стойкость:

$$i_y \leq i_{\text{дин}} \quad (11,4 \text{ кА} \leq 175 \text{ кА}),$$

5) Термическая стойкость:

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} \quad (8,75 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} \leq 6075 \text{ кА}^2 \cdot \text{с})$$

$$I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 45^2 \cdot 3 = 6075 \text{ кА}^2 \cdot \text{с} [1].$$

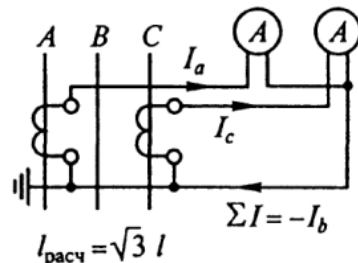


Таблица 16 – Установленные на ГПП счетчики

| Прибор                     | Тип        | Нагрузка, ВА, фазы |   |     |
|----------------------------|------------|--------------------|---|-----|
|                            |            | А                  | В | С   |
| Амперметр показывающий     | Э – 365    | 0,5                | - | -   |
| Ваттметр                   | Д – 335    | 0,5                | - | 0,5 |
| Счетчик активной энергии   | САЗ – И674 | 2,5                | - | 2,5 |
| Счетчик реактивной энергии | СР4 – И676 | 2,5                | - | 2,5 |
| Итого                      |            | 6                  | - | 5,5 |

Общее сопротивление приборов определяется по выражению:

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб}}}{I_2^2} = \frac{6}{5^2} = 0,24 \text{ Ом}$$

Сопротивление контактов  $r_k = 0,1$  Ом при общем числе приборов более трех;

$$z_{2\text{ном}} = 0,8 \text{ Ом.}$$

Допустимое сопротивление проводов:

$$r_{\text{пр}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_k = 0,8 - 0,24 - 0,1 = 0,46 \text{ Ом};$$

Длина проводов  $l_{\text{расч}} = \sqrt{3} \cdot 5 = 8,66$  - расчетная длина соединительных проводов при включении трансформаторов тока и приборов в неполную звезду,  $l = 5 \text{ м}$  - длина соединительных проводов от трансформатора тока до приборов (в один конец), [2, стр. 375].

Определяем сечение проводов:

$$q = \frac{\rho \cdot l}{r_{\text{пр}}} = \frac{0,0283 \cdot 8,66}{0,46} = 0,533 \text{ мм}^2 \text{ мм}^2;$$

$\rho = 0,0283 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$  - удельное сопротивление материала проводника - алюминий.

По условию прочности принимаем контрольный кабель АКРВГ с сечением жил -  $4 \text{ мм}^2$ .

Трансформатор напряжения (TV)

Выбираем ЗНОЛ.09[5].

$$U_{\text{ном}} = 10 \text{ кВ}, U_{\text{ном}}^1 = 10000 / \sqrt{3} \text{ В}, U_{\text{ном}}^{2\text{осн.стор.}} = 100 / \sqrt{3} \text{ В}, U_{\text{ном}}^{2\text{доп.стор.}} = 100 \text{ В}$$

Проверяем трансформатор напряжения по номинальному напряжению:

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}} \quad (10 \text{ кВ} = 10 \text{ кВ})$$



Таблица 17– Характеристики приборов

| Прибор                                                            |                              | Тип   | S одной обмотки ВА | Число обмоток | cosφ | sinφ  | Число приборов | Общая потребляемая мощность |        |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------|--------------------|---------------|------|-------|----------------|-----------------------------|--------|
|                                                                   |                              |       |                    |               |      |       |                | P, Вт                       | Q, ВАр |
| Вольтметр (сборные шины)                                          |                              | Э-335 | 2                  | 1             | 1    | 0     | 1              | 2                           | -      |
| Варметр<br>Счетчик активной энергии<br>Счетчик реактивной энергии | Ввод 10 кВ от трансформатора | Д-335 | 1,5                | 2             | 1    | 0     | 1              | 3                           | -      |
|                                                                   |                              | И-674 | 3 Вт               | 2             | 0,38 | 0,925 | 1              | 6                           | 14,5   |
|                                                                   |                              | И-673 | 3 Вт               | 2             | 0,38 | 0,935 | 1              | 6                           | 14,5   |
| Счетчик активной энергии<br>Счетчик реактивной энергии            | Кабельные линии н10кВ        | И-674 | 3 Вт               | 2             | 0,38 | 0,925 | 1              | 18                          | 43,5   |
|                                                                   |                              | И-673 | 3 Вт               | 2             | 0,38 | 0,935 | 1              | 18                          | 43,5   |
| Итого                                                             |                              |       |                    |               |      |       |                | 53                          | 116    |

$$P = S \cdot n_{обм} \cdot n_{приб} = 3 \cdot 2 \cdot 3 = 18 Вт$$

$$Q = P \cdot tg \varphi = 18 \cdot 2,43 = 43,5 ВАр$$

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения:

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{53^2 + 116^2} = 127,5 ВА$$

Три трансформатора напряжения, соединенных в звезду, имеют мощность  $75 \cdot 3 = 225 ВА$ , что больше  $S_{2\Sigma}$ . Таким образом, трансформаторы напряжения будут работать нормально в выбранном классе точности 0,5.

## 2.10 Электроснабжение кузнечного цеха

Опишем последовательность электроснабжения цеха:

1. Распределить приёмники цеха по пунктам питания (силовым распределительным шкафам), выбирать схему и способ прокладки питающей сети цеха (от ТП до пунктов питания). Выбранная схема (радиальная, магистральная, смешанная) питающей сети должна обеспечивать требуемую надёжность питания приёмников и требуемую по технологическим условиям гибкость и универсальность сети в отношении присоединения новых приёмников и перемещения приёмников по площади цеха. Выбор способа прокладки питающей сети производится с учётом характера окружающей

среды и возможных условий места прокладки. Исполнение силовых распределительных пунктов и шинопроводов должно также соответствовать характеру окружающей среды.

2. Определить расчётные электрические нагрузки по пунктам питания цеха.

3. Выбрать сечения питающей сети по длительности допустимой токовой нагрузки из условия нагрева и проверить их по потере напряжения.

4. Выбрать силовую распределительную сеть и аппараты защиты и управления цеха.

5. Построить карту селективности действия аппаратов защиты для конкретного участка цеховой сети (от водного автомата на подстанции до самого мощного электроприёмника).

6. Рассчитать питающую и распределительную сети по условиям допустимой потери напряжения и построить эпюры отклонений напряжения для цепочки линий от шин ГПП до зажимов одного наиболее мощного электроприёмника для режимов максимальной, минимальной и послеаварийной нагрузок.

7. Рассчитать токи КЗ для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха. Полученные данные нанести на карту селективности действия аппаратов защиты.

### **2.10.1 Распределение приёмников по пунктам питания**

Распределение электроприёмников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к соответствующему распределительному пункту ПР. Так как ПР бывают различных типов и имеют определённое число присоединений (до 12), то для каждого электроприёмника необходимо выбрать автоматический выключатель. Кроме того, для каждого ПР необходимо выбрать защитный аппарат.

Намечаем радиальную схему питающей сети цеха. Способ прокладки питающей сети цеха (от ТП-1 до пунктов питания) – в каналах (рис. 8).

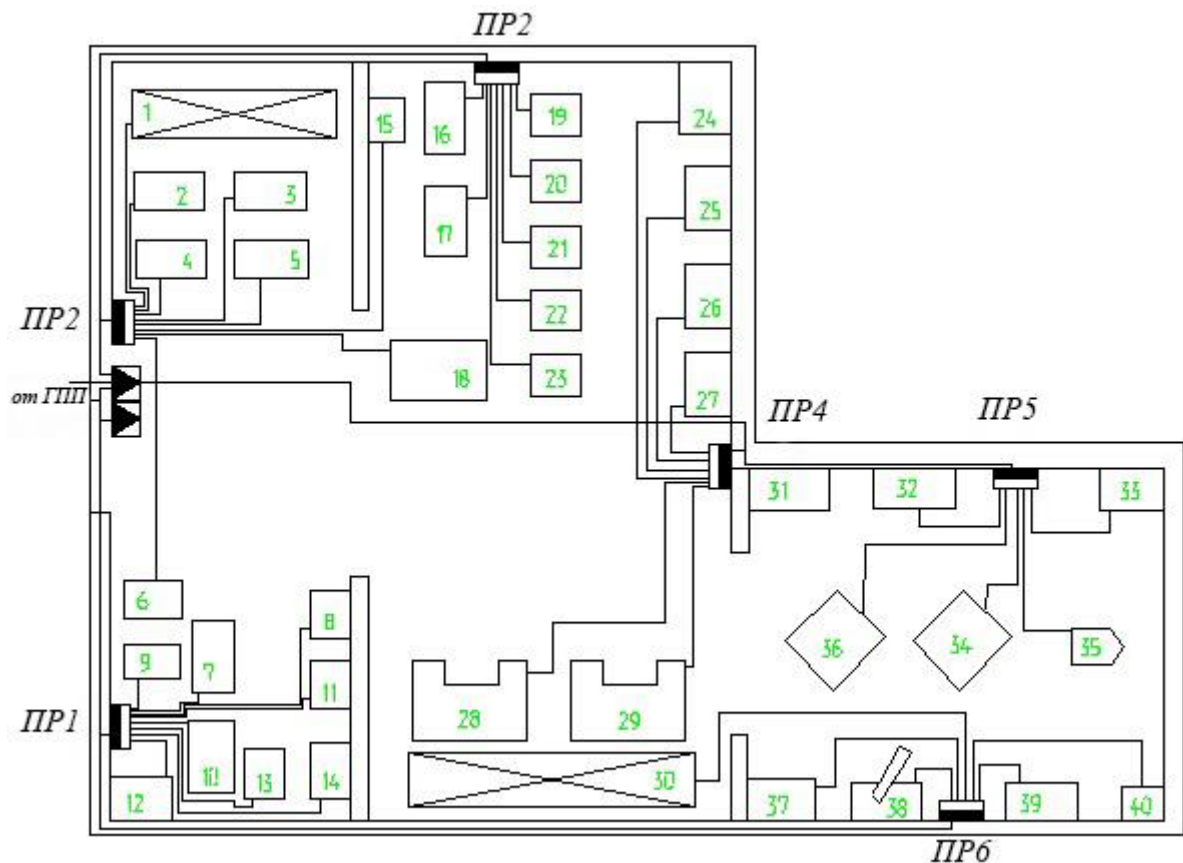


Рисунок 8 – Схема питающей и распределительной сети цеха

### 2.10.2 Выбор и проверка электрических аппаратов и токоведущих частей в сети до 1000 В

Выбор аппаратов защиты цеховой сети

Условия выбора автоматических выключателей:

$$1. \quad I_{н.расц} \geq I_{дл};$$

$$2. \quad I_{уст.эм} \geq 1,5 \cdot I_{пуск};$$

3.  $I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{тик} = 1,25 \cdot (I_{пуск.наиб.} + \sum I_{ном})$  – для группы ЭД в количестве до 5 шт. (вкл).;

$I_{кз} \geq 1,25 \cdot I_{тик} = 1,25 \cdot [I_{пуск.наиб.} + (I_p - K_u \cdot I_{ном.наиб.})]$  – для группы ЭД больше 5 шт.,

где  $I_{н.расц}$  – номинальный ток расцепителя автоматического выключателя, А;

$I_{кз}$  – номинальный ток срабатывания установки в зоне КЗ.

**Пример выбора автоматического выключателя для пресса  
ЭП№18 (ПР2):**

**Номинальный ток определяем по формуле**

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta},$$

где  $P_{ном}$  - номинальная мощность двигателя, кВт;

$U_{ном}$  - номинальное напряжение двигателя, кВ;

$\cos \varphi$  - коэффициент мощности;

$\eta$  - КПД

Получаем

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{32}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65 \cdot 0,9} = 83,1 \text{ A};$$

$$I_{пуск} = 5 \cdot I_{ном} = 415,5 \text{ A};$$

$$I_{уст.эм} = I_{кз} \geq 1,5 I_{пуск};$$

Намечаем к установке автомат серии ВА57-35

$$I_{н.расц} = 100 \text{ A} \geq I_{дел} = 83,1 \text{ A};$$

$$I_{уст.эм} = 8 \cdot 100 = 800 \text{ A} \geq 1,5 \cdot 415,5 = 623 \text{ A};$$

Окончательно выбираем автомат ВА57-35 с параметрами:

$$I_{н.расц} = 100 \text{ A}; \quad I_{уст.эм} = 800 \text{ A};$$

Пример выбора распределительного пункта для группы ЭП №7-14  
разных станков и сварочного трансформатора:

Согласно [5] принимаем к установке распределительный пункт  
ПР8503-002-21УЗ производства компании «Энергосервис» с 8-ю  
допустимыми присоединениями.

Данные всех распределительных пунктов сведены в таблицу 18.

Таблица 18 – Распределительные шкафы цеха

| № шкафа | Тип шкафа       | Число отходящих линий |
|---------|-----------------|-----------------------|
| ПР-1    | ПР8503-002-21УЗ | 8                     |
| ПР-2    | ПР8503-002-21УЗ | 8                     |
| ПР-3    | ПР8503-002-21УЗ | 8                     |
| ПР-4    | ПР8503-002-21УЗ | 8                     |
| ПР-5    | ПР8503-001-54У1 | 6                     |
| ПР-6    | ПР8503-001-54У1 | 6                     |

Пример выбора автоматического выключателя для защиты распределительного пункта ПР2:

Наметим установку автоматического выключателя ВА57-35.

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{н.м}} + (I_p - K_u \cdot I_{\text{ном.м}}) = 415,5 + (142,1 - 0,25 \cdot 83,1) = 536,9 ;$$

$$I_{\text{н.расц.}} = 160 \text{ A} \geq I_p = 142,1 \text{ A};$$

$$I_{\text{уст.эм}} = 800 \geq 1,25 \cdot I_{\text{кр}} = 660,3;$$

Окончательно выбираем автомат ВА57-35 с параметрами:

$$I_{\text{н.расц}} = 160 \text{ A}; \quad I_{\text{уст.эм}} = 800 \text{ A};$$

Выбор вводного автомата на подстанции ТП-1:

$$I_{\text{ол}} = I_{\text{ном.тр}} = \frac{S_{\text{ном.тр}} \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{630 \cdot 1,4}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1340,1 \text{ A};$$

$$I_{\text{пик}}^{\text{н/см}} = I_{\text{н.м}} + I_{\text{ном.тр}} - K_u \cdot I_{\text{расчЭП}} = 422 + 1340,1 - 0,3 \cdot 84,4 = 1736,8 \text{ A};$$

Принимаем ВА-74-43 с уставками 1600/3200А.

### 2.10.3 Выбор сечений линий сети цеха

Выбор сечений проводников питающей сети цеха будем производить из условий допустимой нагрузки и допустимой потери напряжения.

Выбор сечения проводника по условию допустимого нагрева при длительном протекании расчетного тока нагрузки  $I_m$  определяется из условия

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{k_{\text{прокл}}}$$

Кроме того, сечение проводника должно быть согласовано с аппаратом защиты этого проводника по условию

$$I_{доп} \geq \frac{k_z \cdot I_z}{k_{прокл}},$$

где  $k_{прокл}$  - поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей;

$k_z$  - коэффициент защиты или кратность защиты;

$I_z$  - номинальный ток или ток установки срабатывания защитного аппарата, А.

Проверка выбранного сечения проводника по допустимой потере напряжения выполняется из условия

$$\Delta U_{p\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{380} (x_0 \cdot \sin \varphi + r_0 \cdot \cos \varphi)$$

Пример расчетов для линии ТП-1 – ПР2:

$$I_{доп} \geq \frac{I_p}{k_{прокл}} = \frac{160}{1} = 160 \text{ А},$$

где  $I_p$  - расчетный ток ПР2 (см. табл. 5)

$k_{прокл} = 1$  при способе прокладки кабеля – в каналах.

$$I_{доп} \geq \frac{k_z \cdot I_z}{k_{прокл}} = \frac{1 \cdot 160}{1} = 160 \text{ А}, \text{ где } I_z = I_{ном.расч} = 160 \text{ А}, \quad k_z = 1,$$

По [1, табл.П.11.4] выбираем сечение кабеля, удовлетворяющее обоим условиям. Принимаем кабель марки АВВГ- 1(4х95):  $I_{доп} = 160 \text{ А}$ .

Проверяем выбранное сечение по условиям допустимой потери напряжения:

$$\Delta U_{p\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{380} (x_0 \cdot \sin \varphi + r_0 \cdot \cos \varphi) = \frac{\sqrt{3} \cdot 160 \cdot 56}{380} (0,066 \cdot 0,76 + 0,390 \cdot 0,65) = 4,3\%$$

Результаты расчета аппаратов защиты и сечений питающей сети цеха приведены в табл. 19.

Таблица 19 – Расчет аппаратов защиты и сечений питающей сети цеха

| № п/п       | Назначение участка питающей линии |                                | Идл, А | Икр, А | Аппарат защиты | Способ прокладки кабеля | По условно перегрузки пусковыми и пиковыми токами $A_{*}$ | Ин.ап. защ, А | Ин.вс или Ин.рас, А $I_{кз}$ | Марк а кабел я | Сечение, выбранное по длительному току, S, мм <sup>2</sup> | Идоп, А | Кз | Из   | Кз•Iз/Кп | Принятое сечение кабеля |
|-------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------|--------|----------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------|---------|----|------|----------|-------------------------|
|             | начало участка                    | конец участка                  |        |        |                |                         |                                                           |               |                              |                |                                                            |         |    |      |          |                         |
| 1,30        | ПР2, ПР6                          | Кран-балка, ПВ=40%             | 60,5   | 302,5  | ВА13-29        | В каналах               | 453,7                                                     | 63            | 63/756                       | АВВГ           | 1(4x16)                                                    | 60      | 1  | 63   | 63       | 1(4x25)                 |
| 18          | ПР2                               | Пресс                          | 83,1   | 415,5  | ВА57-35        |                         | 623,3                                                     | 250           | 100/800                      | АВВГ           | 1(4x35)                                                    | 90      | 1  | 100  | 100      | 1(4x50)                 |
| 2-5         | ПР2                               | Фрезерный станок               | 47,3   | 236,3  | ВА13-29        |                         | 354,5                                                     | 63            | 50/600                       | АВВГ           | 1(4x16)                                                    | 60      | 1  | 50   | 50       | 1(4x16)                 |
| 6-8,10      | ПР2, ПР1                          | Трубогибочный станок           | 60,8   | 303,9  | ВА13-29        |                         | 455,8                                                     | 63            | 63/756                       | АВВГ           | 1(4x16)                                                    | 60      | 1  | 63   | 63       | 1(4x25)                 |
| 9,26        | ПР1, ПР4                          | Шлифовальный станок            | 27,0   | 135,1  | ВА13-29        |                         | 202,6                                                     | 63            | 31,5/189                     | АВВГ           | 1(4x4)                                                     | 27      | 1  | 31,5 | 32       | 1(4x16)                 |
| 12-14,24    | ПР1, ПР4                          | Сварочный трансформатор ПВ=25% | 108,5  | 325,6  | ВА57-35        |                         | 488,4                                                     | 250           | 125/500                      | АВВГ           | 1(4x50)                                                    | 110     | 1  | 125  | 125      | 1(4x70)                 |
| 31          | ПР4                               | Вентиляторы                    | 8,4    | 42,2   | ВА13-29        |                         | 63,3                                                      | 63            | 10/60                        | АВВГ           | 1(4x2,5)                                                   | 19      | 1  | 10   | 10       | 1(4x2,5)                |
| 15,27       | ПР2, ПР4                          | Сушильный шкаф                 | 22,4   | 22,4   | ВА13-29        |                         | 22,4                                                      | 63            | 25/75                        | АВВГ           | 1(4x4)                                                     | 27      | 1  | 25   | 25       | 1(4x4)                  |
| 16,17       | ПР3                               | Закалочная печь                | 159,9  | 159,9  | ВА57-35        |                         | 159,9                                                     | 63            | 160/650                      | АВВГ           | 1(4x95)                                                    | 170     | 1  | 160  | 160      | 1(4x95)                 |
| 19-23,25,34 | ПР3, ПР4, ПР5                     | Токарный станок                | 30,4   | 151,9  | ВА13-29        |                         | 227,9                                                     | 63            | 31,5/378                     | АВВГ           | 1(4x6)                                                     | 32      | 1  | 31,5 | 32       | 1(4x6)                  |
| 37          | ПР6                               | Сверильный станок              | 13,5   | 67,5   | ВА13-29        |                         | 101,3                                                     | 63            | 16/96                        | АВВГ           | 1(4x2,5)                                                   | 19      | 1  | 16   | 16       | 1(4x2,5)                |
| 28,29       | ПР4                               | Электрованна                   | 80,0   | 80,0   | ВА57-35        |                         | 80,0                                                      | 250           | 80/200                       | АВВГ           | 1(4x35)                                                    | 90      | 1  | 80   | 80       | 1(4x35)                 |
| 32,36       | ПР5                               | Электромолот                   | 84,4   | 422,0  | ВА57-35        |                         | 633,1                                                     | 250           | 100/600                      | АВВГ           | 1(4x35)                                                    | 90      | 1  | 100  | 100      | 1(4x50)                 |
| 38          | ПР6                               | Поворотный кран                | 19,7   | 98,5   | ВА13-29        |                         | 147,7                                                     | 63            | 20/240                       | АВВГ           | 1(4x2,5)                                                   | 19      | 1  | 20   | 20       | 1(4x4)                  |
| 33,40       | ПР5, ПР6                          | Вентилятор горна               | 42,2   | 211,0  | ВА13-29        |                         | 316,5                                                     | 63            | 50/600                       | АВВГ           | 1(4x16)                                                    | 60      | 1  | 50   | 50       | 1(4x16)                 |
| 35          | ПР5                               | Обдирочный станок              | 33,8   | 168,8  | ВА13-29        |                         | 253,2                                                     | 63            | 40/480                       | АВВГ           | 1(4x10)                                                    | 42      | 1  | 40   | 40       | 1(4x10)                 |
| 39          | ПР6                               | Нагревательная плита           | 13,0   | 13,0   | ВА13-29        |                         | 13,0                                                      | 63            | 16/48                        | АВВГ           | 1(4x2,5)                                                   | 19      | 1  | 16   | 16       | 1(4x2,5)                |
|             | СШ                                | ПР1                            | 153,4  | 446,4  | ВА57-35        |                         | 558,0                                                     | 250           | 160/640                      | АВВГ           | 1(4x95)                                                    | 170     | 1  | 160  | 160      | 1(4x95)                 |
|             | СШ                                | ПР2                            | 142,1  | 536,9  | ВА57-35        |                         | 660,3                                                     | 250           | 160/800                      | АВВГ           | 1(4x95)                                                    | 170     | 1  | 160  | 160      | 1(4x95)                 |
|             | СШ                                | ПР3                            | 352,5  | 416,5  | ВА51-29        |                         | 520,6                                                     | 630           | 400/1600                     | АВВГ           | 2(4x120)                                                   | 400     | 1  | 400  | 400      | 2(4x120)                |
|             | СШ                                | ПР4                            | 260,7  | 553,7  | ВА74-40        |                         | 692,1                                                     | 800           | 275/825                      | АВВГ           | 1(4x185)                                                   | 270     | 1  | 275  | 275      | 2(4x95)                 |
|             | СШ                                | ПР5                            | 125,5  | 612,8  | ВА57-35        |                         | 766,0                                                     | 250           | 160/960                      | АВВГ           | 1(4x70)                                                    | 140     | 1  | 160  | 160      | 1(4x95)                 |
|             | СШ                                | ПР6                            | 133,8  | 390,9  | ВА57-35        |                         | 488,6                                                     | 63            | 160/640                      | АВВГ           | 1(4x70)                                                    | 140     | 1  | 160  | 160      | 1(4x95)                 |
|             | ТП                                | СШ                             | 1340,1 | 1736,8 | ВА74-43        |                         | 2171,0                                                    | 1600          | 1600/3200                    |                |                                                            |         |    |      |          |                         |

## 2.10.4 Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения. Построения эпюры отклонений напряжения

Расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения и построение эпюры отклонений напряжения выполняем для цепочки линий от шин ГПП до зажимов наиболее отдалённого электроприёмника (электромолот №32).

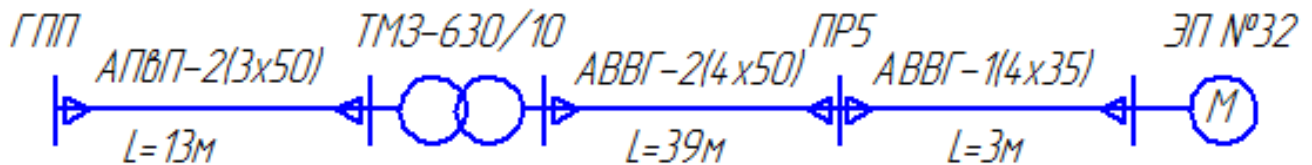


Рисунок 9 – Участок сети для расчета потерь напряжения и построения эпюры отклонений напряжения

Расчет потерь напряжений в различных элементах выбранной цепочки производим по нижеприведенным формулам.

Для трансформатора

$$\Delta U_m \% = \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2),$$

где  $\beta_m = \frac{S_{\text{фактич}}}{S_{\text{н.тр.}}}$  – фактический коэффициент загрузки цехового трансформатора;

$S_{\text{фактич}}$  – фактическая нагрузка одного трансформатора, кВА;

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

$U_a = \frac{\Delta P_{\text{кз}} \cdot 100\%}{S_{\text{н.тр.}}}$  – активная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора, %;

$\Delta P_{\text{кз}}$  – потери активной мощности при КЗ, кВт;

$U_p = \sqrt{(U_{\kappa})^2 - (U_a)^2}$  – реактивная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора, %;

$U_{\kappa}$  – напряжение короткого замыкания, %;



$\cos \varphi_2$  и  $\sin \varphi_2$  - коэффициент мощности вторичной нагрузки трансформатора и соответствующий ему  $\sin \varphi_2$ .

Для линии

$$\Delta U\% = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{10 \cdot U_i^2},$$

где  $P$  и  $Q$  – соответственно величины активной и реактивной мощностей, передаваемых по расчетному участку в рассматриваемом режиме, кВт и кВар;

$R$  и  $X$  – активное и индуктивное сопротивления данного участка сети, Ом;

$U_i$  - напряжение на данном участке сети (в начале участка), кВ.

*Расчет для максимального режима нагрузок:*

Участок (1-2) ГПП - ТП-1:

$$R_{12} = r_{012} \cdot L_{12} = 0,59 \cdot 0,013 = 0,0077 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = x_{012} \cdot L_{12} = 0,09 \cdot 0,013 = 0,0017 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{(P_{12} R_{12} + Q_{12} X_{12})}{10 U_1^2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{(678 \cdot 0,0077 + 452 \cdot 0,0017)}{10 \cdot 10,5^2} \cdot \frac{1}{2} = 0,026\%;$$

$$U_2 = 10,5 - \frac{\Delta U_{12}}{100} \cdot 10 = 10,497 \text{ кВ};$$

Участок 2-3(ТМЗ-630/10):

$$U_a = \frac{\Delta P_{\kappa 3} \cdot 100\%}{S_{н.тп.}} = \frac{7,9 \cdot 100\%}{630} = 1,25\%;$$

$$U_p = \sqrt{(U_{\kappa})^2 - (U_a)^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,25^2} = 5,355\%;$$

$$\beta_m = \frac{814,85}{2 \cdot 630} = 0,647$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{23} &= \frac{\beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2)}{2} = \\ &= \frac{0,647 (1,25 \cdot 0,838 + 5,35 \cdot 0,546) + \frac{0,647^2}{200} (1,25 \cdot 0,546 - 5,35 \cdot 0,838)}{2} = 1,3\%; \end{aligned}$$

$$U_3 = U_2 - \frac{\Delta U_{23}}{100} \cdot 10 = 10,367 \text{ кВ};$$

$$U_3'' = 0,38 \cdot \frac{10,367}{10} = 0,394 \text{ кВ};$$

Участок 3-4 (ТП-1 – ПР5)

$$\begin{aligned} \Delta U_{34} &= \frac{(P_{34} R_{34\gamma\delta} + Q_{34} X_{34\gamma\delta})}{10 U_H^2} \cdot l = \\ &= \frac{(68,3 \cdot 0,42 + 46,4 \cdot 0,086)}{10 \cdot 0,38^2} \cdot 0,039 = 0,204\%; \end{aligned}$$

$$U_4 = U_3 - \frac{\Delta U_{34}}{100} \cdot 0,38 = 0,393\%$$

Участок 4-5 (ПР-5 – ЭП №32):

$$\begin{aligned} \Delta U_{45} &= \frac{(P_{45} R_{45\gamma\delta} + Q_{45} X_{45\gamma\delta})}{10 U_H^2} \cdot l = \\ &= \frac{(30 \cdot 0,84 + 40 \cdot 0,095)}{10 \cdot 0,38^2} \cdot 0,003 = 0,06\% \end{aligned}$$

$$U_5 = U_4 - \frac{\Delta U_{45}}{100} \cdot 0,38 = 0,393\%$$

Отклонения напряжения:

$$\delta U_1 = 5\%;$$

$$\delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{12} \% = 4,974\%;$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{23} \% = 3,674\%;$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{34} \% = 3,47\%;$$

$$\delta U_5 = \delta U_4 - \Delta U_{45} \% = 3,41\%;$$

Для силовых сетей отклонения напряжения от номинального должны составлять не более  $\pm 5\%$ . В данном случае условие выполняется.

*Расчет для минимального режима нагрузок:*

Производится аналогично при параметрах

$$P_{\min} = 0,5 \cdot P_p = 0,5 \cdot 678 = 339 \text{ кВт}$$

$$Q_{\min} = 0,4 \cdot Q_p = 0,4 \cdot 452 = 180,8 \text{ кВар}$$

Участок (1-2) ГПП - ТП-1:

$$R_{12} = r_{012} \cdot L_{12} = 0,59 \cdot 0,013 = 0,0077 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = x_{012} \cdot L_{12} = 0,09 \cdot 0,013 = 0,0017 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{0,5 \cdot (P_{12} R_{12}) + 0,4 (Q_{12} X_{12})}{10 U_1^2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{0,5 \cdot (678 \cdot 0,0077) + 0,4 \cdot (452 \cdot 0,0017)}{10 \cdot 10,5^2} \cdot \frac{1}{2} = 0,013\%;$$

$$U_2 = 10,5 - \frac{\Delta U_{12}}{100} \cdot 10 = 10,499 \text{ кВ};$$

Участок 2-3 (ТМЗ-630/10):

$$U_a = \frac{\Delta P_{\kappa 3} \cdot 100\%}{S_{н.мр.}} = \frac{7,9 \cdot 100\%}{630} = 1,25\%;$$

$$U_p = \sqrt{(U_{\kappa})^2 - (U_a)^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,25^2} = 5,355\%;$$

$$\beta_m = \frac{384,2}{2 \cdot 630} = 0,305$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{23} &= \frac{\beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2)}{2} = \\ &= \frac{0,647 (1,25 \cdot 0,838 + 5,35 \cdot 0,546) + \frac{0,305^2}{200} (1,25 \cdot 0,546 - 5,35 \cdot 0,838)}{2} = 0,607\%; \end{aligned}$$

$$U_3 = U_2 - \frac{\Delta U_{23}}{100} \cdot 10 = 10,438 \text{ кВ};$$

$$U_3'' = 0,38 \cdot \frac{10,367}{10} = 0,397 \text{ кВ};$$

Участок 3-4 (ТП-1 – ПР5)

$$\begin{aligned} \Delta U_{34} &= \frac{0,5 \cdot (P_{34} R_{34y\partial}) + 0,4 \cdot (Q_{34} X_{34y\partial})}{10 U_H^2} \cdot l = \\ &= \frac{(68,3 \cdot 0,42 + 46,4 \cdot 0,086)}{10 \cdot 0,38^2} \cdot 0,039 = 0,102\%; \end{aligned}$$

$$U_4 = U_3 - \frac{\Delta U_{34}}{100} \cdot 0,38 = 0,396\%$$

Участок 4-5 (ПР-5 – ЭП №32):

$$\begin{aligned} \Delta U_{45} &= \frac{(P_{45} R_{45y\partial} + Q_{45} X_{45y\partial})}{10 U_H^2} \cdot l = \\ &= \frac{(30 \cdot 0,84 + 40 \cdot 0,095)}{10 \cdot 0,38^2} \cdot 0,003 = 0,06\% \end{aligned}$$

$$U_5 = U_4 - \frac{\Delta U_{45}}{100} \cdot 0,38 = 0,396\%$$

Отклонения напряжения:

$$\delta U_1 = 5\%;$$

$$\delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{12} \% = 4,987\%;$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{23} \% = 4,38\%;$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{34} \% = 4,278\%;$$

$$\delta U_5 = \delta U_4 - \Delta U_{45} \% = 4,218\%;$$

Для силовых сетей отклонения напряжения от номинального должны составлять не более  $\pm 5\%$ . В данном случае условие выполняется.

*Расчет для максимального режима нагрузок:*

Участок (1-2) ГПП - ТП-1:

$$R_{12} = r_{012} \cdot L_{12} = 0,59 \cdot 0,013 = 0,0077 \text{ Ом};$$

$$X_{12} = x_{012} \cdot L_{12} = 0,09 \cdot 0,013 = 0,0017 \text{ Ом};$$

$$\Delta U_{12} = \frac{(P_{12} R_{12} + Q_{12} X_{12})}{10 U_1^2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{(678 \cdot 0,0077 + 452 \cdot 0,0017)}{10 \cdot 10,5^2} \cdot \frac{1}{2} = 0,026\%;$$

$$U_2 = 10,5 - \frac{\Delta U_{12}}{100} \cdot 10 = 10,497 \text{ кВ};$$

Участок 2-3(ТМЗ-630/10):

$$U_a = \frac{\Delta P_{\kappa 3} \cdot 100\%}{S_{н.тр.}} = \frac{7,9 \cdot 100\%}{630} = 1,25\%;$$

$$U_p = \sqrt{(U_{\kappa})^2 - (U_a)^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,25^2} = 5,355\%;$$

$$\beta_m = \frac{814,85}{2 \cdot 630} = 0,647$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{23} &= \beta_m (U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{\beta_m^2}{200} (U_a \cdot \sin \varphi_2 - U_p \cdot \cos \varphi_2) = \\ &= 0,647 (1,25 \cdot 0,838 + 5,35 \cdot 0,546) + \frac{0,647^2}{200} (1,25 \cdot 0,546 - 5,35 \cdot 0,838) = 2,601\%; \end{aligned}$$

$$U_3 = U_2 - \frac{\Delta U_{23}}{100} \cdot 10 = 10,237 \text{ кВ};$$

$$U_3'' = 0,38 \cdot \frac{10,237}{10} = 0,389 \text{ кВ};$$

Участок 3-4 (ТП-1 – ПР5)

$$\begin{aligned}\Delta U_{34} &= \frac{(P_{34} R_{34\text{yd}} + Q_{34} X_{34\text{yd}})}{10 U_H^2} \cdot l = \\ &= \frac{(68,3 \cdot 0,42 + 46,4 \cdot 0,086)}{10 \cdot 0,38^2} \cdot 0,039 = 0,204\%;\end{aligned}$$

$$U_4 = U_3 - \frac{\Delta U_{34}}{100} \cdot 0,38 = 0,388\%$$

Участок 4-5 (ПР-5 – ЭП №32):

$$\begin{aligned}\Delta U_{45} &= \frac{(P_{45} R_{45\text{yd}} + Q_{45} X_{45\text{yd}})}{10 U_H^2} \cdot l = \\ &= \frac{(30 \cdot 0,84 + 40 \cdot 0,095)}{10 \cdot 0,38^2} \cdot 0,003 = 0,06\%\end{aligned}$$

$$U_5 = U_4 - \frac{\Delta U_{45}}{100} \cdot 0,38 = 0,388\%$$

Отклонения напряжения:

$$\delta U_1 = 5\%;$$

$$\delta U_2 = \delta U_1 - \Delta U_{12} \% = 4,974\%;$$

$$\delta U_3 = \delta U_2 - \Delta U_{23} \% = 2,373\%;$$

$$\delta U_4 = \delta U_3 - \Delta U_{34} \% = 2,17\%;$$

$$\delta U_5 = \delta U_4 - \Delta U_{45} \% = 2,109\%;$$

Для силовых сетей отклонения напряжения от номинального должны составлять не более  $\pm 5\%$ . В данном случае условие выполняется.

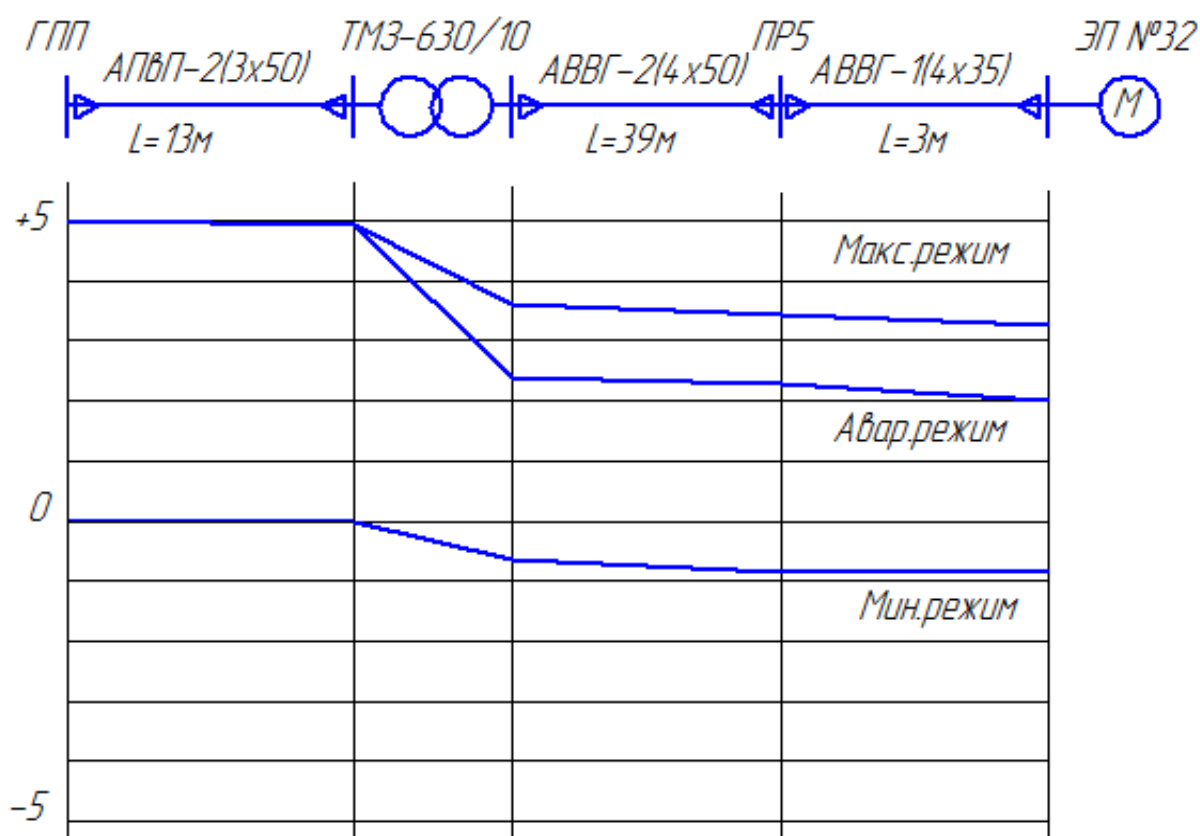


Рисунок 10 – Эпюры отклонений напряжения

### 2.10.5 Расчёт токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Расчет токов КЗ проводим для участка цеховой сети от ТП-1 до наиболее мощного электроприёмника цеха (№32). Полученные данные наносим на карту селективности действия аппаратов защиты.

Расчёт токов КЗ в сети до 1000 В имеет следующие особенности:

1) принимаем мощность системы  $S_c = \infty$ , что правомерно при  $S_c \geq 50S_{н.тр.}$ , т.е. напряжение на шинах подстанции считается неизменным при КЗ в сети до 1000 В;

2) при расчёте учитываются активные и реактивные сопротивления до точки КЗ всех элементов сети: силового трансформатора, сопротивление токовой катушки автоматического выключателя и переходное сопротивление контактов, сопротивление первичной обмотки трансформаторов тока, сопротивление проводов и кабелей;

3) расчёт ведётся в именованных единицах, напряжение принимается на 5% выше номинального напряжения сети. Принимаем  $U_c = 400В$ .

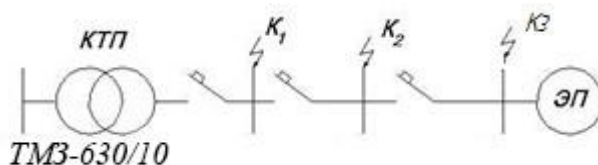


Рисунок 11 – Схема для расчета токов короткого замыкания в сети до 1000 В

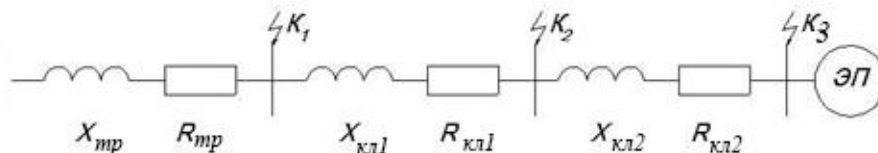


Рисунок 12 – Схема замещения для расчета токов короткого замыкания в сети до 1000 В

Сопротивление катушек максимального тока и неподвижных контактов выключателей:

*Расчёт токов КЗ для точки К1:*

Активное сопротивление трансформатора:

$$R_{mp} = \frac{\Delta P_{кз} \cdot U_c^2}{S_{н.мп}^2} = \frac{7,9 \cdot 400^2}{630^2} = 3,18 \text{ мОм}.$$

Реактивное сопротивление трансформатора:

$$X_{mp} = \sqrt{\left(\frac{U_k \%}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{кз}}{S_{н.мп}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{н.мп}} = \sqrt{\left(\frac{5,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{7,9}{630}\right)^2} \cdot \frac{400^2}{630} = 13,6 \text{ мОм}.$$

Суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$Z_{к1} = \sqrt{(R_{mp})^2 + (X_{mp})^2} = 13,968 \text{ мОм}.$$

Действующее значение тока КЗ:

$$I_{к1} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{к1}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 13,9} = 16,533 \text{ кА}$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y^{к1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к1} = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 16,533 = 30,396 \text{ кА},$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент [5, рис. 2.22].

*Расчёт токов КЗ для точки К2:*

$$R_{кл1} = r_0 \cdot L = 0,42 \cdot 0,039 = 16,38 \text{ мОм};$$

$$X_{кл1} = x_0 \cdot L = 0,09 \cdot 0,039 = 3,35 \text{ мОм};$$

Сопротивление катушек максимального тока автомата

$$R_{кат} = 0,15 \text{ мОм};$$

$$X_{кат} = 0,17 \text{ мОм}.$$

Переходное сопротивление контактов:

$$R_{конт} = 0,15 \text{ мОм}.$$

Суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$R_{к2} = R_{тр} + R_{кл} + R_{кат} + R_{конт} = 3,2 + 16,3 + 0,15 + 0,17 = 20,115 \text{ мОм}$$

$$X_{к2} = X_{тр} + X_{кл} + X_{кат} = 13,6 + 3,35 + 0,17 = 17,124 \text{ мОм}$$

Суммарное полное сопротивление до точки К2:

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2} = \sqrt{20,115^2 + 17,124^2} = 26,417 \text{ мОм}.$$

Действующее значение тока КЗ:

$$I_{к2} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{к2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 26,417} = 8,742 \text{ кА};$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y^{к2} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{к2} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 8,742 = 22,253 \text{ кА},$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент [5, рис. 2.22].

**Расчёт токов КЗ для точки КЗ:**

$$R_{кл} = r_0 \cdot L = 0,84 \cdot 0,003 = 2,52 \text{ мОм};$$

$$X_{кл} = x_0 \cdot L = 0,095 \cdot 0,003 = 0,28 \text{ мОм};$$

Сопротивление катушек максимального тока автомата

$$R_{кат} = 0,15 \text{ мОм};$$

$$X_{кат} = 0,17 \text{ мОм}.$$

Переходное сопротивление контактов:

$$R_{конт} = 0,4 \text{ мОм}.$$

Суммарное полное сопротивление до точки КЗ:

$$R_{к3} = R_{к2} + R_{кл} + R_{кат} + R_{конт} = 20,115 + 2,52 + 0,4 + 0,15 = 23,185 \text{ мОм}$$

$$X_{к3} = X_{к2} + X_{кл} + X_{кат} = 17,124 + 0,285 + 0,17 = 17,579 \text{ мОм}$$

Суммарное полное сопротивление до точки КЗ:



$$Z_{\kappa 3} = \sqrt{R_{\kappa 3}^2 + X_{\kappa 3}^2} = \sqrt{23,185^2 + 17,579^2} = 29,09 \text{ МОм}.$$

Действующее значение тока КЗ:

$$I_{\kappa 3} = \frac{U_c}{\sqrt{3} \cdot Z_{\kappa 3}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 29,096} = 7,937 \text{ кА};$$

Ударный ток КЗ:

$$i_y^{\kappa 3} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\kappa 3} = 1.8 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,937 = 20,205 \text{ кА},$$

где  $k_y$  – ударный коэффициент [5, рис. 2.22].

### 2.10.6 Построение карты селективности действия аппаратов защиты для участка цеховой сети

Карту селективности строим для участка цеховой сети от водного автомата на подстанции ТП-1 до ЭП №32 Электромолот (ПР5)

Данные для построения карты селективности представлены в табл. 20 и в табл.21.

Таблица 20 – Данные для построения карты селективности

|                       | ЭП   | ПР5   | ТП-1   | I <sub>кз</sub> в соотв. точках, кА |     |     |
|-----------------------|------|-------|--------|-------------------------------------|-----|-----|
|                       |      |       |        | 1                                   | 2   | 3   |
| I <sub>p</sub> , А    | -    | 125.5 | 1340.1 |                                     |     |     |
| I <sub>пик</sub> , А  | -    | 612.8 | 1736.8 |                                     |     |     |
| I <sub>ном</sub> , А  | 84.4 | -     |        | 16,5                                | 8,7 | 7,9 |
| I <sub>пуск</sub> , А | 422  | -     |        |                                     |     |     |

Таблица 21 – Данные для построения карты селективности

| Наименование аппарата защиты | Номинальный ток расцепителя, А | Номинальный ток срабатывания установки в зоне КЗ, А |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                              |                                |                                                     |
|                              |                                |                                                     |
| ВА57-35 (ЭП №32)             | 100                            | 600                                                 |

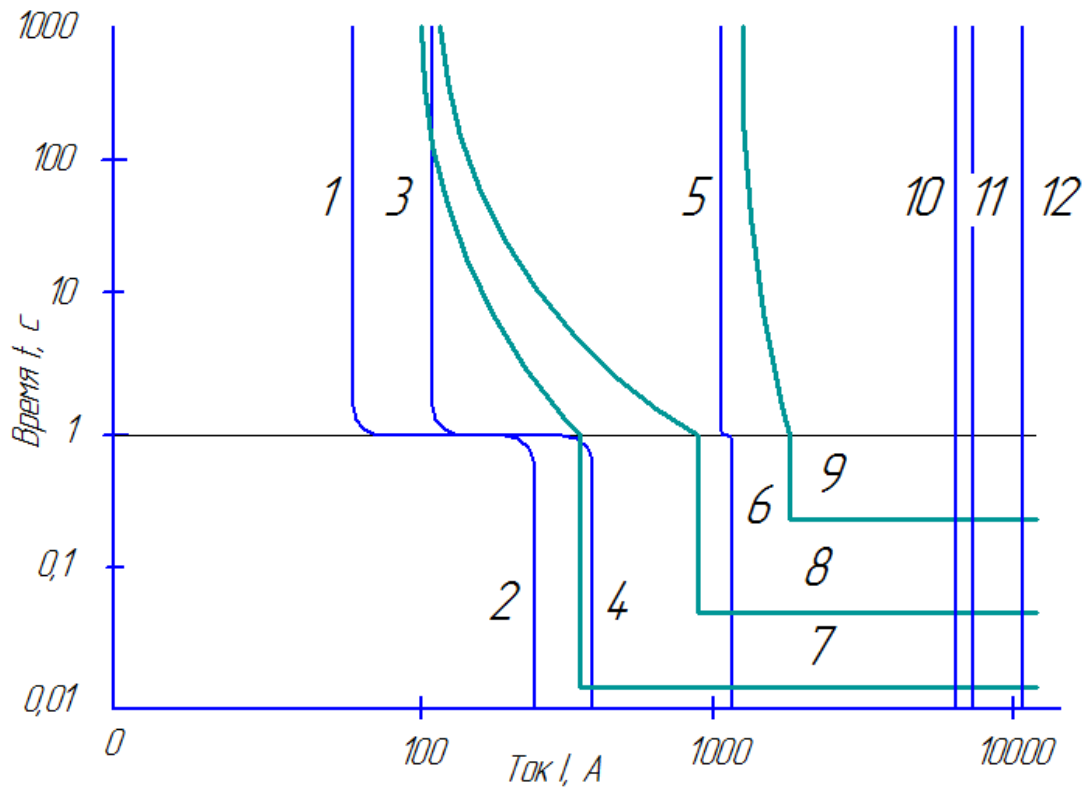


Рисунок 13 – Карта селективности действия защиты в установках до 1000 В

1. Номинальный ток ЭП;
2. Пусковой ток ЭП;
3. Расчетный ток ПР-5;
4. Пиковый ток ПР-5;
5. Расчетный ток ТП-1;
6. Пиковый ток ТП-1;
7. Защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35 (ЭП№32);
8. Защитная характеристика автоматического выключателя ВА57-35(ПР5);
9. Защитная характеристика автоматического выключателя ВА74-43(ТП1);
10. Ток короткого замыкания в точке К3;
11. Ток короткого замыкания в точке К2;
12. Ток короткого замыкания в точке К1;

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                 |
| З-5Г13        | Любимову Артуру Андреевичу |

|                     |             |                           |                                                                                |
|---------------------|-------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Институт</b>     | <b>ИнЭО</b> | <b>Кафедра</b>            | <b>ЭПЭО</b>                                                                    |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|                                          |                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость затрат технического проекта | В техническом проекте задействованы 2 человека (руководитель, дипломник). Стоимость материальных ресурсов определялась исходя из средней стоимости по г.Томску. Зарботная плата рассчитывается в соответствии с окладами сотрудников НИ ТПУ |
| 2. Продолжительность выполнения          | Оценка приблизительной продолжительности выполнения технического проекта                                                                                                                                                                    |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Планирование графика работ по реализации технического проекта | Для составления графика работ по реализации технического проекта используется оценка трудоемкости работ для каждого исполнителя. По полученным данным строится график Ганта.                                                                  |
| 2. Определение затрат технического проекта                       | В процессе формирования сметы технического проекта используется следующая группировка затрат по статьям:<br>• Материальные затраты;<br>• Полная заработная плата исполнителей;<br>• Отчисления во внебюджетные фонды;<br>• Накладные расходы; |
| 3. Оценка ресурсной эффективности ИР                             | Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проекта                                                                                                                                                                                  |

|                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 10.02.2016 |
|-------------------------------------------------------------|------------|

**Задание выдал руководитель:**

|                  |                                |                               |                |             |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>                     | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент           | Мелик-Гайказян Мария Вигеновна | к.э.н., доцент                |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                         |                |             |
|---------------|-------------------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>              | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| З-5Г13        | Любимов Артур Андреевич |                |             |

### **3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является обоснование целесообразного использования технического проекта, выполняемого в рамках выпускной квалификационной работы. Рассматриваются планово-временные и материальные показатели процесса проектирования.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- Составление SWOT-анализа работы и эксплуатации ремонтно-механического цеха электролампового завода
- Планирование технико-конструкторских работ;
- Определение ресурсоэффективности проекта.

#### **3.1 SWOT-анализ системы электроснабжения**

SWOT-анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта.

Применительно к проектируемой АСР уровня, SWOT-анализ позволит оценить сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности и угрозы.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта, Сл – слабые стороны проекта, В – возможности, У – угрозы.

Матрица SWOT приведена в таблицах 22 и 23.

На основании матрицы SWOT строим интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются обозначения аналогичные самой матрицы SWOT с дополнением знаков (+,-) для подробного

представления наличия возможностей и угроз проекта: «+» – сильное соответствие; «-» – слабое соответствие .

Таблица 22– Интерактивная матрица возможностей

| Возможности | Сильные стороны проекта |     |     |     |     |    |
|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----|
|             |                         | C1  | C2  | C3  | C4  | C5 |
|             | B1                      | +   | +   | +   | +   | -  |
|             | B2                      | +   | -   | -   | +   | -  |
|             | B3                      | -   | +   | -   | -   | +  |
|             | B4                      | +   | +   | -   | +   | +  |
|             | Слабые стороны проекта  |     |     |     |     |    |
|             |                         | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |    |
|             | B1                      | -   | -   | -   | -   |    |
|             | B2                      | +   | +   | +   | +   |    |
|             | B3                      | -   | +   | -   | -   |    |
|             | B4                      | -   | -   | -   | -   |    |

Таблица 23– Интерактивная матрица угроз

| Угрозы | Сильные стороны проекта |     |     |     |     |    |
|--------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|----|
|        |                         | C1  | C2  | C3  | C4  | C5 |
|        | У1                      | -   | -   | +   | -   | -  |
|        | У2                      | +   | -   | -   | +   | -  |
|        | У3                      | -   | -   | -   | +   | +  |
|        | Слабые стороны проекта  |     |     |     |     |    |
|        |                         | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |    |
|        | У1                      | +   | +   | -   | -   |    |
|        | У2                      | -   | -   | +   | +   |    |
|        | У3                      | -   | +   | +   | -   |    |

Разработка технического проекта системы электроснабжения предприятия с внедрением сильных сторон влияет, прежде всего, на качество и востребованность спроектированной системы электроснабжения, что считается важным фактором для потребителей.

Анализ интерактивных матриц, приведенных в таблицах 4.2 и 4.3, показывает сильные стороны проекта такие как: высокая энергоэффективность и энергосбережение технологии; экологичность; повышение безопасности на производстве. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

### **3.2 Организация работ технического проекта**

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках технического проектирования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения проектирования системы электроснабжения электротехнического завода.

#### **3.2.1 Структура работ в рамках технического проектирования**

Для выполнения проектирования формируется рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и инженер. Составлен перечень этапов и работ в рамках проведения проектирования и произведено распределение исполнителей по видам работ.

Номерам этапов соответствуют виды выполняемых работ, представленные в таблице 24.

1. постановка целей и разработка технического задания – изучение первичной информации об объекте, формулировку требований к техническому проекту, составление задания и плана на работу;
2. обзор литературы – ознакомление с предметом работы, изучение различных источников, касающихся различных сторон технического проекта;
3. изучение расчета и проектирования электроснабжения электротехнического завода, проработка методических указаний;
4. сбор и систематизация данных об электроприёмниках , уточнение коэффициентов мощности для каждого электроприёмника;
5. создание схемы системы электроснабжения для кузнечного цеха – проектирование внутрицехового электроснабжения.
6. проверка схемы ознакомление руководителя с принятым решением.

7. выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности обоснование принятых решений по расчетам нагрузок цехов;
8. проработка схемы внутризаводской сети выше 1кВ, выбор оптимального варианта по электроснабжению завода;
9. выбор распределительных пунктов в сети ниже 1 кВ, выбор оптимального варианта по электроснабжению цеха;
10. проработка и проверка схемы прокладки низковольтных линий от КТП до отдельных ЭП, обоснование выбора кабельных линий с учетом категории помещения;
11. проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюр отклонения напряжения и расчет потерь напряжения до самого мощного электро-приемника в цеху;
12. построение карты селективности действия защитных аппаратов с учетом принятой защитной аппаратуры;
13. обработка результатов – обоснование принятых решений, корректировка замечаний, указанных руководителем;
14. оформление записки – окончательная проверка руководителем, устранение недочетов дипломником, подготовку к защите и защиту ВКР.

### **3.2.2 Определение трудоемкости выполнения технического проекта.**

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется формула [14]:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{mini}} + 2t_{\text{max}i}}{5}$$

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел. дн.;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел. дн.;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел. дн.

Время выполнения работ приведено в таблице 24.

Таблица 24 – Продолжительность работ

| № этапа | Наименование этапа                                                                                                     | Кол-во человек | Трудоёмкость работ, чел-дни |                        |           |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------------|-----------|
|         |                                                                                                                        |                | Минимальная возможная       | Максимальная возможная | Ожидаемая |
| 1       | Постановка целей и разработка технического задания.                                                                    | Руководитель   | 1                           | 1                      | 1         |
| 2       | Обзор литературы                                                                                                       | Инженер        | 5                           | 7                      | 6         |
| 3       | Изучение особенностей основ расчета и проектирования электроснабжения                                                  | Инженер        | 4                           | 6                      | 5         |
| 4       | Сбор и систематизация данных об электроприемниках                                                                      | Инженер        | 7                           | 15                     | 11        |
| 5       | Создание схемы системы электроснабжения для кузнечного цеха                                                            | Инженер        | 7                           | 11                     | 9         |
| 6       | Проверка схемы руководителем проекта                                                                                   | Руководитель   | 1                           | 1                      | 1         |
| 7       | Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности | Инженер        | 8                           | 10                     | 9         |
| 8       | Проработка схемы внутризаводской сети выше 1кВ                                                                         | Инженер        | 6                           | 10                     | 8         |
| 9       | Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1 кВ                                                                       | Инженер        | 10                          | 12                     | 11        |
| 10      | Проработка и проверка схемы прокладки низковольтных линий от КТП до отдельных ЭП                                       | Инженер        | 6                           | 10                     | 8         |
| 11      | Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения. Построение эпюр отклонения напряжения.                              | Руководитель   | 2                           | 3                      | 2         |
|         |                                                                                                                        | Инженер        | 9                           | 13                     | 11        |
| 12      | Построение карты                                                                                                       | Руководитель   | 1                           | 1                      | 1         |



|    |                                           |              |    |    |    |
|----|-------------------------------------------|--------------|----|----|----|
|    | селективности действия защитных аппаратов | Инженер      | 4  | 6  | 5  |
| 13 | Обработка результатов                     | Инженер      | 4  | 8  | 6  |
| 14 | Оформление записки                        | Руководитель | 2  | 3  | 2  |
|    |                                           | Инженер      | 14 | 18 | 16 |

### 3.2.3 Разработка графика проведения системы электроснабжения

Наиболее удобным и наглядным в данном случае является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [15].

На основе таблицы 4.4 строим план-график проведения работ (таблица 4.5). График строится для ожидаемого по длительности исполнения работ в рамках технического проекта, с разбивкой по месяцам и декадам за период времени подготовки ВКР.

Исходя из составленной диаграммы, можно сделать вывод, что продолжительность работ занимает 11 декад, начиная с третьей декады февраля, заканчивая первой декадой июня. Продолжительность выполнения технического проекта составит 107 дней.

105 дней – продолжительность выполнения работ инженера;

7 дней – продолжительность выполнения работ руководителя;

Таблица 25 – Диаграмма Ганта

| №                                         | Вид работ                                                                                                              | Испол-<br>нители | T <sub>pi</sub> ,<br>раб.дн. | Продолжительность выполнения работ |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------------------|------|---|---|--------|---|---|-----|---|---|------|
|                                           |                                                                                                                        |                  |                              | Фев                                | Март |   |   | Апрель |   |   | Май |   |   | Июнь |
|                                           |                                                                                                                        |                  |                              |                                    | 3    | 1 | 2 | 3      | 1 | 2 | 3   | 1 | 2 |      |
| 1                                         | Постановка целей и разработка технического задания.                                                                    | Р                | 1                            | -                                  |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 2                                         | Обзор литературы                                                                                                       | И                | 6                            | —                                  |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 3                                         | Изучение особенностей основ расчета и проектирования электроснабжения                                                  | И                | 5                            | —                                  |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 4                                         | Сбор и систематизация данных об электроприемниках                                                                      | И                | 11                           |                                    | —    | — |   |        |   |   |     |   |   |      |
| 5                                         | Создание схемы системы электроснабжения для кузнечного цеха                                                            | И                | 9                            |                                    |      | — | — |        |   |   |     |   |   |      |
| 6                                         | Проверка схемы руководителем проекта                                                                                   | Р                | 1                            |                                    |      |   | - |        |   |   |     |   |   |      |
| 7                                         | Выбор количества, мощности и расположения цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности | И                | 9                            |                                    |      |   | — | —      |   |   |     |   |   |      |
| 8                                         | Проработка схемы внутризаводской сети выше 1кВ                                                                         | И                | 8                            |                                    |      |   |   | —      | — |   |     |   |   |      |
| 9                                         | Выбор распределительных пунктов в сети ниже 1 кВ                                                                       | И                | 11                           |                                    |      |   |   |        | — | — |     |   |   |      |
| 10                                        | Проработка и проверка схемы прокладки низковольтных линий от КТП до отдельных ЭП                                       | И                | 8                            |                                    |      |   |   |        |   | — | —   |   |   |      |
| 11                                        | Проверка внутрицеховой сети по потерям напряжения.<br>Построение эпюр отклонения напряжения.                           | Р                | 2                            |                                    |      |   |   |        |   | - | —   |   |   |      |
|                                           |                                                                                                                        | И                | 11                           |                                    |      |   |   |        |   |   | —   | — |   |      |
| 12                                        | Построение карты селективности действия защитных аппаратов                                                             | Р                | 1                            |                                    |      |   |   |        |   |   |     | - |   |      |
|                                           |                                                                                                                        | И                | 5                            |                                    |      |   |   |        |   |   |     | — | — |      |
| 13                                        | Обработка результатов                                                                                                  | И                | 6                            |                                    |      |   |   |        |   |   |     |   | — |      |
| 14                                        | Оформление записки                                                                                                     | Р                | 2                            |                                    |      |   |   |        |   |   |     |   |   | -    |
|                                           |                                                                                                                        | И                | 16                           |                                    |      |   |   |        |   |   |     |   |   | —    |
| Примечание: Р – руководитель, И – инженер |                                                                                                                        |                  |                              |                                    |      |   |   |        |   |   |     |   |   |      |

### 3.3.1 Расчет полной заработной платы исполнителей

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где,  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p,$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб. дн.;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_t + З_д + З_{рк}}{F_d},$$

где  $З_t$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$З_д$  – стимулирующие выплаты;

$З_{рк}$  – доплата с учетом районного коэффициента,

$F_d$  – фонд рабочего времени персонала, раб.дн.

Расчет основной заработной платы приведен в табл. 26.

Таблица 26– Расчёт основной заработной платы

| Исполнители  | Оклад<br>руб. | Доплаты<br>руб. | Районная<br>доплата<br>руб. | Месячный<br>оклад<br>руб. | Среднедневная<br>заработная<br>плата, руб. | Продолжительность<br>работ, раб.дн. | Основная<br>заработная<br>плата, руб. |
|--------------|---------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Руководитель | 33163         | 2500            | 10700                       | 46362                     | 1783                                       | 7                                   | 12482                                 |
| Инженер      | 8000          | -               | 2400                        | 10400                     | 400                                        | 105                                 | 42000                                 |
| Итого        |               |                 |                             |                           |                                            |                                     | 54482                                 |

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей проекта учитывают величину выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Расчет дополнительной и полной заработной платы приведен в табл.27.

Таблица 27– Расчет полной заработной платы

| Исполнители          | Коэффициент дополнительной заработной платы | Основная заработная плата, руб. | Дополнительная заработная плата, руб. | Полная заработная плата, руб. |
|----------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| Научный Руководитель | 0,15                                        | 12482                           | 1872                                  | 14000                         |
| Инженер              | 0,12                                        | 42000                           | 5040                                  | 47000                         |
| Итого                |                                             |                                 |                                       | 61000                         |

### 3.3.2 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2016 г. размер страховых взносов равен 30,2 %.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 61394 = 18,4 \text{ тыс. руб.}$$

### 3.3.3 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина составляет 16% от общей суммы затрат.

Результаты расчетов по затратам на полную заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы и структура затрат приведена в таблице 28.

Таблица 28– Расчет сметы проекта

| Наименование статьи                                        | Сумма,<br>тыс.руб. | Структура<br>затрат, % |
|------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| 1. Затраты на полную заработную плату исполнителей проекта | 61,0               | 64,5                   |
| 2. Отчисления во внебюджетные фонды                        | 18,4               | 19,5                   |
| 3. Накладные расходы                                       | 15,1               | 16,0                   |
| Итого                                                      | 94,5               | 100,0                  |

Общая сумма затрат проекта по принятому варианту исполнения составляет 94,5тыс.руб. Наибольшую часть суммы (65%) данного проекта составляет заработная плата исполнителям.

#### 4.3.4 Расчет стоимости технических средств

Для реализации электроснабжения кузнечного цеха в качестве затрат принимаем:

- Трансформаторы для главной понизительной подстанции
- Комплектные трансформаторные подстанции;
- Кабели с учетом условий прокладки;
- Автоматические выключатели для кузнечного цеха;
- Конденсаторные батареи.

Стоимость технических средств сведена в таблице 29.

Таблица 29– Расчет стоимости технических средств

| Наименование                       | Кол-<br>во,<br>шт. | Цена, тыс.руб/шт. | Стоимость,<br>тыс.руб. |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| Трансформаторы ГПП ТМ – 4000/35    | 2                  | 4930              | 9860,0                 |
| Трансформаторы КТП ТМЗ – 630/10    | 6                  | 220               | 2860,0                 |
| Трансформаторы КТП ТСЗ – 250/10    | 4                  | 140               | 560,0                  |
| Автоматический выключатель ВА13–29 | 13                 | 2,2               | 28,6                   |
| Автоматический выключатель ВА51-25 | 7                  | 7,3               | 49,2                   |
| Автоматический выключатель ВА57-35 | 9                  | 1,5               | 13,5                   |
| Конденсаторные батареи УКМ 58-0,4  | 6                  | 75                | 450,0                  |
| <b>Итого</b>                       |                    |                   | 13821,3                |

Для осуществления электроснабжения используются кабельные линии разного сечения, материала и типа изоляции. В зависимости от типа прокладки кабеля возникает необходимость в изолирующем материале. Например, для кабелей, проложенных в канале, необходимо учесть стоимость кабель-канала.

Длина кабельных линий, тип кабельных линий, условия их прокладки и прочие расходы приведены в таблице 30.

Таблица 30– Расчет стоимости кабельных линий

| Вид кабеля                  | Длина<br>линии,<br>км | Условия<br>прокладки | Цена<br>кабеля,<br>руб/км | Цена<br>изолирующего<br>материала,<br>руб/км | Общая<br>стоимость,<br>тыс.руб. |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| Кабель марки АПвП (ГПП-КТП) | 1,2                   | В траншее            | 23500                     | -                                            | 28,2                            |
| Кабель марки АПВ (КТП-ПР)   | 1,0                   | В канале             | 17900                     | 7640                                         | 25,5                            |
| Кабель марки АПВ (ПР-ЭП)    | 2,3                   | В канале             | 13600                     | 7470                                         | 44,3                            |
| Прочие расходы              | -                     | -                    | -                         | -                                            | 10,8                            |
| <b>Итого</b>                |                       |                      |                           |                                              | 108,8                           |

Цена оборудования принята согласно каталогам заводов-производителей оборудования.

Стоимость оборудования и товарно-материальных ценностей учитывает затраты предприятия на их транспортировку и рассчитываются по формуле:

$$C_{м.об} = (C_{об} + C_{кл}) \cdot \kappa_{тзр} ;$$

где  $C_{об}$  – суммарная стоимость электрооборудования;

$C_{кл}$  – суммарная стоимость кабельных линий;

$k_{\text{тзр}}$  — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаемый  $k_{\text{тзр}}=1,1$ .

$$C_{\text{м.об}} = (13,8 + 0,1) \cdot 1,1 = 15,3 \text{ млн.руб.}$$

Для реализации электроснабжения кузнечного цеха проектом предусмотрена закупка оборудования на сумму 15,3млн.руб.

### 3.4 Определение ресурсоэффективности проекта

Определение ресурсоэффективности проекта можно оценить с помощью интегрального критерия ресурсоэффективности [9]:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где  $I_{pi}$  — интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  — балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  — число параметров сравнения.

В качестве критериев или характеристик системы принимаются:

*Электрическая безопасность* — система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих вредное и опасное воздействие на работающих от электрического тока и электрической дуги.

Электрическая безопасность включает в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Правила электробезопасности регламентируются правовыми и техническими документами, нормативно-технической базой. Знание основ электробезопасности обязательно для персонала, обслуживающего электроустановки и электрооборудование.

Методами защиты является ряд мероприятий по снижению вероятности до нуля получения травм и/или повреждений при использовании электрооборудования.

*Надежность электроснабжения* – способность системы электроснабжения, в составе которой работают энергопринимающие установки потребителей, при определенных условиях обеспечить им поставку электрической энергии (мощности) в соответствии с заявленными величинами и договорными обязательствами при соблюдении установленных норм качества электроэнергии

*Качество электрической энергии* – степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям. В свою очередь, параметр электрической энергии – величина, количественно характеризующая какое-либо свойство электрической энергии. Под параметрами электрической энергии понимают напряжение, частоту, форму кривой электрического тока. Качество электрической энергии является составляющей электромагнитной совместимости, характеризующей электромагнитную среду.

Качество электрической энергии может меняться в зависимости от времени суток, погодных и климатических условий, изменения нагрузки энергосистемы, возникновения аварийных режимов в сети и т.д.

Снижение качества электрической энергии может привести к заметным изменениям режимов работы электроприёмников и в результате уменьшению производительности рабочих механизмов, ухудшению качества продукции, сокращению срока службы электрооборудования, повышению вероятности аварий.

*Окружающая среда и электроустановки взаимно влияют друг на друга*, что может иметь негативные последствия. В частности, неблагоприятные внешние факторы приводят к коррозии проводников и металлических частей электрооборудования, появлению токов утечки из-за снижения сопротивления изоляции, уменьшению пропускной способности элементов электрических сетей, разрушению и перекрытию изоляции и в конечном итоге – к отказам в работе электроустановок. В то же время сами электроустановки в некоторых случаях представляют опасность для окружающей среды, так как нагрев проводников, электрооборудования и электроприёмниках сверх допустимого, электрические искры и дуга могут вызвать пожары и взрывы в помещениях и зонах с неблагоприятными условиями, открытая установка масляных трансформаторов 10/0,4 кВ увеличивает пожароопасность цеха и т.п. Отдельные элементы



электроустановок опасны для людей из-за возможности прикосновения к токоведущим и движущимся частям.

Под возможностью перестройки системы электроснабжения при изменении технологии производства подразумевается степень готовности смены системы электроснабжения, монтажность конструкций, легкая замена кабелей, проводов, электрооборудования.

Весовые коэффициенты характеристик проекта приведены в таблице 31.

Таблица 31 –Сравнительная оценка характеристик проекта

| Характеристика                                                                         | Весовой коэффициент параметра | Оценка |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------|
| Электробезопасность                                                                    | 0,25                          | 5      |
| Надежность электроснабжения                                                            | 0,25                          | 5      |
| Качество поставляемой электрической энергии                                            | 0,20                          | 4      |
| Степень влияния на окружающую среду                                                    | 0,10                          | 3      |
| Возможность перестройки системы электроснабжения при изменении технологии производства | 0,10                          | 4      |
| Финансирование расчетного проектирования                                               | 0,10                          | 3      |
| ИТОГО                                                                                  | 1,00                          |        |

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности:

$$I_p = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 4,3$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования технического проекта. Высокие баллы надежности и безопасности позволяют судить о надежности системы.

В данном разделе выпускной квалификационной работы были рассчитаны затраты на проектирование системы электроснабжения электротехнического завода. Общий бюджет затрат проекта по принятому варианту исполнения составляет 94,5 тыс.руб.

Проектом предусмотрена закупка всего оборудования, при реализации. Для принятого электрооборудования была рассчитана общая сумма затрат на их покупку, которая составляет 15,3 млн.руб.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

| Группа | ФИО                        |
|--------|----------------------------|
| 3-5Г13 | Любимову Артуру Андреевичу |

| Институт            | ИНЭО        | Кафедра                   | ЭПЭО                               |
|---------------------|-------------|---------------------------|------------------------------------|
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность | Электроэнергетика и электротехника |

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) | Описание рабочего места на предмет возникновения:<br>- вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)<br>- опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, электрической, природы) |
| 2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ПУЭ, СН-245, НПБ 105-03, ГОСТ 12.1.012-90, ГОСТ 12.0.002-97, ГОСТ 12.1.005-97, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03                                                                                                                                                                                                 |

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:<br>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;<br>– действие фактора на организм человека;<br>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);<br>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) | - физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;<br>- действие фактора на организм человека;<br>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);<br>- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) |
| 2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности<br>– механические опасности (источники, средства защиты);<br>– термические опасности (источники, средства защиты);<br>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);<br>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, средства пожаротушения)                                          | – механические опасности (источники, средства защиты);<br>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты);<br>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).                                                                                                              |
| 3. Охрана окружающей среды:<br>– защита селитебной зоны<br>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);<br>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);<br>– разработка и принятие решений по обеспечению экологической                                                                                                                                                                                                                                       |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>                                                                                                                                                                             | безопасности предприятия.                                                                                                               |
| <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– эвакуация людей из зданий и помещений.</li> </ul> |
| <b>Перечень графического материала:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                         |
| При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                         |

|                                                             |  |
|-------------------------------------------------------------|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|-------------------------------------------------------------|--|

**Задание выдал консультант:**

| Должность             | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Старший преподаватель | Романцов И.И | К. т. н.               |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО         | Подпись | Дата |
|--------|-------------|---------|------|
| З-5Г13 | Любимов А.А |         |      |

## **4 Социальная ответственность**

### **Введение**

Безопасность жизнедеятельности представляет собой систему законодательных актов и соответствующих им социально - экономических, технических, гигиенических, организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Целью данного раздела является оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, воздействующих на работника, разработка мер защиты от них, также рассмотрение вопросов техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды при работе в кузнечном цехе электротехнического завода.

#### **4.1 Анализ опасных и вредных факторов на химических объектах.**

Опасным производственным фактором называются такой производственный фактор, воздействия которого на рабочий персонал в определенных условиях приводит к травме или к другому внезапному ухудшению здоровья.

В рассматриваемом цеху имеется ряд опасных факторов:

- Вращающиеся части двигателей.
- Возможность поражения электрическим током.
- Пожар.
- Взрыв.

Вредными производственными факторами являются также такие факторы, воздействия которых на рабочий персонал при определенных условиях ведёт к снижению трудоспособности и заболеваниям.

В цеху имеется ряд вредных для человека факторов:

1. Шум от работающих механизмов (редукторов, двигателей, насосов.).
2. Вибрация.
3. Недостаточное освещение в темное время суток.

4. Вредные примеси в воздухе (попутный газ, паров аммиака сероводорода, нафталиновая фракция.).

5. Низкая температура зимой.

#### **4.2 Промышленная безопасность при эксплуатации комплектной трансформаторной подстанции установленной в цеху.**

Для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала КТПН 10/0,4 кВ должно удовлетворять следующим требованиям:

1. КТПН с установленным в ней оборудованием и аппаратами должна соответствовать действующим требованиям согласно ПУЭ.

2. Кабельные каналы закрываются съемными несгораемыми плитами и содержатся в чистоте.

3. Токоведущие части закрываются сплошными ограждениями.

4. Токоведущие части коммутационной аппаратуры должны быть защищены от случайных прикосновений.

5. На дверях вывешиваются предупреждающие плакаты: «КТПН 10/0,4 кВ», «Опасно для жизни», «Посторонним вход воспрещен» и т. д.

6. На всех ключах, кнопках и рукоятках управления имеются диспетчерские наименования, указывающие операцию, для которых они предназначены.

7. Осмотр, и чистка КТПН от пыли и загрязнения производится не реже одного раза в три месяца.

8. Основными мерами защиты от поражения электрическим током является: обеспечения недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением; устранение опасности поражения при появлении напряжения на корпусах и других частях электрооборудования, что достигается использованием двойной изоляции, защитным заземлением, занулением, защитным отключением; применение средств индивидуальной защиты — изолирующие штанги, указатели напряжения, измерительные клещи, диэлектрические перчатки, диэлектрические боты, и т.п.

#### **4.3 Расчет защитного заземления.**

Заземление, устраиваемое с целью обеспечения безопасности, представляет собой преднамеренное соединение с землей металлических частей электрической

установки, в нормальных условиях не находящихся под напряжением, при помощи заземляющих проводников и заземлителей.

Назначение защитного заземления заключается в создании между металлическими конструкциями или корпусом защищаемого устройства и землей электрического соединения достаточно малого сопротивления.

В установках 380/220В с заземленной нейтралью трансформаторов применяем систему заземления, при которой заземленные проводники соединяются с заземленной нейтралью. Наличие такого соединения превращает замыкание токоведущих частей на заземленные части установки в короткое замыкание, вследствие чего происходит отключение аварийного участка автоматом или предохранителем ГОСТ 12.1.030-81.

Из всего сказанного выше следует, что целью устройства защитных заземлений является:

а) в установках с изолированной нейтралью – обеспечение безопасной величины тока, протекающего через тело человека при замыканиях фазы сети на заземленные участки;

б) в установках с заземленной нейтралью – обеспечение возможности автоматического отключения дефектных участков сети при тех же замыканиях.

Согласно ПУЭ 1-7-32 в электроустановках без компенсации емкостных токов сопротивление заземляющего устройства при протекании расчетного тока замыкания на землю в любое время года должно быть при одновременном использовании для электроустановок напряжением до 1000 В не более  $R < 125 / J$  (Ом), где  $J$  – ток замыкания на землю, сопротивление должно быть не более 4 (Ом) ПУЭ 1-7-38.

Для защиты ТП применимо контурное заземление.

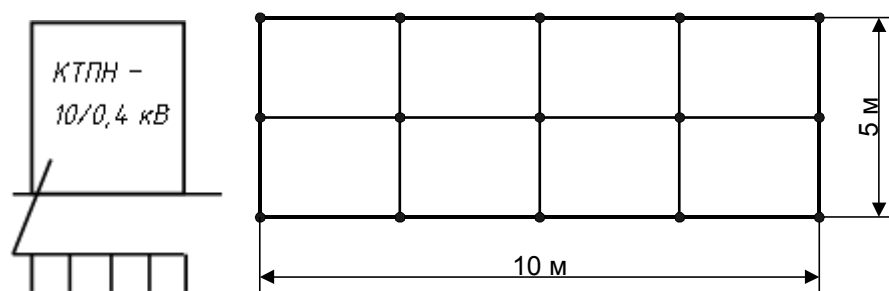


Рисунок 14 – Контур заземления

Для выравнивания потенциала внутри контура прокладывают горизонтальные полосы. Чтобы уменьшить шаговое напряжение за пределами контура, вдоль проходов в грунт закладывают специальные шины.

Длина кабельных линий со стороны 10 кВ :  $L = 100$  м; грунт-суглинок; Руд = 100 Ом/м.

Измерения проводились при средней влажности грунта  $Y_2=1.5$ .

В качестве вертикальных заземлителей принимаем стальные стержни диаметром 16 мм и длиной 2.5 м. В качестве соединительной полосы стальная шина сечением 40х4 мм.

1. Расчетный ток замыкания на землю со стороны 10 кВ (фазный):

$$I_3 = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (35 \cdot L_K + L_B)}{350} = \frac{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 35 \cdot 0,1}{350} = 0,173 \text{ (А)}$$

Сопротивление заземляющего устройства принимаем  $R_3 = 4$  Ом.

2. Рассчитываем удельное сопротивление грунта:

$$\rho_{расч.} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ (Ом} \cdot \text{м)}$$

3. Сопротивление естественного заземления:  $R_E = 6$  Ом, это сопротивление оболочки кабеля.

4. Сопротивление искусственного заземлителя должно быть:

$$R_{II} = \frac{R_E \cdot R_3}{R_E - R_3} = \frac{6 \cdot 10}{6 - 10} = 12 \text{ (Ом)}$$

5. Сопротивление одиночного вертикального заземлителя:

$$R_{ст.од} = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot L}{d} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot H + L}{5 \cdot H - L} \right) =$$

$$= \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 2,5}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2 + 2,5}{5 \cdot 2 - 2,5} \right) = 56 \text{ (Ом)}$$

6. Длина соединительной полосы равна периметру прямоугольника 10 х 5 м, т.е. 30 м.

Вертикальные стержни размещаются через каждые 2,5 м, всего 12 стержней. Сопротивление соединительной полосы:

$$R_{II} = \frac{\rho_{II}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot H} = \frac{2 \cdot 100}{2 \cdot 3,14 \cdot 30} \cdot \ln \frac{2 \cdot 30^2}{0,04 \cdot 0,8} = 11,6 \text{ (Ом)}$$

1. С учетом коэффициента использования соединительной полосы:

$$r_{II} = 0,32$$



$$R_{ПК} = \frac{R_{II}}{r_{II}} = \frac{11,6}{0,32} = 36 \quad (Ом)$$

2. Требуемое сопротивление растеканию вертикальных стержней:

$$R_{СТ} = \frac{R_{ПК} \cdot R_{II}}{R_{ПК} - R_{II}} = \frac{36 \cdot 12}{36 - 12} = 18 \quad (Ом)$$

3. Окончательно определяется число вертикальных стержней. Принимая предварительно их число равным 12, длину 2.5 м, расстояние между ними 2.5 м, находим коэффициент использования:

$$R_{СТ} = 0,52$$

$$n = \frac{R_{СТ.од.}}{R_{СТ} \cdot r_{СТ}} = \frac{56}{0,52 \cdot 18} = 6$$

Окончательно принимаем к установке 6 вертикальных электродов расположенных по контуру ТП.

#### 4.4 Производственная санитария

Под гигиеной труда принято понимать отрасль науки, изучающей влияние трудовой деятельности и производственной деятельности (среды) на организм работающего персонала.

Опасные и вредные производственные факторы, неблагоприятно действующие на человеческий организм в производственных условиях, в соответствии с ГОСТ 12.0.003 - 82 подразделяются на группы: физическая, химическая, биологическая, психофизиологическая.

##### 4.4.1 Микроклимат

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- Температура воздуха  $t$ , °С
- Относительной влажностью  $Y$ , %
- Скоростью движения ветра  $U$ , м/с

Под оптимальными микроклиматическими параметрами следует понимать такие, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционирования и теплового состояния организма, создают ощущение теплового комфорта и являются предпосылкой

высокого уровня работоспособности. Для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне. Все работы на данном объекте проводятся на открытом воздухе, что ведёт к следующим условиям:

- Все рабочие должны быть обеспечены спецодеждой тип которой зависит от характера работ и климатических условий;
- Запрещается проведение работ при ненормальных метеорологических условиях (сильный дождь, ветер, гроза);
- Необходимо обеспечить правильное чередование труда и отдыха;
- Место для отдыха должно быть организовано в соответствии с климатическими условиями, в которых проводятся работы.

#### **4.4.2 Шум**

Шум наносит большой ущерб, вредно действует на организм человека и снижает производительность труда. Утомление рабочих из-за сильного шума увеличивает число ошибок при работе, способствует возникновению травм.

Сильный шум вредно отражается на здоровье и работоспособности людей. Продолжительность действия сильного шума вызывает общее утомление, может привести к ухудшению слуха, а иногда и к глухоте. Сильный шум в условиях производства может способствовать возникновению травматизма, т.к. на фоне этого шума не слышно сигналов транспорта, автопогрузчиков и других механизмов. Таким образом шум вызывает нежелательную реакцию всего организма человека.

При нормировании шума используют два метода: нормирование по предельному спектру шума, нормирование уровня звука в дБЛ. Таким образом, шум на рабочих местах не должен превышать допустимых уровней, значение которых приведены в ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности». Поэтому для работы на данном объекте допустимый уровень звукового давления в активной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц есть 80 дБЛ, а допустимый уровень звука 85 дБЛ. При данном производственном процессе реальный уровень звукового давления превышает нормативный уровень.

Одним из основных методов уменьшения шума на производственных объектах является снижение шума в основных его источниках – в электрических машинах, автотранспорте и т. д.

В механических устройствах часто причинами не допустимого шума являются износ подшипников, неточная сборка деталей при ремонтах и т.п. Поэтому в процессе эксплуатации всех видов машин и механизмов следует точно выполнять все требования Правил технической эксплуатации.

Строительные нормы и правила СНиП 23-03-2003 предусматривают защиту от шума строительными акустическими методами, при этом для снижения уровня шума предусматриваются следующие меры:

- установка в помещениях звукопоглощающих конструкций и экранов;
- звукоизоляция ограждающих конструкций;
- уплотнение по периметру притворов окон, дверей;
- звукоизоляция мест пересечения ограждающих конструкций с инженерными конструкциями;
- устройство звукоизолированных кабин наблюдения и дистанционного управления технологическим процессом;
- укрытия в кожухи источников шума.

В качестве индивидуальных средств защиты от шума на данном объекте используют специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощении звука.

#### **4.5 Защита от электромагнитных полей.**

В КТПН множество источников электромагнитных полей (высоко- и низковольтные кабели, шины, катушки магнитных пускателей, трансформаторы тока и напряжения, а так же силовые и т. д.).

Согласно ГОСТ 12.1.002.-75 допустимые уровни напряженности и длительность пребывания работающих без средств защиты в электрическом поле таковы:

5кВ/м –без ограничений

от 5 кВ/м до 10 кВ/м – не более 3,5 часов

от 10 кВ/м до 15 кВ/м – не более 1,5 часа

от 15кВ/м до 20кВ/м – не более 10 минут

от 20 кВ/м до 25кВ/м – 5 минут

Защита от воздействия электромагнитных полей промышленной частоты осуществляется экранированием источников.

Трансформаторы (активная часть) - помещена в металлический маслonaполненный бак, вся коммутационная аппаратура устанавливается в металлических шкафах.

#### **4.6Производственное освещение.**

Производственное рациональное освещение территории предприятия, производственных помещений и рабочих мест имеет весьма важное гигиеническое значение. Оно обеспечивает труд, делает движение рабочего уравновешенными, снижает опасность травматизма. Недостаточная или неправильная освещенность территории, дорог, установок, лестниц может привести к падению рабочих и к несчастным случаям.

Освещение производственных объектов может быть естественным и искусственным. Естественное освещение бывает боковое (оно в стеклах), верхнее, комбинированное (световые фонари и окна).

##### **4.6.1 Искусственное освещение газоразрядными лампами, лампами накаливания.**

В промышленности широко применяются лампы накаливания, так как только они выпускаются во взрывозащищённом исполнении светильников. Искусственное освещение производственных помещений может быть общим, местным и комбинированным. При системе местного освещения, (может быть постоянным и временным) светильники устанавливаются непосредственно на рабочих местах.

На объектах промышленности широко применяется прожекторное освещение.

Аварийное освещение на производственных объектах должно быть рассчитано на напряжение электрического тока 12 В.

Нормы общей минимальной освещенности в люкс (ЛК) производственных объектов:

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| • двигателя , станки                                                               | 13 |
| • лебёдка                                                                          | 15 |
| • подъемная мачта                                                                  | 2  |
| • приемные мостики                                                                 | 13 |
| • шкафы контрольно-измерительных приборов<br>в помещениях и на наружных установках | 50 |
| • трапы, газовые сепараторы                                                        | 20 |
| • эстакады                                                                         | 5  |
| • механические мастерские                                                          | 50 |

В нашем случае КТПН имеет только искусственное освещение, которое выполнено лампами накаливания и согласно нормам СП52.1330.2011 актуализированный СНиП 23-05-95 освещенность для работ с малой точностью с наименьшим объектом различения от 1 до 5 мм должна составлять  $E_n = 150$  ЛК.

#### **4.7 Пожарная безопасность**

Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в применяемом электрооборудовании горючих изоляционных материалов. Горючей является изоляция обмоток электрических машин, трансформаторов, различных электромагнитов (контакты реле, контрольно-измерительные приборы), а так же электронагревательные приборы.

Всевозможные лаки, компаунды, масла, битумы, канифоль, сера и ряд других электроизоляционных и конструктивных материалов, которые являются горючими и пожароопасными. В случаях значительных перегрузок проводников, и особенно, при прохождении токов К.З, температура изоляции возрастает настолько, что материал разлагается с выделением, горючих паров и газов, что и бывает причиной возгорания.

Большую опасность возникновения пожара представляют маслонаполненные аппараты: трансформаторы, кабели с бумажной изоляцией пропитанные маслоканифолевым составом.

В электроснабжении рассматриваемого объекта последние не применяются, а используются кабели с полихлорвиниловой изоляцией. В силовых трансформаторных с масляным охлаждением имеется возможность межвиткового К.З, в результате которого в витке возникает настолько большой ток, что изоляция быстро разлагается с выделением горючих газов.

Учитывая пожарную опасность электроустановок. ПУЭ устанавливает ряд специальных требований к электрооборудованию при проектировании и монтаже. Кроме того, в соответствии с федеральным законом от 22.07.08 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», и взрывопожарной опасностях делятся на различные категории. Поскольку в КТПН установлены трансформаторы с масляным охлаждением, то помещение КТПН можно отнести к категории „В” - пожароопасные, в которых применяются жидкости с температурой вспышки выше 1<sup>0</sup>С способны только гореть, но не взрываться при контакте с воздухом, водой или друг с другом.

Ответственность за соблюдения необходимого противопожарного режима и современное выполнение противопожарных мероприятий возлагается на руководителя предприятия и начальников цехов. Руководители предприятия обязаны обеспечить полное своевременное выполнение правил пожарной безопасности и противопожарных требования строительных норм при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов; организовать на предприятии пожарную охрану, добровольную пожарную дружину и пожарно-техническую комиссию и руководить ими.

Для каждого предприятия на основе типовых правил пожарной безопасности для промышленных предприятий (утвержденных ГУПО МВД СССР 21августа 1976 года) разрабатываются обще объектовые и цеховые противопожарные инструкции.

В этих инструкциях должны быть определены основные требования пожарной безопасности для данного участка производства.

Устанавливается также порядок вызова пожарной охраны на случай возникновения пожара. Для проведения профилактической работы необходимо осуществлять соответствующие мероприятия направленные на снижение пожарной опасности.

Для правильного выбора электрооборудования необходимо определить класс зоны пожарной опасности, в которой оно устанавливается.

По ПУЭ, рассматриваемый объект можно отнести к зоне класса Р1. Это зона в которой содержатся горючие жидкости (трансформаторное масло).

Поэтому согласно [6] применяемое электрооборудование должно иметь степень защиты IP44.

### **Средства пожаротушения**

Для тушения пожара широко применяются различные химические средства, выбрасываемые в очаг пожара с помощью огнетушителей.

Например: углекислотные огнетушители типов ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8 и другие, предназначенные для тушения возгорания различных материалов и электроустановок. Согласно ПУЭ при сдаче в эксплуатацию в КТПН должны быть обеспечены противопожарными средствами и инвентарём.

Поэтому устанавливается в помещении РУ-0,4 кВ пожарный инвентарь в который входит [11]:

- ручные углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5;
- ящик с песком 3м<sup>3</sup> – 1шт.;
- асбест 2 х 1,5м – 1шт.;
- ведро – 2 шт.;
- лопата – 2шт.;
- багор – 1 шт.

В пожарную профилактику при проектировании и строительстве промышленных предприятий и строительстве промышленных предприятия входят такие мероприятия:

- группирования в отдельные комплексы объектов, родственных, по фундаментальному назначению и признаку пожарной опасности с учётом рельефа местности;
- устройство противопожарных резервуаров и преград;
- предусмотренные пути эвакуации людей на случай пожара;
- удаление дыма с помещений при пожаре;
- повышение огнестойкости зданий и сооружений путем облицовки или оштукатуривании металлических конструкции.

#### План эвакуации из отделения кристаллизации при пожаре и Ч.С.

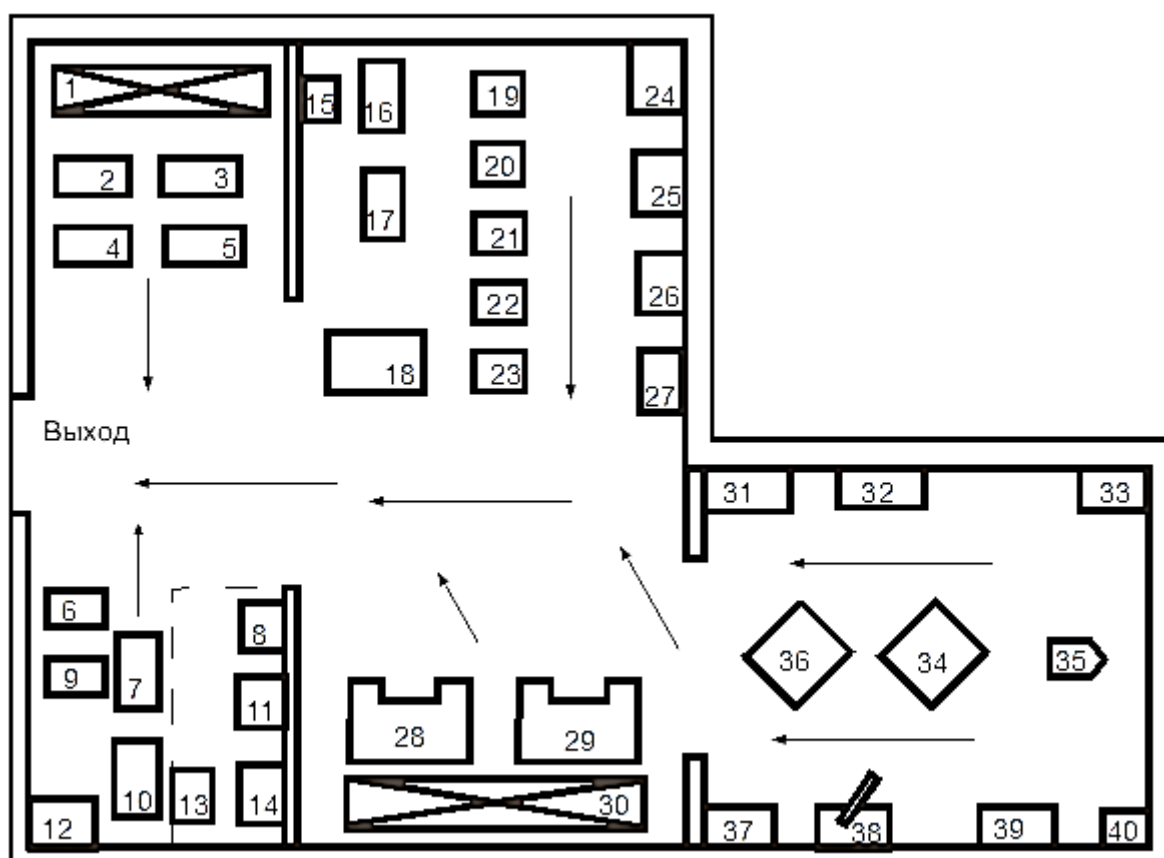


Рисунок 15 – План эвакуации из отделения кристаллизации при пожаре и Ч.С

Условные обозначения:

□□□ – ограждение

→ – направление движения от объектов при эвакуации с территории отделения.



## **4.8 Чрезвычайные ситуации**

Основные причины возникновения чрезвычайных ситуаций:

1. Результат стихийных бедствий.
2. Воздействие внешних природных факторов приводящих к старению материалов.
3. Техничко-производственные дефекты сооружений.
4. Нарушение правил эксплуатации сооружений и технических процессов.
5. Нарушение правил техники безопасности при ведении работ и во время технологических процессов.

Под устойчивостью работы предприятия в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени понижается его способность производить в этих условиях запланированную продукцию в установленном объёме.

Разработка мероприятий по повышению устойчивости объекта в условиях военного времени:

### **а) Защита рабочих и служащих**

Надежная работа предприятия в условиях военного времени неразрывно связано с защитой рабочих, и служащих и членов их семей от оружия массового поражения, для обеспечения которой в мирное время производятся следующие основные мероприятия: поддержание в постоянной готовности системы оповещения; обеспечения фонда убежищ на объекте, для работающих и противорадиационных укрытий в загородной зоне для отдыхающей смены и членов семей рабочих и служащих; планирование и выполнение подготовительных работ по строительству на объекте быстро возводимых убежищ и ПРУ в загородной зоне; поддержание в готовности защитных сооружений, и организация обслуживания убежищ и укрытий, планирование и подготовка к рассредоточению и эвакуации в загородную зону производственного персонала и членов их семей; накопление, хранение и поддержание готовности средств индивидуальной защиты; обучение рабочих и служащих способам защиты от ОМП и действиям по сигналам оповещения ГО.

б) Повышение устойчивости инженерно-технического комплекса объекта к ударной волне. От устойчивости зданий и сооружений зависит в основном устойчивость всего объекта. Целесообразным пределом повышения устойчивости зданий и сооружений к воздействию ударной волны считается такой, при котором полученные предприятием разрушения дают возможность его оправданного восстановления. Вместе с тем стремиться повысить устойчивость всех зданий и сооружений не следует, так как это связано с большими материальными затратами, которые не всегда будут оправданы. Главным образом следует повышать прочность наиболее важных элементов производства от которых зависит работа всего предприятия, но устойчивость которых ниже общего предела устойчивости.

Повышение устойчивости зданий и сооружений достигается устройством каркасов, рам, подносов, контрфорсов, опор для уменьшения пролета несущих конструкций, а также применению более плотных материалов.

### **Защита технологического оборудования**

Надежно защитить всё технологическое оборудования от воздействия ударной волны практически невозможно, так как доводить прочность зданий цехов до защитных свойств убежищ экономически нецелесообразно. Защита оборудования необходима если: защищаемое оборудование способно при разрушении остальной части предприятия выпускать особо важную продукцию; защищаемое оборудование трудно восстанавливается, а при поражении данного объекта предусматривается использования этого оборудования на других предприятиях; защищаемое оборудование уникально и его необходимо сохранить для дальнейшего использования.

## **4.9 Повышение надежности снабжения электроэнергией, паром и водой.**

Для современных предприятий характерно большое количество коммуникаций для подачи воды, пара, электроэнергии, газа, которые расположены открыто на высоких эстакадах или наружных стенах здания, что обеспечивает их регулярный осмотр и ремонт.

Повышение надежности электроснабжения добиваются использованием нескольких источников питания, а также применением секционирования на различных объектах служащих для передачи электроэнергии.

Помещение РУ-10кВ подстанции 110/10 кВ является особо опасным по степени опасности поражения людей электрическим током.

Помещение РУ-10кВ имеет несколько условий повышенной опасности:

- 1) токопроводящие полы (металлические);
- 2) возможность одновременного прикосновения человека имеющим соединения с землей металлоконструкциям зданий и т. п. с одной стороны и металлическим корпусом электрооборудования с другой;

### **Охрана окружающей среды**

Химическая промышленность остается потенциально опасной по загрязнению окружающей среды и ее отдельных объектов. Возможно воздействие их на основные компоненты окружающей среды (воздух, воду, почву, растительный, животный мир и человека) обусловлено токсичностью природных углеводородов, их спутников, большим разнообразием химических веществ, используемых в технологических процессах, их подготовке, транспортировке, хранении и переработке.

Неблагоприятное воздействие химикатов на почву может оказать пагубное влияние на человека через пищевые цепи.

К основным мероприятиям по уменьшению загрязнения воздушного бассейна относятся: правильный выбор материалов для оборудования, трубопроводов, арматуры, средств КИПиА, работающих в кислых средах, герметизация системы, транспортировки и промысловой подготовки; применение систем автоматических блокировок и аварийной остановки, обеспечивающих отключение оборудования и установок при нарушении технологического режима без разгерметизации системы; применение закрытой факельной системы для ликвидации выбросов сероводородов при продувке, трубопроводов, при ремонте технологических установок и т. п. с последующим сжиганием его в факелах. В настоящее время в нашей стране разработаны и успешно эксплуатируются

различные системы улавливания паров, образующихся в резервуарах. Помимо высокой экономической целесообразности этих систем, сохраняющих огромное количество дорогостоящих углеводородов, они имеют исключительное природоохранное значение.

## Заключение

В работе произведен полный расчет электроснабжения кузнечного цеха завода электротехнической промышленности.

По техническим соображениям выбрано напряжение питающей сети 35 кВ. Электроснабжение завода электротехнической промышленности осуществляется от подстанции энергосистемы по двум воздушным ЛЭП-35кВ, выполненным проводом АС-50 на металлических двух цепных опорах.

По расчетным электрическим нагрузкам произведен выбор числа и мощности трансформаторов ГПП и трансформаторов цеховых ТП. На ГПП установлены два двух обмоточных трансформатора марки ТМ – 4000 35/10. ГПП располагается на территории предприятия со смещением от центра электрических нагрузок в сторону источника питания. В цехах установлено шесть трансформаторов  $S_{\text{ном Т}}=630\text{кВА}$  и четыре трансформатора  $S_{\text{ном Т}}=250\text{кВА}$ .

Более детально рассмотрен расчет кузнечного цеха. В цехе установлена двухтрансформаторная ТП-1, питание которой осуществляется кабельной линией марки АПвП-1(3х50), проложенной в траншее.

Приемники цеха распределены по пунктам питания: силовым распределительным шкафам серии ПР8503. Принята радиальная схема питающей сети. Были определены расчетные нагрузки цеха по пунктам питания, выбраны кабели и защитные аппараты.

Произведен расчет питающей и распределительной сети по условиям допустимой потери напряжения. Произведен расчет токов короткого замыкания для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприёмника цеха и построена карта селективности действия аппаратов защиты.

## **Список использованных источников**

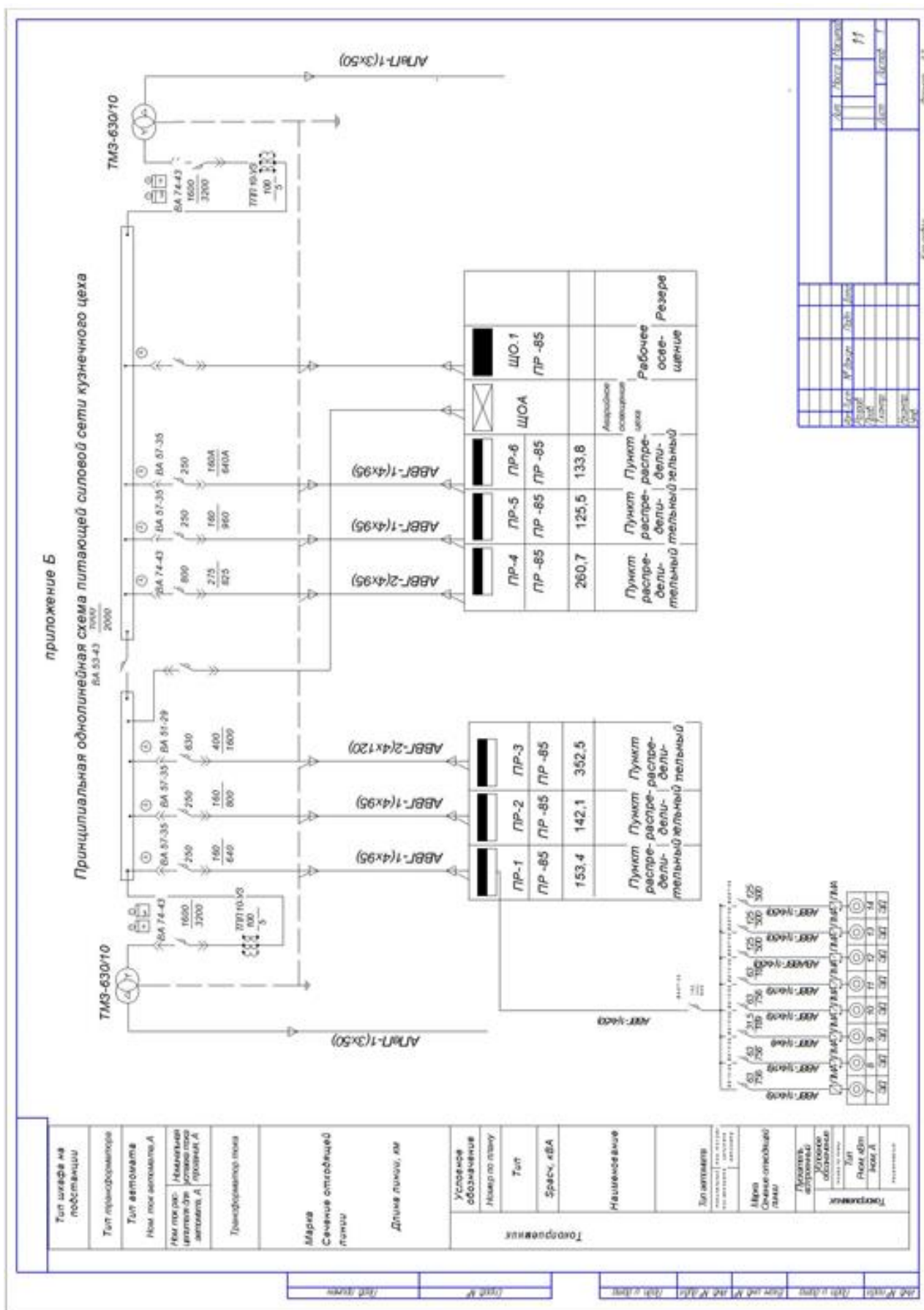
1. Справочник по проектированию электроснабжения/под ред. Ю.Г. Барыбина и др. - М.: Энер-гоатоиздат. 1990. - 576 с. - (Электроустановки промышленных предприятий/Под общ.ред. Ю.Н. Тищенко и др.)
2. Барченко Т.Н., Закиров Р.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие к курсовому проекту. Томск, изд. ТПИ им. С.М.Кирова, 1988. - 96 с.
3. Гаврилин А.И., Обухов С.Г., Озга А.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Методические указания к выполнению выпускной работы бакалавра для студентов направления 551700
4. - «Электроэнергетика» - Томск: Изд. ТПУ, 2004. – 112с.
5. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие для техникумов. - М: Энергоатомиздат, 1989. - 528с.: ил.
6. Постников Н.П., Рубашов Г.М. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник для техникумов. - Л.: Стройиздат, Ленингр. Отделение, 1980 -376с., ил
7. Кабышев А.В., Обухов С.Г. Расчет и проектирование систем электроснабжения: Справочные материалы по электрооборудованию: Учеб.пособие / ТПУ. – Томск, 2005. - 168 с.
8. Л.П. Сумарокова, Электроснабжение промышленных предприятий. Учеб. Пособие. - Томск: ТПУ, 2012. – 288 с.
9. Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 646 с.
10. Видяев И.Г., Серикова Г.Н., Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. - Томск: ТПУ, 2014. – 37 с.
11. Трансформаторы [электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.chebelektra.ru/transformator/tm4000>, свободный. –трансформаторы в системах электроснабжения.

12. Конденсаторные установки [электронный ресурс]. – Режим доступа <http://ekb.propartner.ru/offers/avtomaticheskij-vyklyuchatel-va-51-35m-100a-340010-i1163492.html>, свободный. –Прайс лист конденсаторные установки.

13. Автоматический выключатель [электронный ресурс]. – Режим доступа <http://ekb.propartner.ru/offers/avtomaticheskij-vyklyuchatel-va-51-35m-100a-340010-i1163492.html>, свободный. –Автоматические выключатели в системах электроснабжения.

# Приложение А

## Однолинейная схема цеха





|              |              |             |            |              |
|--------------|--------------|-------------|------------|--------------|
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Вам. инв. № | Инв. № д/л | Подп. и дата |
| Инв. № подл. | Подп. и дата | Вам. инв. № | Инв. № д/л | Подп. и дата |

|      |       |         |
|------|-------|---------|
| Лист | Масса | Масштаб |
| 1    |       |         |