

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение предприятия по выпуску полимерных изделий

Обучающийся

Р.Р. Богданов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д. Л. Спиридонов

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

Тольятти 2022

## **Аннотация**

Для полноценного функционирования завода полимерных изделий необходимо разработать его систему электроснабжения. Поэтому выпускную квалификационную работу (далее -ВКР), направленную на разработку проекта электроснабжения завода полимерных изделий, следует считать достаточно актуальной.

На основании выполненных расчетов в рамках ВКР произведен выбор современного электрического оборудования завода полимерных изделий, в том числе электрооборудование ГПП предприятия, включая силовые трансформаторы, а также оборудование цеховых ТП. Выбраны ЛЭП системы электроснабжения завода полимерных изделий.

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, трех разделов основной части, заключения, списка источников информации и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 65 листах формата А4, содержит 25 таблиц и 5 рисунков.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение.....   | 4  |
| 1 Расчет электрических нагрузок предприятия .....   | 5  |
| 1.1 Общая характеристика исследуемого предприятия .....   | 5  |
| 1.2 Расчет электрических нагрузок предприятия.....  | 7  |
| 1.3 Расчет картограммы электрических нагрузок предприятия.....                                    | 11 |
| 2 Разработка проекта электроснабжения предприятия.....  | 14 |
| 2.1 Расчет трансформаторов цеховых ТП и устройств компенсации реактивной мощности .....           | 14 |
| 2.2 Технико-экономическое сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения .....                | 22 |
| 2.3 Выбор кабельных линий распределительных сетей предприятия.....                                | 35 |
| 2.4 Расчет токов короткого замыкания .....  | 38 |
| 2.5 Выбор электрооборудования системы внутреннего электроснабжения завода полимерных изделий..... | 48 |
| 3 Расчет капиталовложений на внедрение проекта системы электроснабжения .....                     | 57 |
| 3.1 Расчет издержек на эксплуатацию системы электроснабжения .....                                | 59 |
| Заключение .....  | 62 |
| Список используемой литературы и используемых источников.....                                     | 64 |

## Введение

Актуальность ВКР заключается в том, что в связи для функционирования нового завода полимерных изделий необходимо разработать проект его СЭС.

Объектом исследования является завод полимерных изделий.

Предметом исследования является СЭС завода полимерных изделий.

Цель работы – разработать проект СЭС завода полимерных изделий.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- привести общую характеристику исследуемого завода полимерных изделий;
- рассчитать электрические нагрузки завода полимерных изделий;
- рассчитать картограмму электрических нагрузок завода полимерных изделий;
- рассчитать трансформаторов цеховых ТП и устройств компенсации реактивной мощности
- провести технико-экономическое сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения;
- выбрать кабельные линии распределительных сетей завода полимерных изделий;
- рассчитать токи КЗ;
- выбрать электрооборудование системы внутреннего электроснабжения завода полимерных изделий;
- рассчитать капиталовложения на внедрение проекта системы электроснабжения и издержки на эксплуатацию системы электроснабжения.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения результатов работы для разработки рабочего проекта СЭС как целых промышленных предприятий, так и отдельных цехов.

# 1 Расчет электрических нагрузок предприятия

## 1.1 Общая характеристика исследуемого предприятия

В данной ВКР рассматривается завод полимерных изделий.

План предприятия приведён на рисунке 1.

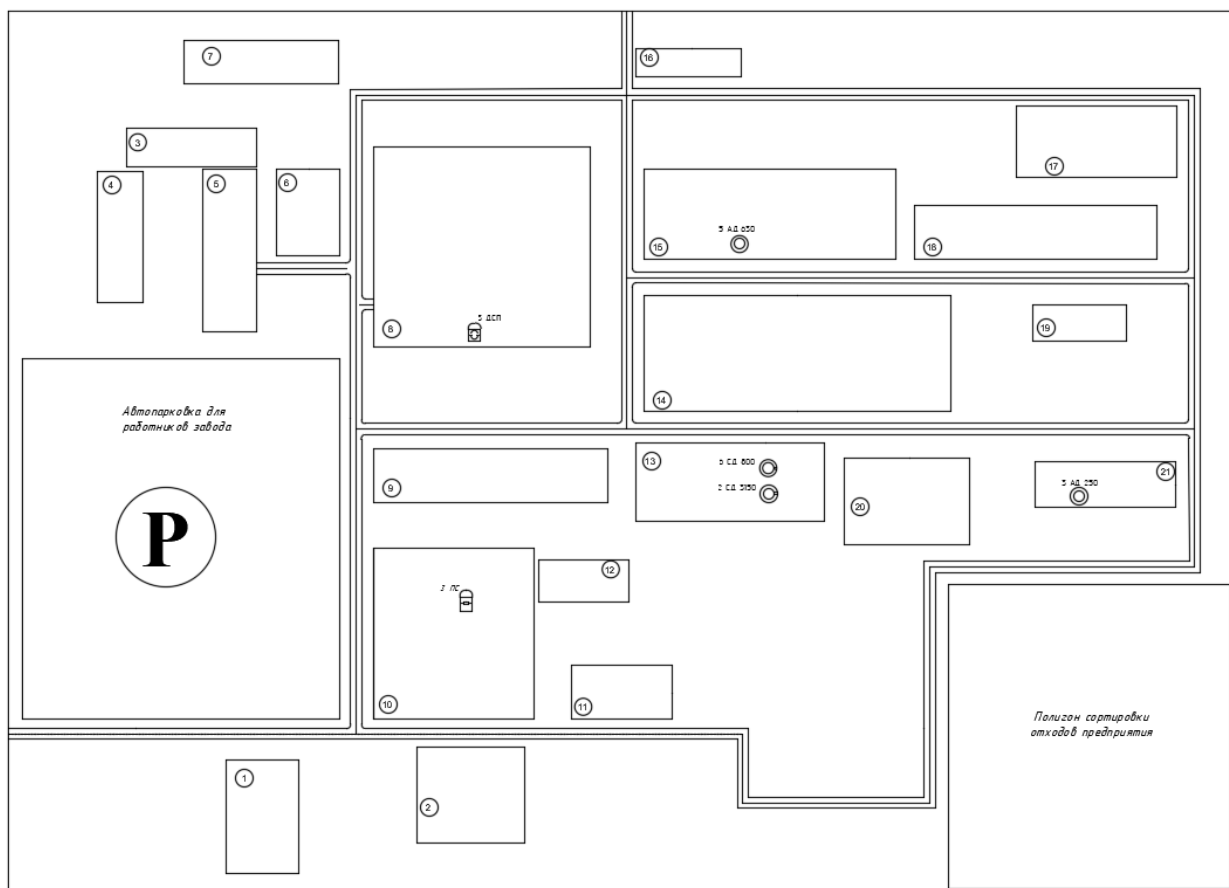


Рисунок 1 – План предприятия

По надежности электроснабжения потребители завода относятся к I, II и III категориям. Распределение цехов по категориям представлено в таблице 1. Номера цехов на плане предприятия (рисунок 1) соответствуют номерам цехов в таблице 1.

Таблица 1 – Цеха предприятия

| № на плане | Цех                                   | пэ | Р <sub>Σ</sub> , кВт | КиА  | cosφ | Категория |
|------------|---------------------------------------|----|----------------------|------|------|-----------|
| 1          | Производственный комплекс             | 15 | 1400                 | 0,72 | 0,70 | II        |
| 2          | Калибровочный цех                     | 22 | 1550                 | 0,68 | 0,72 | II        |
| 3          | Котельная                             | 30 | 220                  | 0,30 | 0,60 | II        |
| 4          | Заводоуправление                      | 20 | 100                  | 0,30 | 0,65 | II        |
| 5          | Компрессорная                         | 20 | 300                  | 0,40 | 0,65 | II        |
| 6          | Склад химически активных веществ      | 15 | 120                  | 0,25 | 0,65 | I         |
| 7          | Гараж                                 | 10 | 100                  | 0,30 | 0,65 | III       |
| 8          | Производственный цех №1               | 62 | 1950                 | 0,65 | 0,68 | II        |
| 9          | РМЦ                                   | 14 | 610                  | 0,41 | 0,76 | III       |
| 10         | Отделение подготовки полимеров        | 65 | 1750                 | 0,72 | 0,80 | II        |
| 11         | Основной склад                        | 10 | 120                  | 0,30 | 0,70 | III       |
| 12         | Столовая                              | 8  | 120                  | 0,50 | 0,75 | III       |
| 13         | Воздуходувная станция                 | 10 | 80                   | 0,80 | 0,65 | I         |
| 14         | Отделение вторичного дробления        | 55 | 1450                 | 0,70 | 0,68 | II        |
| 15         | Очистные сооружения                   | 10 | 380                  | 0,85 | 0,75 | II        |
| 16         | Проходная                             | 5  | 120                  | 0,30 | 0,70 | III       |
| 17         | Лаборатория                           | 10 | 850                  | 0,75 | 0,72 | II        |
| 18         | Производство специальных мед. изделий | 32 | 1150                 | 0,75 | 0,75 | II        |
| 19         | Кислородная                           | 3  | 325                  | 0,55 | 0,78 | II        |
| 20         | АБК                                   | 20 | 100                  | 0,65 | 0,65 | III       |
| 21         | Насосная                              | 18 | 1550                 | 0,80 | 0,85 | I         |

Как видно из таблицы 1 основными цехами рассматриваемого завода являются производственный цех №1, Отделение подготовки полимеров, отделение вторичного дробления, Производство специальных мед. изделий, Производственный комплекс.

Завод полимерных изделий планируется подключить от ПС 220/110/35/10 кВ. Мощность КЗ на СШ 110 кВ ПС 220/110/35/10 кВ составляет 2200 МВА, на сборных шинах 110 кВ ПС 220/110/35/10 кВ составляет 950 МВА.

Расстояние от завода полимерных изделий до ПС 220/110/35/10 кВ составляет 1,9 км. Состояние окружающей среды на территории предприятия приемлемое.

## 1.2 Расчет электрических нагрузок предприятия

Коэффициент использования принимается согласно [4], «коэффициент расчетной нагрузки по активной мощности получается из справочных таблиц в зависимости от эффективного числа потребителей электроэнергии ( $n_{\text{э}}$ ) и  $K_{\text{ра}}$ . Низковольтные и высоковольтные потребители электроэнергии необходимо рассчитывать отдельно» [4].

Для каждого цеха находится средняя нагрузка [4]:

$$P_C = n \cdot K_{\text{ИА}} \cdot P_{\text{НОМ}}, \quad (1)$$

$$Q_C = n \cdot K_{\text{ИА}} \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2)$$

где  $K_{\text{ИА}}$  – коэффициент использования.

«Расчет необходимо начинать с расчета низковольтных ЭН по цехам, то есть требуется определить расчетную мощность на СШ 0,4 кВ ЦТП. Коэффициенты использования цехов принимаются по [1]. Расчетные активная и реактивная мощности определяются по выражениям (1.3) и (1.4) соответственно» [4].

Расчетные мощности для системы третьего уровня рассчитываются по выражениям [4]:

$$P_P = K_{\text{РА}} \cdot \sum_{i=0}^n k_{\text{ИА}i} \cdot p_{\text{НОМ}i}, \quad (3)$$

$$Q_P = K_{\text{РА}} \cdot \sum_{i=0}^n k_{\text{ИА}i} \cdot p_{\text{НОМ}i} \cdot \text{tg}\varphi_i, \quad (4)$$

где  $K_{\text{РА}}$  – коэффициент,  $K_{\text{РА}} = f(n_{\text{э}}, K_{\text{ИА}})$ .

«Расчетная осветительная активная и реактивная ЭН цеха

рассчитывается по формулам (1.7) и (1.8) соответственно, после чего определяется полная нагрузка цеха  $S_p$  [16].

$$P_{\text{РОСВ}} = K_{\text{СОСВ}} \cdot P_{\text{УОСВ}} \cdot F_{\text{Ц}}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{СОСВ}}$  – коэффициент спроса системы освещения;

$P_{\text{УОСВ}}$  – удельная мощность электроосвещения на  $1 \text{ м}^2$ , Вт;

$F_{\text{Ц}}$  – площадь цеха,  $\text{м}^2$ .

Для цеха РМЦ

$$P_{\text{РОСВ}} = 0,9 \cdot 15 \cdot 2540 = 34290 \text{ Вт} = 34 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность электроосвещения

$$Q_{\text{РОСВ}} = P_{\text{РОСВ}} \cdot \text{tg}\varphi_{\text{ОСВ}}. \quad (6)$$

Для цеха РМЦ

$$Q_{\text{РОСВ}} = 34,28 \cdot 0,75 = 26 \text{ квар.}$$

Величину полной расчетной нагрузки найдем как:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

Расчетные мощности всего завода будут рассчитаны позднее, после выбора ЦТП и определения потерь в силовых трансформаторах данных ЦТП. Все расчеты сведены в таблицу 2.



Таблица 2 – Результаты расчета нагрузок завода полимерных изделий

| № цеха | Наименование цехов и электродвигателей | пЭ | $P_{\Sigma}$ , кВт | $K_{ИА}$ | $\cos \varphi$ | $\operatorname{tg} \varphi$ | $P_C$ , кВт | $Q_C$ , кват | $K_{РА}$ | $P_P$ , кВт | $Q_P$ , кват | $F_{Ц}$ , м <sup>2</sup> | $P_{уд}$ , кВт/м <sup>2</sup> | $K_{СО}$ | $\cos \varphi_0$ | $\operatorname{tg} \varphi_0$ | $P_{PO}$ , кВт | $Q_{PO}$ , кват | $P_P+P_{PO}$ , кВт | $Q_P+Q_{PO}$ , кват | $S_P$ , кВА |
|--------|--|----|--------------------|----------|----------------|-----------------------------|-------------|--------------|----------|-------------|--------------|--------------------------|-------------------------------|----------|------------------|-------------------------------|----------------|-----------------|--------------------|---------------------|-------------|
| 1      | 2                                      | 3  | 4                  | 5        | 6              | 7                           | 8           | 9            | 10       | 11          | 12           | 13                       | 14                            | 15       | 16               | 17                            | 18             | 19              | 20                 | 21                  | 22          |
|        | Низковольтная нагрузка                 |    |                    |          |                |                             |             |              |          |             |              |                          |                               |          |                  |                               |                |                 |                    |                     |             |
| 1      | Пр. комплекс                           | 15 | 1400               | 0,72     | 0,70           | 1,02                        | 1008        | 1028         | 0,90     | 907         | 926          | 2100                     | 0,015                         | 0,80     | 0,85             | 0,62                          | 25             | 16              | 932                | 941                 | 1325        |
| 2      | Калибровочный цех                      | 22 | 1550               | 0,68     | 0,72           | 0,96                        | 1054        | 1016         | 0,90     | 949         | 914          | 1800                     | 0,015                         | 0,80     | 0,85             | 0,62                          | 22             | 13              | 970                | 928                 | 1342        |
| 3      | Котельная                              | 30 | 220                | 0,30     | 0,60           | 1,33                        | 66          | 88           | 0,75     | 50          | 66           | 1100                     | 0,020                         | 0,75     | 0,75             | 0,88                          | 17             | 15              | 66                 | 81                  | 104         |
| 4      | Заводоуправление                       | 20 | 100                | 0,30     | 0,65           | 1,17                        | 30          | 35           | 0,75     | 23          | 26           | 1800                     | 0,020                         | 0,85     | 0,75             | 0,88                          | 31             | 27              | 53                 | 53                  | 75          |
| 5      | Компрессорная                          | 20 | 300                | 0,40     | 0,65           | 1,17                        | 120         | 140          | 0,75     | 90          | 105          | 1720                     | 0,010                         | 0,60     | 0,80             | 0,75                          | 10             | 8               | 100                | 113                 | 151         |
| 6      | Склад химически активных веществ       | 15 | 120                | 0,25     | 0,65           | 1,17                        | 30          | 35           | 0,82     | 25          | 29           | 1200                     | 0,010                         | 0,60     | 0,80             | 0,75                          | 7              | 5               | 32                 | 34                  | 47          |
| 7      | Гараж                                  | 10 | 100                | 0,30     | 0,65           | 1,17                        | 30          | 35           | 0,90     | 27          | 32           | 900                      | 0,010                         | 0,60     | 0,80             | 0,75                          | 5              | 4               | 32                 | 36                  | 48          |
| 8      | Производственный цех №1                | 62 | 1950               | 0,65     | 0,68           | 1,08                        | 1268        | 1367         | 0,80     | 1014        | 1093         | 6000                     | 0,015                         | 0,90     | 0,70             | 1,02                          | 81             | 83              | 1095               | 1176                | 1607        |
| 9      | РМЦ                                    | 14 | 610                | 0,41     | 0,76           | 0,86                        | 250         | 214          | 0,85     | 212         | 182          | 2540                     | 0,015                         | 0,90     | 0,80             | 0,75                          | 34             | 26              | 247                | 208                 | 323         |
| 10     | Отделение подготовки полимеров         | 65 | 1750               | 0,72     | 0,80           | 0,75                        | 1260        | 945          | 0,80     | 1008        | 756          | 5600                     | 0,015                         | 0,90     | 0,70             | 1,02                          | 76             | 77              | 1084               | 833                 | 1367        |
| 11     | Основной склад                         | 10 | 120                | 0,30     | 0,70           | 1,02                        | 36          | 37           | 0,90     | 32          | 33           | 1150                     | 0,010                         | 0,80     | 0,80             | 0,75                          | 9              | 7               | 42                 | 40                  | 58          |
| 12     | Столовая                               | 8  | 120                | 0,50     | 0,75           | 0,88                        | 60          | 53           | 0,93     | 56          | 49           | 950                      | 0,020                         | 0,85     | 0,80             | 0,75                          | 16             | 12              | 72                 | 61                  | 95          |
| 13     | Воздуходувная станция                  | 10 | 80                 | 0,80     | 0,65           | 1,17                        | 64          | 75           | 0,90     | 58          | 67           | 1900                     | 0,015                         | 0,80     | 0,80             | 0,75                          | 23             | 17              | 80                 | 84                  | 117         |
| 14     | Отделение вторичного дробления         | 55 | 1450               | 0,70     | 0,68           | 1,08                        | 1015        | 1094         | 0,80     | 812         | 876          | 7300                     | 0,015                         | 0,90     | 0,70             | 1,02                          | 99             | 101             | 911                | 976                 | 1335        |
| 15     | Очистные сооружения                    | 10 | 380                | 0,85     | 0,75           | 0,88                        | 323         | 285          | 0,90     | 291         | 256          | 4400                     | 0,010                         | 0,80     | 0,70             | 1,02                          | 35             | 36              | 326                | 292                 | 438         |
| 16     | Проходная                              | 5  | 120                | 0,30     | 0,70           | 1,02                        | 36          | 37           | 1,00     | 36          | 37           | 550                      | 0,015                         | 0,80     | 0,80             | 0,75                          | 7              | 5               | 43                 | 42                  | 60          |

Продолжение таблицы 2

| 1  | 2                                     | 3   | 4     | 5    | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13     | 14    | 15   | 16   | 17   | 18  | 19  | 20    | 21   | 22    |
|----|---------------------------------------|-----|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|------|------|------|-----|-----|-------|------|-------|
| 17 | Лаборатория                           | 10  | 850   | 0,75 | 0,72 | 0,96  | 638   | 614   | 0,90  | 574   | 553   | 1700   | 0,010 | 0,60 | 0,80 | 0,75 | 10  | 8   | 584   | 561  | 810   |
| 18 | Пр. специальных мед. изделий          | 32  | 1150  | 0,75 | 0,75 | 0,88  | 863   | 761   | 0,850 | 733   | 647   | 2200   | 0,010 | 0,80 | 0,80 | 0,75 | 18  | 13  | 751   | 660  | 999   |
| 19 | Кислородная                           | 3   | 325   | 0,55 | 0,78 | 0,80  | 179   | 143   | 1,23  | 220   | 176   | 650    | 0,010 | 0,80 | 0,80 | 0,75 | 5   | 4   | 225   | 180  | 288   |
| 20 | АБК                                   | 20  | 100   | 0,65 | 0,65 | 1,17  | 65    | 76    | 0,90  | 59    | 68    | 4500   | 0,020 | 0,75 | 0,85 | 0,62 | 68  | 42  | 126   | 110  | 167   |
| 21 | Насосная                              | 18  | 1550  | 0,80 | 0,85 | 0,62  | 1240  | 768   | 0,90  | 1116  | 692   | 1300   | 0,015 | 0,80 | 0,85 | 0,62 | 16  | 10  | 1132  | 701  | 1331  |
|    | Освещение территории                  | -   | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | 183500 | 0,002 | 1,00 | 0,70 | 1,02 | 367 | 374 | 367   | 374  | 524   |
|    | Итого (0,4 кВ):                       | 454 | 14345 | 0,67 | 0,74 | 0,92  | 9633  | 8847  | 0,80  | 8290  | 7584  | -      | -     | -    | -    | -    | 979 | 901 | 9269  | 8485 | 12566 |
|    | Высоковольтная нагрузка               | -   | -     | -    | -    | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | -     | -    | -     |
| 13 | Синхронный двигатель 3150кВА, СД 3150 | 2   | 6300  | 0,80 | 0,90 | -0,48 | 5040  | -2441 | 1,00  | 5040  | -2441 | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | -     | -    | -     |
| 13 | Синхронный двигатель 1250кВА, СД 1250 | 2   | 2500  | 0,80 | 0,90 | -0,48 | 2000  | -969  | 1,00  | 2000  | -969  | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | -     | -    | -     |
| 13 | Синхронный двигатель 800кВА, СД 800   | 2   | 1600  | 0,80 | 0,90 | -0,48 | 1280  | -620  | 1,00  | 1280  | -620  | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | -     | -    | -     |
| 13 | Синхронный двигатель 1600кВА, СД 1600 | 2   | 3200  | 0,80 | 0,90 | -0,48 | 2560  | -1240 | 1,00  | 2560  | -1240 | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | -     | -    | -     |
| 21 | Асинхронный двигатель 250кВА, АД 250  | 3   | 750   | 0,80 | 0,77 | 0,83  | 600   | 497   | 1,00  | 600   | 497   | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | -     | -    | -     |
| 15 | Асинхронный двигатель 630кВА, АД 630  | 5   | 3150  | 0,90 | 0,85 | 0,62  | 2835  | 1757  | 1,00  | 2835  | 1757  | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | -     | -    | -     |
|    | Итого (10 кВ):                        | 22  | 27220 | 0,79 | 1,00 | 0,04  | 21605 | 765   | 1,00  | 21605 | 765   | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | 21605 | 765  | 21619 |
|    | Итого по предприятию                  | 476 | 41565 | 0,75 | 0,96 | 0,31  | 31238 | 9612  | 0,99  | 29895 | 8348  | -      | -     | -    | -    | -    | -   | -   | 30874 | 9250 | 32230 |

### 1.3 Расчет картограммы электрических нагрузок предприятия

«Каждая окружность делится на сектора, площади которых пропорциональные расчетным активным ЭН электроприемников напряжением до и выше 1000 В и системы освещения. При этом радиус окружностей и углы секторов для цехов завода равны» [19]:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{Pi}}{\pi \cdot m}}, \quad (10)$$

$$R_i = \sqrt{\frac{932}{\pi \cdot 0,21}} = 37,8 \text{ мм}$$

$$\alpha_{H/B_i} = 360 \cdot \frac{P_{PH/B_i}}{P_{Pi}},$$
$$\alpha_{B/B_i} = 360 \cdot \frac{P_{PB/B_i}}{P_{Pi}}, \quad (11)$$

$$\alpha_{OCB_i} = 360 \cdot \frac{P_{OCB_i}}{P_{Pi}},$$

$$\alpha_{H/B_i} = 360 \cdot \frac{907}{932} = 350,3$$

$$\alpha_{B/B_i} = 360 \cdot \frac{0}{932} = 0$$

$$\alpha_{OCB_i} = 360 \cdot \frac{25}{932} = 9,7$$

где  $P_{Pi}$ ,  $P_{PH/B_i}$ ,  $P_{PB/B_i}$ ,  $P_{OCB_i}$  – величины расчетных активных ЭН «соответственно всего цеха, потребителей электроэнергии напряжением до 1000 В, потребителей электроэнергии напряжением выше 1000 В и электроосвещения, кВт;

$m$  – масштаб, кВт/мм<sup>2</sup>» [19].

Масштаб рассчитывается из условия, что радиус кругов, который соответствует наименьшей расчетной нагрузке равнялся 7 мм. Тогда

$$m = \frac{32}{\pi \cdot 7^2} = 0,21 \text{ кВт/мм}^2.$$

Далее вычисляются радиусы кругов и углы секторов для всех цехов (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты расчета картограммы нагрузок завода полимерных изделий

| Наименование цехов                    | $P_{pi}$ , кВт | $P_{p.ni}$ , кВт | $P_{p.vi}$ , кВт | $P_{p.oi}$ , кВт | $X_i$ , м | $Y_i$ , м | $R_i$ , мм | $\alpha_{ni}$ | $\alpha_{vi}$ | $\alpha_{oi}$ |
|---------------------------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|-----------|-----------|------------|---------------|---------------|---------------|
| 1                                     | 2              | 3                | 4                | 5                | 6         | 7         | 8          | 9             | 10            | 11            |
| Пр.й комплекс                         | 932            | 907              | 0                | 25               | 34        | 60        | 37,8       | 350,3         | 0,0           | 9,7           |
| Калибровочный цех                     | 970            | 949              | 0                | 22               | 100       | 60        | 38,6       | 352,0         | 0,0           | 8,0           |
| Котельная                             | 66             | 50               | 0                | 17               | 126       | 140       | 10,1       | 270,0         | 0,0           | 90,0          |
| Заводоуправление                      | 53             | 23               | 0                | 31               | 70        | 166       | 9,0        | 152,5         | 0,0           | 207,5         |
| Компрессорная                         | 100            | 90               | 0                | 10               | 100       | 240       | 12,4       | 323,0         | 0,0           | 37,0          |
| Склад химически активных веществ      | 32             | 25               | 0                | 7                | 134       | 260       | 7,0        | 278,9         | 0,0           | 81,1          |
| Гараж                                 | 32             | 27               | 0                | 5                | 120       | 320       | 7,0        | 300,0         | 0,0           | 60,0          |
| Производственный цех №1               | 6135           | 1014             | 5040             | 81               | 240       | 190       | 97,0       | 59,5          | 295,7         | 4,8           |
| РМЦ                                   | 247            | 212              | 0                | 34               | 220       | 140       | 19,4       | 309,9         | 0,0           | 50,1          |
| Отделение подготовки полимеров        | 3334           | 1008             | 2250             | 76               | 200       | 90        | 71,5       | 108,9         | 243,0         | 8,2           |
| Основной склад                        | 42             | 32               | 0                | 9                | 244       | 40        | 8,0        | 280,4         | 0,0           | 79,6          |
| Столовая                              | 72             | 56               | 0                | 16               | 294       | 50        | 10,5       | 279,2         | 0,0           | 80,8          |
| Воздуходувная станция                 | 10960          | 58               | 10880            | 23               | 340       | 134       | 129,7      | 1,9           | 357,4         | 0,7           |
| Отделение вторичного дробления        | 911            | 812              | 0                | 99               | 360       | 192       | 37,4       | 321,0         | 0,0           | 39,0          |
| Очистные сооружения                   | 3161           | 291              | 2835             | 35               | 340       | 260       | 69,6       | 33,1          | 322,9         | 4,0           |
| Проходная                             | 43             | 36               | 0                | 7                | 410       | 294       | 8,1        | 304,2         | 0,0           | 55,8          |
| Лаборатория                           | 584            | 574              | 0                | 10               | 490       | 280       | 29,9       | 353,7         | 0,0           | 6,3           |
| Производство специальных мед. изделий | 751            | 733              | 0                | 18               | 470       | 240       | 33,9       | 351,6         | 0,0           | 8,4           |
| Кислородная                           | 225            | 220              | 0                | 5                | 480       | 200       | 18,6       | 351,7         | 0,0           | 8,3           |
| АБК                                   | 126            | 59               | 0                | 68               | 400       | 130       | 13,9       | 167,1         | 0,0           | 192,9         |
| Насосная                              | 1732           | 1116             | 600              | 16               | 480       | 48        | 51,5       | 232,0         | 124,7         | 3,2           |
| Итого:                                | 30507          | 8290             | 21605            | 612              | 300       | 152       | -          | -             | -             | -             |

ГПП необходимо размещать в ЦЭН. ЦЭН завода - это символический центр, координаты которого вычисляются по формулам:

$$x_{ц} = \frac{\sum_{i=0}^n P_{Pi} \cdot x_i}{\sum_{i=0}^n P_{Pi}}, \quad y_{ц} = \frac{\sum_{i=0}^n P_{Pi} \cdot y_i}{\sum_{i=0}^n P_{Pi}}, \quad (12)$$

где  $x_i$ ,  $y_i$  - координаты центра  $i$ -го цеха на генплане завода, м.

Результаты расчета представлены в таблице 3, координаты ЦЭН

$$x_{ц} = 300 \text{ м};$$

$$y_{ц} = 152 \text{ м}.$$

В ЦЭН размещение ГПП 110/10 затруднено. (ЦЭН) находится в районе воздуходувной станции. Поэтому необходимо сместить ГПП в сторону питания. Координаты ГПП:  $X_{гпп} = 360$  м,  $Y_{гпп} = 100$  м.

#### Выводы к разделу 1

В первом разделе ВКП проведен расчет ЭН предприятия. Представлена общая характеристика исследуемого завода полимерных изделий, план предприятия, цеха предприятия. Определена категория цехов предприятия. Приведены данные системы внешнего электроснабжения. Расчет нагрузок проведен для ремонтно-механического цеха предприятия и для всего завода полимерных изделий в целом. Суммарная установленная мощность потребителей предприятия составляет 41565 кВт. В заключительной части главы рассчитана картограмма ЭН и определен ЦЭН. В ЦЭН размещение ГПП 110/10 затруднено. ЦЭН находится в районе воздуходувной станции. Поэтому принято решение сместить ГПП в сторону питания.

## 2 Разработка проекта электроснабжения предприятия

### 2.1 Расчет трансформаторов цеховых ТП и устройств компенсации реактивной мощности

В данной ВКР «предусматривается питание ряда цехов от соседних ЦТП, при этом в данных цехах устанавливаются НРП. При этом установка НРП в цехе выгодна с экономической точки зрения, при выполнении соотношения» [19]:

$$S_p \cdot l \leq 15000 \text{ кВА} \cdot \text{м}, \quad (13)$$

«где  $S_p$  – величина полной расчетной нагрузки цеха, кВА;

$l$  - расстояние от НРП цеха до ЦТП, м» [32].

«Проверка выполнения данного соотношения при установке НРП дана в таблице 4» [19].

Таблица 4 – Обоснование монтажа НРП

| Номер ЦТП | Номер НРП | $S_p \cdot l$ , кВ·А·м |
|-----------|-----------|------------------------|
| 3         | 1         | $129 \cdot 80 = 10320$ |
| 3         | 2         | $100 \cdot 60 = 6000$  |
| 3         | 3         | $72 \cdot 40 = 2880$   |
| 3         | 4         | $73 \cdot 140 = 10220$ |
| 6         | 5         | $83 \cdot 50 = 4150$   |
| 6         | 6         | $119 \cdot 40 = 4760$  |
| 7         | 7         | $142 \cdot 80 = 11360$ |
| 7         | 8         | $192 \cdot 50 = 9600$  |
| 8         | 9         | $85 \cdot 50 = 4250$   |
| 10        | 10        | $313 \cdot 45 = 14085$ |

Единичная мощность трансформаторов вычисляется по выражению

$$S_{HT} \geq \frac{P_p}{K_{зд} \cdot 2}. \quad (14)$$

«Число силовых трансформаторов всех ЦТП в цехе в общем случае равно» [20]:

$$N_0 = \frac{P_p}{K_{зд} \cdot S_{HT}}, \quad (15)$$

«где  $P_p$  - расчетная активная ЭН цеха от низковольтных потребителей, кВт;

$K_{зд}$  - допустимый коэффициент загрузки в нормальном режиме;

$S_{HT}$  - номинальная мощность трансформаторов ЦТП, кВА» [20].

«Принимается ближайшее большее целое число  $N$  трансформаторов» [20], так для цеха обжига

$$S_{HT} \geq \frac{950}{0,7 \cdot 2} = 679 \text{ кВА},$$

принимаются силовые трансформаторы ТМЗ-1000/10/0,4 номинальной мощностью  $S_{HT} = 1000$  МВА.

Аналогично определяются номинальные мощности силовых трансформаторов остальных ТП предприятия. Выбор сведен в таблицу 5.

«Максимальная реактивная мощность  $Q_{1P}$ , которую трансформаторы могут пропустить из электросети 10 кВ в электросеть 0,4 кВ» [17]:

$$Q_{1P} = \sqrt{(n \cdot M \cdot K_{зд} \cdot S_{HT})^2 - P_p^2}, \quad (16)$$

где  $n$  - число трансформаторов ЦТП;

$$Q_{1P} = \sqrt{(2 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 950^2} = 1028 \text{ квар}.$$

«Величина  $Q_{1P}$  является расчетной, в связи с этим в общем случае реактивная ЭН трансформаторов  $Q_1$  не равна ей» [17]:

$$Q_1 = \begin{cases} Q_{1P} & \text{если } Q_{1P} < Q_P, \\ Q_P, & \text{если } Q_{1P} \geq Q_P \end{cases}, \quad (17)$$

где  $Q_P$  - расчетная реактивная ЭН цеха (группы цехов), квар.

«При  $Q_{1P} < Q_P$  трансформаторы ТП не могут пропустить всю реактивную ЭН, и в связи с этим часть ее должна быть скомпенсирована при помощи БК, которые устанавливаются на стороне НН данной ТП. Мощность данных конденсаторов будет равна» [18]:

$$Q_{КУ} = Q_P - Q_l. \quad (18)$$

так как для цеха обжига

$$\begin{aligned} Q_{1P} &> Q_P, \text{ то} \\ Q_1 &= Q_P = 959 \text{ квар,} \\ Q_{КУ} &= 959 - 959 = 0 \text{ квар,} \end{aligned}$$

и установка компенсирующих устройств в ТП1 не требуется.

Коэффициенты загрузки трансформаторов в нормальном и п/ав режимах определяются следующим образом:

$$K_{зТН} = \frac{\sqrt{P_P^2 + Q_l^2}}{n \cdot M \cdot S_{НТ}}, \quad (19)$$

$$K_{зТП} = \frac{\sqrt{P_P^2 + Q_l^2}}{(n - 1) \cdot M \cdot S_{НТ}}. \quad (20)$$



так для цеха обжига

$$K_{3\text{ТН}} = \frac{\sqrt{950^2 + 959^2}}{2 \cdot 1 \cdot 1000} = 0,67,$$
$$K_{3\text{ТП}} = \frac{\sqrt{950^2 + 959^2}}{(2 - 1) \cdot 1 \cdot 1000} = 1,35.$$

«Для определения расчетной ЭН завода требуется знать потери активной и реактивной мощности в трансформаторах ЦТП. Указанные потери найдем следующим образом» [5]:

$$\Delta P_T = N \cdot (\Delta P_{\text{XX}} + K_{3\text{Н}}^2 \cdot \Delta P_{\text{КЗ}}), \quad (21)$$

$$\Delta Q_T = N \cdot \left( \frac{I_{\text{XX}}}{100} \cdot S_{\text{HT}} + K_{3\text{Н}}^2 \cdot \frac{I_{\text{XX}}}{100} \cdot S_{\text{HT}} \right), \quad (22)$$

«где N - количество трансформаторов, которые установлены в цехе (группе цехов);

$\Delta P_{\text{XX}}, \Delta P_{\text{КЗ}}, I_{\text{XX}}, U_{\text{КЗ}}$  - паспортные данные трансформаторов» [5].

$$\Delta P_T = 2 \cdot (2,5 + 0,67^2 \cdot 11) = 15 \text{ кВт};$$
$$\Delta Q_T = 2 \cdot \left( \frac{1,4}{100} \cdot 1000 + 0,67^2 \cdot \frac{5,5}{100} \cdot 1000 \right) = 78 \text{ квар.}$$

Аналогично производится расчет для остальных ТП. Результаты расчетов сведены в таблицу 5.

При выборе трансформаторов осветительная нагрузка территории завода распределяется равномерно между ТП цехов.

Осветительная нагрузка территории равна:

$$P_{\text{P.O.}} = 367 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{P.O.}} = 374 \text{ квар}$$

Для получения величины осветительной нагрузки, приходящейся на каждый цех, необходимо разделить расчётные осветительные нагрузки на количество цехов, ( $n= 21$ ).

$$P_{P.O.i} = P_{P.O.}/n, \quad (23)$$

$$P_{P.O.i} = 367/21 = 17,5 \text{ кВт.}$$

$$Q_{P.O.i} = Q_{P.O.}/n, \quad (24)$$

$$Q_{P.O.i} = 374/21 = 17,8 \text{ квар.}$$

$$S_{o,i} = \sqrt{P_{o,i}^2 + Q_{o,i}^2}, \quad (25)$$

$$S_{o,i} = \sqrt{17,5^2 + 17,8^2} = 25 \text{ кВА.}$$

В данном случае освещение территории также учтено при расчёте экономического обоснования выгоды объединения цехов, т.е. к расчётным нагрузкам всех цехов добавлены  $P_{P.O.i}$  и  $Q_{P.O.i}$ .

«Определим величину рационального напряжения, которую возможно оценить по приближенной формуле Стилла» [13]:

$$U_{РАЦ} = 4,34 \cdot \sqrt{1 + 0,016 \cdot P_{P.П.} / n}, \quad (26)$$

«где  $l$  - длина питающей ГПП ЛЭП, км;

$P_{P.П.}$  - расчетная активная ЭН завода на стороне НН ГПП, кВт;

$n$  - количество ЛЭП, которые питают ГПП» [13].

Таблица 5 – Трансформаторные подстанции

| №цеха | Наименование цехов и узлов СЭС   | К.Н. | Р <sub>р</sub> , кВт | Q <sub>р</sub> , квар | S <sub>р</sub> , кВА | Тип Тр, №ТП | S <sub>НОМТР</sub> , кВА | пт | КзДЛОП | Q <sub>1р</sub> , квар | Q <sub>1</sub> , квар | Q <sub>КУ</sub> , квар | КзТНОРМ | КзТП/АВ | ΔР <sub>ХХ</sub> , кВт | ΔР <sub>КЗ</sub> , кВт | I <sub>ХХ</sub> , % | U <sub>КЗ</sub> , % | ΔР <sub>Т</sub> , кВт | ΔQ <sub>Т</sub> , квар | Р <sub>р</sub> +ΔР <sub>Т</sub> , кВт | Q <sub>1</sub> +ΔQ <sub>Т</sub> , квар | S <sub>р</sub> , кВА |
|-------|----------------------------------|------|----------------------|-----------------------|----------------------|-------------|--------------------------|----|--------|------------------------|-----------------------|------------------------|---------|---------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|--|----------------------|
| 1     | 2                                | 3    | 4                    | 5                     | 6                    | 7           | 8                        | 9  | 10     | 11                     | 12                    | 13                     | 14      | 15      | 16                     | 17                     | 18                  | 19                  | 20                    | 21                     | 22                                    | 23                                     | 24                   |
|       | ТП№1                             | -    | -                    | -                     | -                    | -           | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 1     | Пр. комплекс                     | 2    | 950                  | 959                   | 1350                 | ТП№1        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
|       | Итого:                           |      | 950                  | 959                   | 1350                 | ТМЗ         | 1000                     | 2  | 0,70   | 1028                   | 959                   | 0                      | 0,67    | 1,35    | 2,5                    | 11,0                   | 1,4                 | 5,5                 | 15                    | 78                     | 965                                   | 1037                                   | 1417                 |
|       | ТП№2                             | -    | -                    | -                     | -                    | -           | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 2     | Калибровочный цех                | 2    | 988                  | 945                   | 1367                 | ТП№2        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
|       | Итого:                           |      | 988                  | 945                   | 1367                 | ТМЗ         | 1000                     | 2  | 0,70   | 992                    | 945                   | 0                      | 0,68    | 1,37    | 1,7                    | 7,6                    | 1,8                 | 5,5                 | 10,5                  | 87                     | 998                                   | 1033                                   | 1436                 |
|       | ТП№3                             | -    | -                    | -                     | -                    | -           | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 3     | Котельная                        | 2    | 84                   | 98                    | 129                  | НРП1        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 4     | Заводууправление                 | 2    | 71                   | 71                    | 100                  | НРП2        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 6     | Склад химически активных веществ | 1    | 49                   | 52                    | 72                   | НРП3        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 7     | Гараж                            | 3    | 50                   | 53                    | 73                   | НРП4        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 5     | Компрессорная                    | 2    | 118                  | 131                   | 176                  | ТП№3        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
|       | Итого:                           |      | 371                  | 406                   | 550                  | ТМЗ         | 400                      | 2  | 0,70   | 419                    | 406                   | 0                      | 0,69    | 1,37    | 1,0                    | 5,5                    | 2,1                 | 4,5                 | 7,1                   | 34                     | 378                                   | 440                                    | 580                  |
|       | ТП№4                             | -    | -                    | -                     | -                    | -           | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 8     | Производственный цех №1          | 2    | 1113                 | 1194                  | 1632                 | ТП№4        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
|       | Итого:                           |      | 1113                 | 1194                  | 1632                 | ТМЗ         | 1000                     | 2  | 0,70   | 850                    | 850                   | 344                    | 0,70    | 1,40    | 2,9                    | 14,0                   | 1,0                 | 6,0                 | 19,5                  | 79                     | 1132                                  | 929                                    | 1464                 |
|       | ТП№5                             | -    | -                    | -                     | -                    | -           | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 9     | РМЦ                              | 3    | 264                  | 226                   | 347                  | ТП№5        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
|       | Итого:                           |      | 264                  | 226                   | 347                  | ТМЗ         | 400                      | 1  | 0,95   | 273                    | 226                   | 0                      | 0,87    | 0,87    | 1,7                    | 7,6                    | 1,8                 | 5,5                 | 7,4                   | 24                     | 272                                   | 249                                    | 369                  |
|       | ТП№6                             | -    | -                    | -                     | -                    | -           | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |
| 11    | Основной склад                   | 3    | 59                   | 58                    | 83                   | НРП5        | -                        | -  | -      | -                      | -                     | -                      | -       | -       | -                      | -                      | -                   | -                   | -                     | -                      | -                                     | -                                      | -                    |

Продолжение таблицы 5

| 1  | 2                                     | 3 | 4    | 5    | 6    | 10    | 11   | 12 | 13   | 14  | 15  | 16  | 17   | 18   | 19  | 20   | 21  | 22  | 23                                       | 24 | 25   | 26  | 27   |       |      |       |       |       |
|----|---------------------------------------|---|------|------|------|-------|------|----|------|-----|-----|-----|------|------|-----|------|-----|-----|--|----|------|-----|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 12 | Столовая                              | 3 | 89   | 79   | 119  | НРП6  | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 10 | Отделение подготовки полимеров        | 2 | 1101 | 851  | 1392 | ТП№6  | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
|    | Итого                                 |   | 1250 | 988  | 1594 | ТМЗ   | 1000 | 2  | 0,70 | 631 | 631 | 357 | 0,70 | 1,40 | 2,9 | 14,0 | 1,0 | 6,0 | 19,5                                     | 79 | 1269 | 710 | 1454 |       |      |       |       |       |
|    | ТП№7                                  | - | -    | -    | -    | -     | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 13 | Воздуходувная станция                 | 1 | 98   | 102  | 142  | НРП7  | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 20 | АБК                                   | 3 | 144  | 128  | 192  | НРП8  | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 14 | Отделение вторичного дробления        | 2 | 928  | 994  | 1360 | ТП№7  | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
|    | Итого                                 |   | 1169 | 1224 | 1694 | ТМЗ   | 1000 | 2  | 0,70 | 770 | 770 | 454 | 0,70 | 1,40 | 2,9 | 14,0 | 1,0 | 6,0 | 19,5                                     | 79 | 1189 | 848 | 1461 |       |      |       |       |       |
|    | ТП№8                                  | - | -    | -    | -    | -     | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 16 | Проходная                             | 3 | 60   | 59   | 85   | НРП9  | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 15 | Очистные сооружения                   | 2 | 343  | 310  | 463  | ТП№8  | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
|    | Итого                                 |   | 404  | 370  | 547  | ТМЗ   | 400  | 2  | 0,70 | 388 | 370 | 0   | 0,68 | 1,37 | 1,0 | 5,5  | 2,1 | 4,5 | 7,0                                      | 34 | 411  | 403 | 575  |       |      |       |       |       |
|    | ТП№9                                  | - | -    | -    | -    | -     | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 17 | Лаборатория                           | 2 | 601  | 578  | 834  | ТП№9  | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
|    | Итого                                 |   | 601  | 578  | 834  | ТМЗ   | 630  | 2  | 0,70 | 645 | 578 | 0   | 0,66 | 1,32 | 1,7 | 7,6  | 1,8 | 5,5 | 10,1                                     | 53 | 612  | 632 | 879  |       |      |       |       |       |
|    | ТП№10                                 | - | -    | -    | -    | -     | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 19 | Кислородная                           | 2 | 243  | 198  | 313  | НРП10 | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 18 | Производство специальных мед. изделий | 2 | 768  | 678  | 1024 | ТП№10 | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
|    | Итого                                 |   | 1011 | 876  | 1338 | ТМЗ   | 1000 | 2  | 0,70 | 969 | 876 | 0   | 0,67 | 1,34 | 2,5 | 11,0 | 1,4 | 5,5 | 14,8                                     | 77 | 1026 | 953 | 1400 |       |      |       |       |       |
|    | ТП№11                                 | - | -    | -    | -    | -     | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
| 21 | Насосная                              | 1 | 1149 | 719  | 1356 | ТП№11 | -    | -  | -    | -   | -   | -   | -    | -    | -   | -    | -   | -   | -  | -  | -    | -   | -    |       |      |       |       |       |
|    | Итого                                 |   | 1149 | 719  | 1356 | ТМЗ   | 1000 | 2  | 0,70 | 800 | 719 | 0   | 0,68 | 1,36 | 2,5 | 11,0 | 1,4 | 5,5 | 15,1                                     | 79 | 1164 | 798 | 1411 |       |      |       |       |       |
|    |                                       |   |      |      |      |       |      |    |      |     |     |     |      |      |     |      |     |     | Нагрузка по предприятию с учётом потерь: |    |      |     |      | 307,0 | 1290 | 16866 | 12399 | 21417 |

«СШ 6-10 кВ ГПП относится к системе V уровня, тогда по методу упорядоченных диаграмм расчетная активная ЭН завода» [19]:

$$P_{p.l.} = K_{OM} \cdot (\Sigma P_i^{(3)} + \Sigma k_{IAi} \cdot p_{номi} + \Sigma P_i^{(4)} + \Sigma P_{Ti}) + P_{p.освi}, \quad (27)$$

«где  $K_{OM}$  - коэффициент одновременности максимумов, данный коэффициент зависит от средневзвешенного коэффициента использования и числа присоединений 10 кВ ГПП,  $K_{OM} = 0,85$ » [19];

« $\Sigma P_i^{(3)}$  - суммарная расчетная активная мощность узлов СЭС 3-го уровня, кВт;

$\Sigma k_{IAi} \cdot p_{номi}$  - суммарная расчетная активная мощность высоковольтных электроприёмников, кВт;

$\Sigma P_i^{(4)}$  - суммарная расчетная активная мощность РУ напряжением 6-10 кВ, которые питаются от данного узла 5-го уровня, кВт;

$\Sigma P_{Ti}$  - суммарные потери активной мощности в трансформаторах ЦТП, кВт;

$P_{p.освi}$  - суммарная расчетная активная мощность всей ЭН сети освещения» [19].

$$P_{p.l.} = 0,85 \cdot (8290 + 21605 + 307) + 979 = 26746 \text{ кВт.}$$

Тогда

$$U_{рац} = 4,34 \cdot \sqrt{1,9 + 0,016 \cdot \frac{26746}{2}} = 64,9 \text{ кВ.}$$

«Для сравнения следует принять два варианта внешнего электроснабжения предприятия на напряжениях 35 и 110 кВ, которые есть на ПС 220/110/35/10 кВ» [6].

## 2.2 Технико-экономическое сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения

«Расчет внешнего электроснабжения на напряжении 110 кВ.

Полная расчетная ЭН завода, которая необходима для выбора трансформаторов ГПП» [19]:

$$S_{P,ГПП} = \sqrt{P_{P,П}^2 + (Q_{ЭС} - \Delta Q_{Т,ГПП})^2}, \quad (28)$$

«где  $Q_{ЭС}$  – экономически целесообразная реактивная мощность на стороне внешнего напряжения ГПП» [19], предоставляемая энергоснабжающей организацией

$$Q_{ЭС} = P_{P,П} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (29)$$

$$Q_{ЭС} = 0,5 \cdot 26746 = 13373 \text{ квар.}$$

$$\Delta Q_{Т,ГПП} = 0,07 \cdot \sqrt{P_{P,П}^2 + Q_{ЭС}^2}, \quad (30)$$

«где  $\Delta Q_{Т,ГПП}$  – потери реактивной мощности в трансформаторах ГПП, квар» [19].

$$\Delta Q_{Т,ГПП} = 0,07 \cdot \sqrt{26746^2 + 13373^2} = 2093 \text{ квар.}$$

$$S_{P,ГПП} = \sqrt{26746^2 + (13373 - 2093)^2} = 29027 \text{ кВА.}$$

Принимается решение об установке двух трансформаторов на ГПП, тогда номинальная мощность каждого трансформатора выбирается из условия:

$$S_{Н.Т.} \geq \frac{S_{P,ГПП}}{n \cdot K_{З.Д.}}, \quad (31)$$

где  $n$  – число трансформаторов ГПП,  $n = 2$ ;

$K_{З.Д.}$  – допустимый коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном

режиме,  $K_{з.д.} = 0,7$ .

$$S_{н.т.} = \frac{29027}{2 \cdot 0,7} = 20734 \text{ кВА.}$$

«Принимается решение об установке на ГПП двух трансформаторов ТРДН-25000/110, тогда коэффициент загрузки трансформаторов в нормальном режиме» [11]:

$$K_{з.н.} = \frac{S_{р.гпп.}}{2 \cdot S_{н.т.}}, \quad (32)$$

$$K_{н.т.} = \frac{29027}{2 \cdot 25000} = 0,58.$$

Коэффициент загрузки трансформаторов в послеаварийном режиме:

$$K_{з.п.} = \frac{S_{р.гпп.}}{(N - 1) \cdot S_{н.т.}}, \quad (33)$$

$$K_{з.п.} = \frac{29027}{(2 - 1) \cdot 25000} = 1,16.$$

«Для данных трансформаторов коэффициент загрузки в послеаварийном режиме не превышает допустимых значений» [11].

Выбранные трансформаторы представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики трансформаторов ГПП

| Тип трансформатора | U <sub>ном вн</sub> , кВ | U <sub>ном нн</sub> , кВ | S <sub>нт</sub> , МВА | ΔP <sub>хх</sub> , кВт | ΔP <sub>кз</sub> , кВт | U <sub>кз</sub> , % | I <sub>хх</sub> , % |
|--------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| ТРДН-25000/110     | 115                      | 10,5-10,5                | 25                    | 25                     | 120                    | 10,5                | 0,65                |

«Потери мощности в трансформаторах» [12]:

$$\Delta P_T = N \cdot (\Delta P_{XX} + K_{3.H.}^2 \cdot \Delta P_{K3}), \quad (34)$$

где  $N$  – число трансформаторов,  $N = 2$ .

$$\Delta P_T = 2 \cdot (25 + 0,6^2 \cdot 120) = 136,4 \text{ кВт.}$$

$$\Delta Q_T = N \cdot \left( \frac{I_{XX}}{100} \cdot S_{H.T.} + K_{3.H.}^2 \cdot \frac{u_{K3}}{100} \cdot S_{H.T.} \right), \quad (35)$$

$$\Delta Q_T = 2 \cdot \left( \frac{0,65}{100} \cdot 25000 + 0,6^2 \cdot \frac{10,5}{100} \cdot 25000 \right) = 2215 \text{ квар.}$$

«Потери электроэнергии в трансформаторах» [12]:

$$\Delta A_T = N \cdot (\Delta P_{XX} \cdot T_{\Gamma} + K_{3.H.}^2 \cdot \Delta P_{K3} \cdot \tau), \quad (36)$$

где  $T_{\Gamma}$  – число часов в году,  $T_{\Gamma} = 8760$  ч;

$\tau$  - годовое число часов максимальных потерь:

$$\Delta A_T = 2 \cdot (25 \cdot 8760 + 0,6^2 \cdot 120 \cdot 2740) = 674730 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Производится расчет ЛЭП от ПС 220/110/35/10 кВ до ГПП завода.

ЭН в начале ЛЭП:

$$S_{P.L.} = \sqrt{(P_{P.L.} + \Delta P_T)^2 + Q_{\Sigma C}^2}, \quad (37)$$

$$S_{P.L.} = \sqrt{(26746 + 136,4)^2 + 13373^2} = 30025 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток одной цепи ЛЭП напряжением 110 кВ:

$$I_{P.L.} = \frac{S_{P.L.}}{\sqrt{3} \cdot N \cdot U_H}, \quad (38)$$

$$I_{P.L.} = \frac{30035}{\sqrt{3} \cdot 2 \cdot 115} = 75 \text{ А}$$



Ток в п/ав режиме (при питании всей ЭН по одной цепи ЛЭП)

$$\begin{aligned} I_{п.л.} &= 2 \cdot I_{р.л.}, \\ I_{п.л.} &= 2 \cdot 75 = 150 \text{ А.} \end{aligned} \quad (39)$$

Сечение проводов ЛЭП находится по ЭПТ. Согласно [2]  $j_{\text{э}}=1,1 \text{ А/мм}^2$ , тогда

$$\begin{aligned} F_{\text{э}} &= \frac{I_{п.л.}}{j_{\text{э}}}, \\ F_{\text{э}} &= \frac{75}{1,1} = 68,2 \text{ мм}^2. \end{aligned} \quad (40)$$

Выбирается провод АС-70/11, длительно допустимый ток согласно [2]  $I_{\text{доп}} = 265 \text{ А}$ , удельные сопротивления  $r_0 = 0,428 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,408 \text{ Ом/км}$  [15].

Проверяется провод по нагреву в п/ав режиме:

$$I_{\text{доп}} = 265 \text{ А} > I_{п.л.} = 150 \text{ А}.$$

Потери активной энергии в проводах ЛЭП за год:

$$\begin{aligned} \Delta A_{\text{л}} &= N \cdot (3 \cdot I_{п.л.}^2 \cdot r_0 \cdot 1 \cdot \tau), \\ \Delta A_{\text{л}} &= 2 \cdot (3 \cdot 75^2 \cdot 0,428 \cdot 1,9 \cdot 2470) = 75201 \text{ кВт} \cdot \text{ч.} \end{aligned} \quad (41)$$

Далее рассчитывается ток КЗ на вводах ГПП. На СШ 110 кВ подстанции энергосистемы ток КЗ составляет 11,15 кВ, ударный ток КЗ равен 27,12 кА.

Исходная схема питания завода и схема замещения для расчета ТКЗ приведены на рисунке 2.

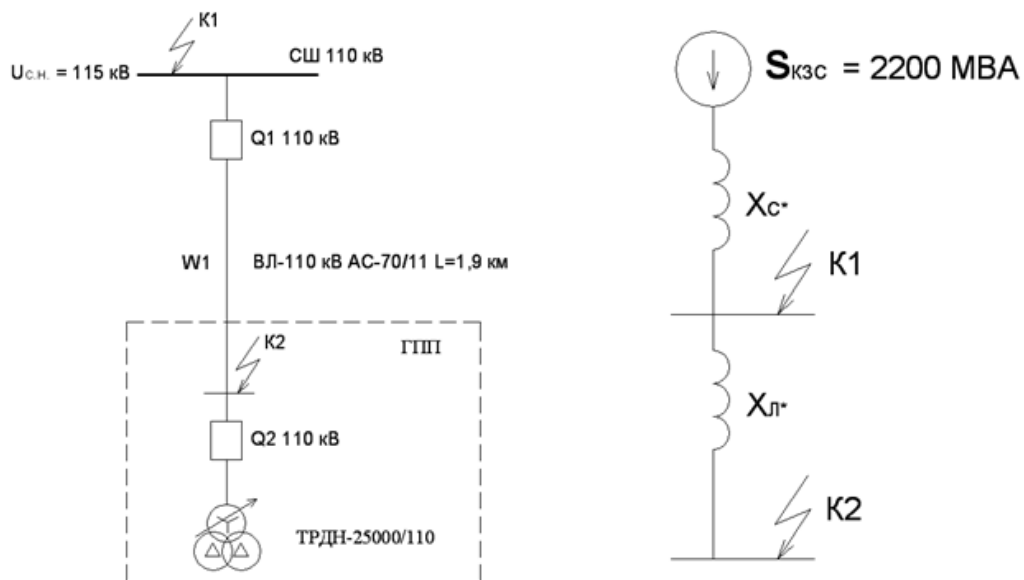


Рисунок 2 – Схемы расчета токов КЗ

«Определяются параметры схемы замещения. Принимается базисная мощность  $S_B = 1000$  МВА, базисное напряжение  $U_B = 115$  кВ» [3].

Сопротивление системы в о.е.:

$$x_{c*} = \frac{S_B}{S_{кз.с}}, \quad (42)$$

$$x_{c*} = \frac{1000}{2200} = 0,45.$$

Сопротивление ВЛ 110 кВ определяется по формуле:

$$x_{л*} = \frac{x_0 \cdot l \cdot S_B}{U_{ср}^2}, \quad (43)$$

$$x_{л*} = \frac{0,048 \cdot 1,9 \cdot 1000}{115^2} = 0,058.$$

Суммарное сопротивление в точке  $K_2$ .

$$x_2 = x_{c*} + x_{л*}, \quad (44)$$

$$x_2 = 0,45 + 0,058 = 0,508.$$

Определяется ток КЗ в точке К<sub>2</sub>:

$$I_{K2} = I_{Пт} = I_{П0} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115 \cdot 0,508} = 9,88 \text{ кА.}$$

Ударный ТКЗ:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 9,88 = 25,15 \text{ кА.}$$

Рассчитывается величина токов нормального и послеаварийного режима, которые необходимы для выбора соответствующего электрического оборудования подстанции. Результаты заносим в таблицу 7.

Таблица 7 – Расчетные токи продолжительного режима

| Нормальный режим  | Утяжеленный режим   |
|---|---|
| Расчетные токи на стороне ВН ГПП  |   |
| $I_{РАБ} = \frac{0,7 \cdot S_{Н.Т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} =$ $= \frac{0,7 \cdot 25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 91,85 \text{ А}$              | $I_{РАБМАХ} = \frac{1,4 \cdot S_{Н.Т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} =$ $= \frac{1,4 \cdot 25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 183,7 \text{ А}$               |
| Расчетные токи на стороне НН ГПП  |   |
| $I_{РАБ} = \frac{0,7 \cdot S_{Н.Т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН} \cdot 2} =$ $= \frac{0,7 \cdot 25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 2} = 505 \text{ А}$ | $I_{РАБМАХ} = \frac{1,4 \cdot S_{Н.Т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{НН} \cdot 2} =$ $= \frac{1,4 \cdot 25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 2} = 1010 \text{ А}$ |

«Производится выбор коммутационных аппаратов в начале отходящих ЛЭП от ПС 220/110/35/10 кВ и на вводе ГПП» [19].

«Выбор и проверка выключателей производится по следующим параметрам» [19].

- «по номинальному напряжению» [19]:

$$U_{уст} \leq U_n, \quad (45)$$

- «по максимальному рабочему току» [19]:

$$I_{max} \leq I_n, \quad (46)$$

- «по отключающей способности.

Сначала проверяется возможность отключения периодической составляющей тока КЗ» [19]:

$$I_{П,t} \leq I_{отк.н}, \quad (47)$$

«Далее проверяется возможность отключения апериодической составляющей тока КЗ» [19]:

$$i_{a,\tau} \leq i_{a,y}, \quad (48)$$

- проверка по электродинамической стойкости:

$$I_{П,0} \leq I_{ПР,скв}, \quad (49)$$

$$i_{уд} \leq i_{ПР.скв}, \quad (50)$$

- выполняется проверка по термической стойкости.

$$B_K \leq I_{терм.н}^2 \cdot t_{терм.н}, \quad (51)$$

На вводе в трансформатор принимается к установке выключатель ВГБ-110-40/2000 У1 [9].

Величину аperiodической составляющей ТКЗ определим по формуле:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi,0} \cdot e^{-\tau/T_a}, \quad (52)$$

где  $T_a$  – постоянная,  $T_a = 0,02$  с [10];

$\tau$  – расчетное время:

$$\tau = t_{3,\text{MIN}} + t_{\text{C,B}}, \quad (53)$$

где  $t_{3,\text{MIN}}$  – минимальное время срабатывания РЗ, с,  $t_{3,\text{MIN}} = 0,01$  с;

$t_{\text{C,B}}$  – собственное время отключения выключателя,  $t_{\text{C,B}} = 0,035$  с.

$$\tau = 0,01 + 0,035 = 0,045 \text{ с.}$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 9,88 \cdot e^{-0,045/0,02} = 1,47 \text{ кА.}$$

«Номинальное допускаемое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени  $\tau$  определим по формуле» [10]:

$$i_{a,H} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{\text{откл.ном}}, \quad (54)$$

где  $\beta_H$  – допустимое относительное содержание аperiodической составляющей в отключаемом токе,  $\beta_H = 0,45$ ;

$I_{\text{откл.н}}$  – номинальный ток отключения, 40 кА.

$$i_{a,H} = \sqrt{2} \cdot 0,45 \cdot 40 = 25,45 \text{ кА.}$$

Тепловой импульс квадратичного ТКЗ:

$$W_K = I_{\Pi,0}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (55)$$

«Где  $t_{\text{отк}}$  – время отключения, определяется по формуле» [10]:

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{р.з}} + t_{\text{о.в}}, \quad (56)$$

«где  $t_{\text{р.з}}$  – время действия релейной защиты, принимается  $t_{\text{р.з}} = 2,3$  с;

$t_{\text{о.в}}$  – полное время отключения выключателя,  $t_{\text{о.в.}} = 0,055$  с» [10].

$$t_{\text{отк}} = 2,3 + 0,055 = 2,355 \text{ с.}$$

$$B_{\text{к}} = 9,88^2 \cdot (2,355 + 0,02) = 232 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Для данного выключателя:

$$I_{\text{терм.н}}^2 \cdot t_{\text{терм.н}} = 40^2 \cdot 3 = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Все каталожные и расчетные данные сведены в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор выключателей на ГПП [9]

| Расчетные данные                                 | Технические характеристики ВГБ-110-40/2000 У1                                 |
|--|---|
| $U_{\text{уст}} = 110 \text{ кВ}$                | $U_{\text{н}} = 110 \text{ кВ}$   |
| $I_{\text{макс}} = 183,7 \text{ А}$              | $I_{\text{н}} = 2000 \text{ А}$   |
| $I_{\text{п.т}} = 9,88 \text{ кА}$               | $I_{\text{отк.н}} = 40 \text{ кА}$  |
| $i_{\text{а,т}} = 1,47 \text{ кА}$               | $i_{\text{а,н}} = 25,45 \text{ кА}$   |
| $I_{\text{п,0}} = 9,88 \text{ кА}$               | $I_{\text{пр.скв}} = 40 \text{ кА}$   |
| $i_{\text{уд}} = 25,15 \text{ кА}$               | $i_{\text{дин}} = 102 \text{ кА}$   |
| $B_{\text{к}} = 232 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{\text{терм.н}}^2 \cdot t_{\text{дин}} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

На основании выбранной схемы электроснабжения на стороне ВН ГПП принимается разъединители, «с заземляющими ножами типа РГП.Х.-110/1000 УХЛ1[11]. Расчетные данные установки и технические характеристики разъединителя приведены в таблице 9» [7].

Таблица 9 – Выбор разъединителей на ГПП [7]

| Расчетные данные                        | Технические характеристики РГП.Х.-110/1000 УХЛ1  |
|---|--|
| $U_{уст} = 110 \text{ кВ}$              | $U_H = 110 \text{ кВ}$   |
| $I_{MAX} = 183,7 \text{ А}$             | $I_H = 1000 \text{ А}$   |
| $i_{уд} = 25,15 \text{ кА}$             | $i_{дин} = 80 \text{ кА}$  |
| $B_K = 232 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{ТЕРМ.Н} = 31,5 \text{ кА (главные ножи)}$<br>$t_{ТЕРМ.Н} = 3 \text{ с}$<br>$I^2_{ТЕРМ.Н} \cdot t_{дин} = 2976 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

Итак, во всех цепях РУ высшего напряжения принимается к установке выключатели одного ВГБ-110-40/2000 У1 (удельная длина пути утечки  $\geq 2,85$  см/кВ) с сигнализаторами плотности элегаза SF6 – тип 2807 R1W; разъединители типа РГП.Х.-110/1000 УХЛ1 с приводами ПРГ-6 УХЛ1.

Электросеть 110 кВ работает с эффективно заземленной нейтралью, поэтому для включения трансформаторов тока применяется схема полной звезды (3 трансформатора тока).

В выключатель ВГБ-110-40/2000 У1 встраиваются трансформаторы тока серии ТВ 110-1000/5-0,5/10Р (таблица 10).

Таблица 10 – Выбор трансформаторов тока [21]

| Расчетные данные                        | Технические характеристики ТВ 110-1000/5-0,5/10Р                |
|---|---|
| $U_{уст} = 110 \text{ кВ}$              | $U_H = 110 \text{ кВ}$  |
| $I_{MAX} = 183,7 \text{ А}$             | $I_H = 1000 \text{ А}$  |
| $i_{уд} = 25,15 \text{ кА}$             | $i_{дин} = 102 \text{ кА}$                                      |
| $B_K = 232 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I^2_{ТЕРМ.Н} \cdot t_{дин} = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

В РУ 110 кВ ПС 220/110/35/10 кВ устанавливается аналогичное оборудование.

Расчет внешнего электроснабжения на напряжении 35 кВ производится аналогично варианту на 110 кВ. Выбранное оборудование представлено ниже в таблице 12.

ТЭС вариантов схем внешнего электроснабжения.

Годовые приведенные затраты [14]:

$$З = \sum_{i=0}^n E_i \cdot K_i + C_{\text{Э}}, \quad (57)$$

где  $K_i$  - сумма капиталовложений одинакового оборудования;

$E_i$  - общие ежегодные отчисления от капиталовложений [19];

$$E_i = E_{\text{Н}} + E_{\text{Ai}} + E_{\text{oi}}, \quad (58)$$

$C_{\text{Э}}$  - стоимость годовых потерь электроэнергии;

$$C_{\text{Э}} = (\Delta A_{\text{T}} + \Delta A_{\text{Л}}) \cdot C_0', \quad (59)$$

где  $\Delta A_{\text{T}}$  – потери электроэнергии в трансформаторах ГПП, кВт · ч;

$\Delta A_{\text{Л}}$  – потери электрической энергии в ЛЭП, кВт · ч;

$C_0'$  - удельная стоимость потерь электроэнергии, руб./кВт · ч

$$C_0' = \delta \cdot \left( \frac{\alpha \cdot K_{\text{М}}}{\tau} + \beta \right), \quad (60)$$

где  $K_{\text{М}} = \Delta P_{\text{Э}} / \Delta P_{\text{М}}$ , принимается  $K_{\text{М}} = 0,85$  [19];

$\alpha$  - величина основной ставки тарифа;

$\beta$  - стоимость 1 кВт · ч электроэнергии;

$\delta$  - поправочный коэффициент,  $\delta = 1,02$ , для 110 кВ  $\delta = 1,03$ ;

для 110 кВ

$$\alpha = 708,3 \cdot 12 = 8500 \text{ руб./кВт} \cdot \text{год},$$

$$\beta = 0,8838 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч},$$

$$C_0' = 1,03 \cdot \left( \frac{708,3 \cdot 12 \cdot 0,85}{2740} + 0,8838 \right) = 3,626 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}.$$



для 35 кВ

$$\alpha = 735,4 \cdot 12 = 8825 \text{ руб/кВт} \cdot \text{год},$$

$$\beta = 0,9029 \text{ руб/кВт} \cdot \text{ч},$$

$$C'_0 = 1,02 \cdot \left( \frac{735,4 \cdot 12 \cdot 0,85}{2740} + 0,9029 \right) = 3,7133 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}.$$

Показатели построения системы внешнего электроснабжения по напряжению 110 кВ сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Показатели построения системы внешнего электроснабжения по напряжению 110 кВ

| Наименование оборудования         | Единицы измерения | Кол-во | Стоимость единицы, тыс. руб. | Кап. вложения, тыс. руб. | Отчисления, о.е. |       |       |       | Затраты, тыс.руб. | Потери эл. энергии, 10 <sup>3</sup> кВт·ч | Стоимость потерь электроэнергии, тыс. руб. |
|-----------------------------------|-------------------|--------|------------------------------|--------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------------------|---|--|
|                                   |                   |        |                              |                          | Ен               | Ео    | ЕА    | Итого |                   |   |  |
| Трансформатор ТРДН 25000/110      | шт                | 2,0    | 20311                        | 40622                    | 0,12             | 0,010 | 0,063 | 0,193 | 7840,0            | 674,7                                     | 2447                                       |
| ВЛ 110 кВ на 2-х цепных ЖБ опорах | км                | 1,9    | 6935                         | 13176                    | 0,12             | 0,004 | 0,028 | 0,152 | 2003              | 75,2                                      | 273  |
| Выключатель ВГБ-110-40/2000       | шт                | 4,0    | 1120                         | 4480                     | 0,12             | 0,010 | 0,063 | 0,193 | 864,64            | -   | -  |
| Разъединитель РГП.Х. – 110/1000   | шт                | 6,0    | 106,4                        | 638,4                    | 0,12             | 0,010 | 0,063 | 0,193 | 123,21            | -   | -  |
| ОПН-П1–110/77/10                  | шт                | 6,0    | 26,1                         | 156,6                    | 0,12             | 0,010 | 0,063 | 0,193 | 30,22             | -   | -  |
| ОПНН-П1–110/60/10                 | шт                | 2,0    | 19,6                         | 39,2                     | 0,12             | 0,010 | 0,063 | 0,193 | 7,57              | -   | -  |
| ЗОН – 110 У                       | шт                | 2,0    | 41                           | 82                       | 0,12             | 0,010 | 0,063 | 0,193 | 15,83             | -   | -  |
| ИТОГО:                            |                   |        |                              | 59195                    |                  |       |       |       | 10884             | 749,9                                     | 2719                                       |

Результаты расчета по 35 кВ сведены в таблицу 12.

Таблица 12 – Показатели построения системы внешнего электроснабжения по напряжению 35 кВ

| Наименование оборудования        | Единицы измерения | Кол-во | Стоимость единицы, тыс. руб. | Кап. вложения, тыс. руб. | Отчисления, о.е. |                |                |       | Загрaты, тыс.руб. | Потери эл. энергии, 10 <sup>3</sup> кВт·ч | Стоимость потерь электроэнергии, тыс. |
|----------------------------------|-------------------|--------|------------------------------|--------------------------|------------------|----------------|----------------|-------|-------------------|---|---------------------------------------|
|                                  |                   |        |                              |                          | Е <sub>н</sub>   | Е <sub>о</sub> | Е <sub>а</sub> | Итого |                   |   |                                       |
| Трансформатор ТРДНС 25000/35     | шт                | 2,0    | 15075                        | 30150                    | 0,12             | 0,010          | 0,063          | 0,193 | 5818,95           | 650                                       | 2461                                  |
| ВЛ 35 кВ на 2-х цепных ЖБ опорах | км                | 1,9    | 7115                         | 13518,5                  | 0,12             | 0,004          | 0,028          | 0,152 | 210750            | 201,75                                    | 764                                   |
| Выключатель ВБЭТ-35-25/630       | шт                | 4,0    | 750                          | 3000                     | 0,12             | 0,010          | 0,063          | 0,193 | 579,0             | -   | -                                     |
| Разъединитель РГП.Х. – 35/1000   | шт                | 6,0    | 51,5                         | 309                      | 0,12             | 0,010          | 0,063          | 0,193 | 59,64             | -   | -                                     |
| ОПН-П1 – 35/40,5/10              | шт                | 6,0    | 11,2                         | 67,2                     | 0,12             | 0,010          | 0,063          | 0,193 | 12,97             | -   | -                                     |
| ИТОГО:                           |                   |        |                              | 47045                    |                  |                |                |       | 8525              | 851,75                                    | 3225                                  |

Приведенные затраты для вариантов сети:

$$Z_{110} = 10884 + 2719 = 13604 \text{ тыс.руб.}$$

$$Z_{35} = 8525 + 3225 = 11750 \text{ тыс.руб.}$$

Разница в приведенных затратах составляет:

$$\Delta Z = \frac{Z_{110} - Z_{35}}{Z_{110}} \cdot 100 \% = \frac{13604 - 11750}{13604} \cdot 100 \% = 13,62 \%$$

«Согласно [13] если варианты имеют различное номинальное напряжение, то при разнице в расчетных затратах менее 10 – 15 % предпочтение следует отдать варианту с более высоким номинальным напряжением, даже если этот вариант и дороже» [13]. Таким образом, принимается вариант внешнего электроснабжения напряжением 110 кВ.

## 2.3 Выбор кабельных линий распределительных сетей предприятия

Расчетный ток в КЛ в нормальном режиме:

$$I_{\text{р.к.}} = \frac{S_{\text{р.к.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{к}}}, \quad (61)$$

где  $S_{\text{р.к}}$  – мощность, передающаяся по КЛ в нормальном режиме, кВА.

Так для ЛЭП от ГПП до ТП6:

$$I_{\text{р.к.}} = \frac{1616}{\sqrt{3} \cdot 10} = 124 \text{ А.}$$

«Сечение КЛ необходимо определять по экономической плотности тока» [15]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{р.к.}}}{j_{\text{э}}}, \quad (62)$$

«где  $j_{\text{э}}$  - ЭПТ для кабелей с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами при количестве часов использования максимума нагрузки  $T_{\text{М}} = 4355 \text{ ч/год}$ ,  $j_{\text{э}} = 1,4 \text{ А/мм}^2$ » [2].

Так для линии ГПП-ТП6

$$I_{\text{р.к.}} = \frac{124}{1,4} = 89 \text{ А,}$$

принимается кабель ААШВУ-10-3х120, с  $I_{\text{д}} = 240 \text{ А}$ .

«Допустимый ток кабеля с учетом условий его прокладки определяется по формуле» [19]:

$$I'_d = K_{\Pi} \cdot K_t \cdot I_d > \frac{I_{p.k.}}{N_k}, \quad (63)$$

где  $K_{\Pi}$  - коэффициент на число прокладываемых кабелей [2];

$K_t$  - коэффициент на температуру среды [2].

Для линии ГПП-ТП6  $K_{\Pi} = 0,9$ ,  $K_t = 1,03$ , тогда

$$I'_d = 0,9 \cdot 1,03 \cdot 240 = 222 \text{ А} > \frac{124}{1} = 124 \text{ А}.$$

«Под послеаварийным режимом КЛ будем пониматься режим, при котором выходит из строя одна из двух КЛ, которая питает потребители I и II категорий. При этом ЭН на КЛ удваивается» [2], то есть

$$I_{AB} = 2 \cdot I_{p.k.} \quad (64)$$

Для линии ГПП-ТП6

$$I_{AB} = 2 \cdot 124 = 248 \text{ А}.$$

Допустимая перегрузка кабеля в п/ав режиме определяется по формуле:

$$I'_{AB} = K_{AB} \cdot I'_{доп}, \quad (65)$$

где  $K_{AB}$  - коэффициент перегрузки

$$K_3 = \frac{I_{p.k.}}{I_{доп}}.$$

Для линии ГПП-ТП6

$$K_3 = \frac{124}{240} = 0,52,$$

тогда  $K_{AB} = 1,25$ ,

$$I'_{AB} = 1,25 \cdot 222 = 278 \text{ A.}$$

Осуществляется проверка по току перегрузки по условию:

$$I'_{AB} > I_{AB}$$

Для линии ГПП-ТП6

$$I'_{AB} = 278 \text{ A} > I_{AB} = 248 \text{ A.}$$

Потеря напряжения в КЛ:

$$\Delta U = \frac{P_p \cdot r_0 \cdot l + Q_p \cdot x_0 \cdot l}{n_k \cdot U_n^2} \cdot 100 \% \leq \Delta U_{\text{доп}} = 5 \%, \quad (66)$$

«где  $P_p$ ,  $Q_p$  - расчетные активная и реактивная ЭН кабеля в п/ав режиме;

$r_0$ ,  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления кабелей,  
Ом/км;

$l$  – протяженность КЛ, км» [19].

$$\Delta U = \frac{1616 \cdot 0,249 \cdot 0,15 + 1390 \cdot 0,081 \cdot 0,15}{1 \cdot 10^2} \cdot 100\% = 0,08\%.$$

Все результаты расчетов сведены в таблицу 13.

## 2.4 Расчет токов короткого замыкания

Для расчета ТКЗ составляется расчетная электросхема (рисунок 3).

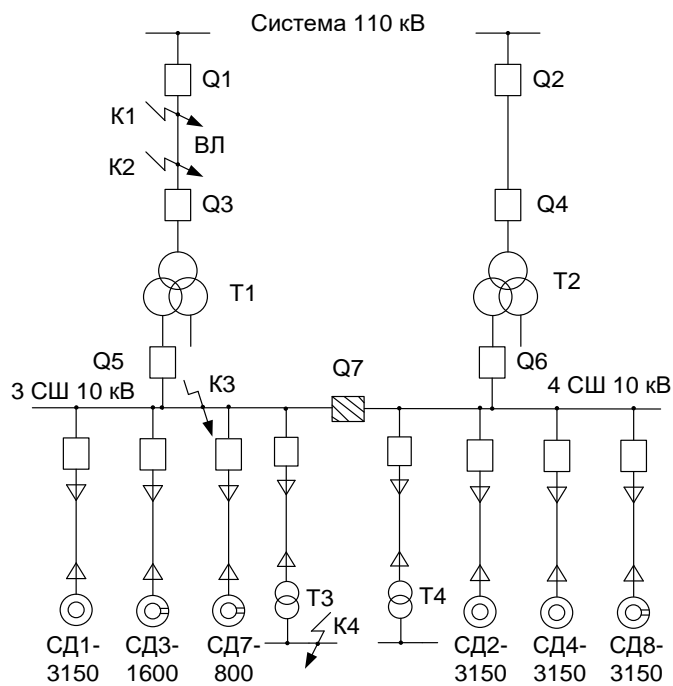


Рисунок 3 – Расчетная электросхема СЭС завода для расчета ТКЗ.

«Схема замещения для расчетов ТКЗ представлена на рисунке 4» [19].

Таблица 13 – Расчет КЛ

| Конечные пункты<br>КЛ | Р <sub>р</sub> ,<br>кВт | Q <sub>р</sub> ,<br>квар | S <sub>р</sub> ,<br>кВА | I <sub>рк</sub> ,<br>А | F <sub>э</sub> ,<br>мм <sup>2</sup> | F <sub>ст</sub> ,<br>мм <sup>2</sup> | Тип кабеля | пк | Способ<br>прокладки | Нагрузка,<br>А п/а реж. | I <sub>доп</sub> ,<br>А | Г <sub>доп</sub> ,<br>А | Кав  | Гав,<br>А | L, км | r <sub>0</sub> ,<br>Ом/км | x <sub>0</sub> ,<br>Ом/км | ΔU,<br>% |
|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------|----|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|-----------|-------|---------------------------|---------------------------|----------|
| 1                     | 2                       | 3                        | 4                       | 5                      | 6                                   | 7                                    | 8          | 9  | 10                  | 11                      | 12                      | 13                      | 14   | 15        | 16    | 17                        | 18                        | 19       |
| ГПП-ТП6               | 1616                    | 1390                     | 2154                    | 124                    | 89                                  | 95                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 248                     | 240                     | 222                     | 1,25 | 278       | 0,150 | 0,249                     | 0,081                     | 0,08     |
| ТП6-ТП2               | 982                     | 1035                     | 1426                    | 82                     | 59                                  | 70                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 164                     | 165                     | 153                     | 1,25 | 191       | 0,25  | 0,443                     | 0,087                     | 0,13     |
| ТП2-ТП1               | 482                     | 519                      | 708                     | 41                     | 29                                  | 35                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 82                      | 115                     | 107                     | 1,25 | 133       | 0,1   | 0,890                     | 0,095                     | 0,05     |
| ГПП-ТП4               | 755                     | 684                      | 1022                    | 59                     | 42                                  | 50                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 118                     | 140                     | 130                     | 1,25 | 162       | 0,2   | 0,620                     | 0,090                     | 0,11     |
| ТП4-ТП3               | 189                     | 220                      | 290                     | 17                     | 12                                  | 16                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 33                      | 75                      | 70                      | 1,25 | 87        | 0,25  | 1,940                     | 0,113                     | 0,10     |
| ГПП-ТП7               | 866                     | 674                      | 1099                    | 63                     | 45                                  | 50                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 127                     | 140                     | 130                     | 1,25 | 162       | 0,1   | 0,620                     | 0,090                     | 0,06     |
| ТП7-ТП5               | 272                     | 249                      | 369                     | 21                     | 15                                  | 16                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 43                      | 75                      | 70                      | -    | -         | 0,25  | 1,940                     | 0,113                     | 0,14     |
| ГПП-ТП8               | 1024                    | 994                      | 1427                    | 82                     | 59                                  | 70                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 165                     | 165                     | 153                     | 1,25 | 191       | 0,3   | 0,443                     | 0,087                     | 0,16     |
| ТП8-ТП9               | 819                     | 792                      | 1140                    | 66                     | 47                                  | 50                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 132                     | 140                     | 130                     | 1,25 | 162       | 0,5   | 0,620                     | 0,090                     | 0,29     |
| ТП9-ТП10              | 513                     | 476                      | 700                     | 40                     | 29                                  | 35                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 81                      | 115                     | 107                     | 1,25 | 133       | 0,17  | 0,890                     | 0,095                     | 0,09     |
| ГПП-ТП11              | 582                     | 399                      | 706                     | 41                     | 29                                  | 35                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 81                      | 115                     | 107                     | 1,25 | 133       | 0,15  | 0,890                     | 0,095                     | 0,08     |
| ТП3-НРП1              | 42                      | 49                       | 65                      | 93                     | 67                                  | 70                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 186                     | 200                     | 184                     | 1,35 | 248       | 0,10  | 0,549                     | 0,059                     | 1,61     |
| ТП3-НРП2              | 35                      | 36                       | 50                      | 72                     | 52                                  | 50                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 145                     | 165                     | 151                     | 1,35 | 204       | 0,10  | 0,769                     | 0,060                     | 1,83     |
| ТП3-НРП3              | 25                      | 26                       | 36                      | 52                     | 37                                  | 35                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 104                     | 135                     | 124                     | 1,35 | 167       | 0,05  | 1,100                     | 0,061                     | 0,90     |
| ТП3-НРП4              | 50                      | 53                       | 73                      | 106                    | 75                                  | 70                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 106                     | 200                     | 204                     | -    | -         | 0,15  | 0,549                     | 0,059                     | 2,86     |
| ТП6-НРП5              | 59                      | 58                       | 83                      | 119                    | 85                                  | 95                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 119                     | 240                     | 245                     | -    | -         | 0,10  | 0,405                     | 0,057                     | 1,70     |
| ТП6-НРП6              | 89                      | 79                       | 119                     | 172                    | 123                                 | 120                                  | ААШвУ      | 1  | В земле             | 172                     | 270                     | 275                     | -    | -         | 0,05  | 0,320                     | 0,057                     | 1,04     |
| ТП7-НРП7              | 49                      | 51                       | 71                      | 102                    | 73                                  | 95                                   | ААШвУ      | 1  | В воздухе           | 204                     | 165                     | 165                     | 1,25 | 206       | 0,07  | 0,405                     | 0,057                     | 0,99     |
| ТП7-НРП8              | 144                     | 128                      | 192                     | 139                    | 99                                  | 95                                   | ААШвУ      | 2  | В воздухе           | 139                     | 165                     | 165                     | -    | -         | 0,10  | 0,405                     | 0,057                     | 2,04     |
| ТП8-НРП9              | 60                      | 59                       | 85                      | 122                    | 87                                  | 95                                   | ААШвУ      | 1  | В земле             | 122                     | 240                     | 245                     | -    | -         | 0,07  | 0,405                     | 0,057                     | 1,21     |

Продолжение таблицы 13

| 1  | 2    | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8     | 9 | 10      | 11  | 12  | 13  | 14   | 15  | 16   | 17    | 18    | 19   |
|--|------|------|------|-----|-----|-----|-------|---|---------|-----|-----|-----|------|-----|------|-------|-------|------|
| ТП10-НРП10   | 121  | 99   | 157  | 113 | 81  | 95  | ААШВУ | 2 | В земле | 226 | 240 | 196 | 1,25 | 245 | 0,05 | 0,405 | 0,057 | 0,86 |
| ГПП-СД1;<br>ГПП-СД2                                      | 3150 | 1600 | 3533 | 204 | 146 | 150 | ААШВ  | 1 | В возд  | -   | 210 | 210 | -    | -   | 0,10 | 0,206 | 0,079 | 0,08 |
| ГПП-СД3;<br>ГПП-СД4                                      | 1600 | 705  | 1748 | 101 | 72  | 70  | ААШВ  | 1 | В возд  | -   | 130 | 130 | -    | -   | 0,10 | 0,443 | 0,086 | 0,08 |
| ГПП-СД5;<br>ГПП-СД6                                      | 1250 | 630  | 1400 | 81  | 58  | 50  | ААШВ  | 1 | В возд  | -   | 105 | 105 | -    | -   | 0,10 | 0,620 | 0,090 | 0,08 |
| ГПП-СД7;<br>ГПП-СД8                                      | 800  | 408  | 898  | 52  | 37  | 35  | ААШВ  | 1 | В возд  | -   | 80  | 80  | -    | -   | 0,10 | 0,890 | 0,095 | 0,08 |
| ГПП-АД1;<br>ГПП-АД2;<br>ГПП-АД3;<br>ГПП-АД4;<br>ГПП-АД5. | 630  | 390  | 741  | 43  | 31  | 35  | ААШВ  | 1 | В возд  | -   | 80  | 80  | -    | -   | 0,30 | 0,890 | 0,095 | 0,18 |
| ГПП-АД6;<br>ГПП-АД7;<br>ГПП-АД8.                         | 250  | 207  | 325  | 19  | 13  | 16  | ААШВ  | 1 | В земле | -   | 75  | 60  | -    | -   | 0,20 | 1,940 | 0,113 | 0,10 |



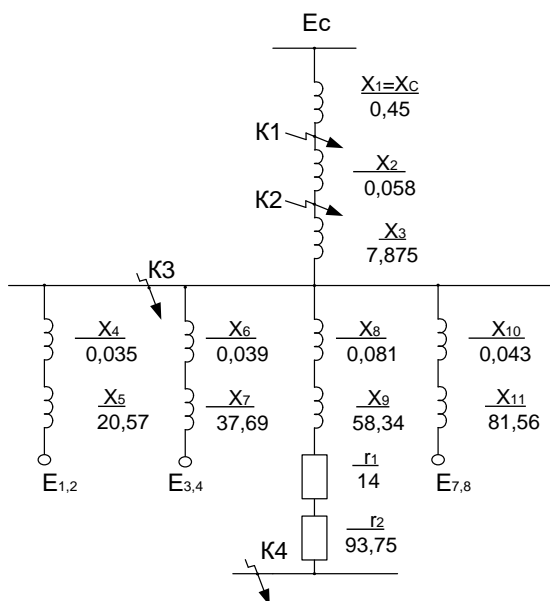


Рисунок 4 – Схема замещения для вычисления ТКЗ

Сопротивление силового трансформатора ГПП равно:

$$x_{T^*} = x_3 = 1,875 \cdot \frac{u_{K3}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{H.T.}}, \quad (67)$$

$$x_{T^*} = x_3 = 1,875 \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{1000}{25} = 7,875.$$

где  $S_{H.T.}$  – номинальная мощность трансформатора ГПП, МВА.

«Сопротивление КЛ, которые питают электродвигатели, мощность которых 3150 кВт» [19]:

$$x_4 = x_{KЛ1,2} = \frac{1}{2} \cdot x_0 \cdot l \cdot \frac{S_B}{U_{cp2}^2}, \quad (68)$$

$$x_4 = x_{KЛ1,2} = \frac{1}{2} \cdot 0,079 \cdot 0,1 \cdot \frac{1000}{10,5} = 0,035,$$

где  $U_{cp2}$  - среднее напряжение КЛ 10 кВ,  $U_{cp2} = 10,5$  кВ,

$$x_6 = x_{\text{КЛ } 3,4} = \frac{1}{2} \cdot 0,086 \cdot 0,1 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,0395.$$

$$x_{10} = x_{\text{КЛ } 7,8} = \frac{1}{2} \cdot 0,095 \cdot 0,1 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,043.$$

Сопротивление синхронных двигателей:

$$x_5 = x_{\text{Д1,2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{\text{Б}} \cdot x''}{P_{\text{Н.Д.}} / \cos\varphi}, \quad (69)$$

$$x_5 = x_{\text{Д1,2}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000 \cdot 0,144}{3,15/0,9} = 20,57.$$

где  $x''$  – сверхпереходная реактивность;

$P_{\text{Н.Д.}}$  – номинальная мощность двигателя, МВт.

$$x_7 = x_{\text{Д3,4}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000 \cdot 0,134}{\frac{1,6}{0,9}} = 37,69.$$

$$x_{11} = x_{\text{Д7,8}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1000 \cdot 0,145}{\frac{0,8}{0,9}} = 81,56.$$

«Точка К4 полагается расположенной на СШ 0,4 кВ ЦТП с трансформаторами максимальной мощности и наименее удаленной от ГПП, которой является ТП-7» [19].

Сопротивление КЛ от ГПП до ТП-7:

$$x_8 = x_{\text{КЛ}} = \frac{1}{2} \cdot x_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\text{Б}}}{U_{\text{ср}}^2}, \quad (70)$$

$$x_8 = x_{\text{КЛ}} = \frac{1}{2} \cdot 0,9 \cdot 0,1 \cdot \frac{1000}{10,5^2} = 0,081.$$

«В электросети напряжением до 1000 В требуется учитывать и активные сопротивления.

Сопротивления трансформатора цеховой ТП» [5]:

$$z_9 = z_{T7} = \frac{u_{кз}}{100} \cdot \frac{S_B}{S_{н.т.}}, \quad (71)$$

$$r_1 = r_{T7} = \Delta P_{кз} \cdot \frac{S_B}{S_{н.т.}^2}, \quad (72)$$

$$x_9 = x_{T7} = \sqrt{z^2 - r^2}, \quad (73)$$

$$z_9 = z_{T7} = \frac{6}{100} \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{1000} = 60,$$

$$r_1 = r_{T7} = 14 \cdot \frac{1000 \cdot 10^3}{1000^2} = 14,$$

$$x_9 = x_{T7} = \sqrt{60^2 - 14^2} = 58,34.$$

На основании [6] для РУ ЦТП  $r_k = 0,015 \text{ Ом}$ .

Это сопротивление в относительных единицах

$$r_2 = r_{k^*} = \frac{r_k}{r_B} = r_k \cdot \frac{S_B}{U_B^2}, \quad (74)$$

$$r_2 = r_{k^*} = 0,015 \cdot \frac{1000}{0,4^2} = 93,75.$$

Расчет ТКЗ.

«Для расчета ТКЗ в точке  $K_3$  приведем схему замещения к виду рисунка 5» [11].

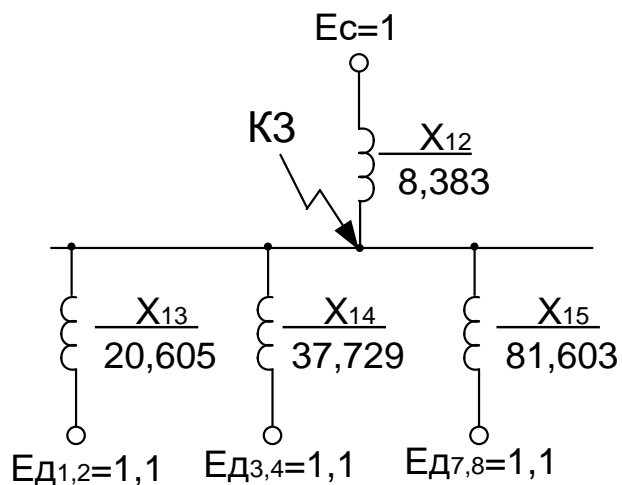


Рисунок 5 – Схема замещения для расчета ТКЗ в т. К3

Сопротивления на рисунке 5:

$$X_{12} = X_1 + X_2 + X_3, \quad (75)$$

$$X_{12} = 0,45 + 0,058 + 7,875 = 8,383,$$

$$X_{13} = X_4 + X_5, \quad (76)$$

$$X_{13} = 0,035 + 20,57 = 20,605;$$

$$X_{14} = X_6 + X_7, \quad (77)$$

$$X_{14} = 0,039 + 37,69 = 37,729;$$

$$X_{15} = X_{10} + X_{11}, \quad (78)$$

$$X_{15} = 0,043 + 81,56 = 81,603.$$

Базисный ток:

$$I_B = \frac{S_{C^*}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (79)$$

$$I_B = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА.}$$

«Начальные значения сверхпереходного тока каждой ветви» [3]:

$$I_C = \frac{E_{C^*}}{x_{14}} \cdot I_B, \quad (80)$$

$$I_C = \frac{1}{8,383} \cdot 55 = 6,56 \text{ кА.}$$

$$I_{Д1,2/0/} = \frac{E_{Д1,2^*}}{x_{13}} \cdot I_B, \quad (81)$$

$$I_{Д1,2/0/} = \frac{1,1}{20,605} \cdot 55 = 2,93 \text{ кА.}$$

$$I_{Д3,4/0/} = \frac{1,1}{37,729} \cdot 55 = 1,60 \text{ кА.}$$

$$I_{Д7,8/0/} = \frac{1,1}{81,603} \cdot 55 = 0,74 \text{ кА.}$$

Начальное значение ТКЗ в точке К<sub>3</sub>:

$$I_{К3} = I_C + I_{Д1,2/0/} + I_{Д3,4/0/} + I_{Д7,8/0/}; \quad (82)$$

$$I_{К3} = 6,56 + 2,93 + 1,6 + 0,74 = 11,83 \text{ кА.}$$

Ударный ТКЗ:

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{К3}, \quad (83)$$

где  $K_y = 1,92$  согласно [13].

$$i_{уд3} = \sqrt{2} \cdot 1,92 \cdot 11,83 = 32,1 \text{ кА.}$$

Рассчитывается ТКЗ в точке К<sub>4</sub>.

Активное сопротивление:

$$r_{\Sigma} = r_1 + r_2; \quad (84)$$

$$r_{\Sigma} = 14 + 93,75 = 107,75.$$

индуктивное сопротивление:

$$x_{\Sigma} = x_{12} + x_8 + x_9; \quad (85)$$

$$x_{\Sigma} = 8,383 + 0,081 + 58,34 = 66,804;$$

тогда полное сопротивление составляет:

$$z_{\Sigma} = \sqrt{x^2 + r^2}, \quad (86)$$

$$z_{\Sigma} = \sqrt{66,804^2 + 107,75^2} = 126,8.$$

Мощность КЗ:

$$S_{K34} = \frac{S_B}{z_{\Sigma}}, \quad (87)$$

$$S_{K34} = \frac{1000}{126,8} = 7,88 \text{ МВА.}$$

ТКЗ при базисном напряжении  $U_B = 0,4 \text{ кВ}$  найдем по формуле:

$$I_{K4} = I_{II,0} = I_{II,t} = \frac{S_{K34}}{\sqrt{3} \cdot U_B}, \quad (88)$$

$$I_{K4} = I_{II,0} = I_{II,t} = \frac{7,88}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 11,37 \text{ кА.}$$

Ударный ток КЗ.

$$i_{уд4} = \sqrt{2} \cdot 1,17 \cdot 11,37 = 18,8 \text{ кА}.$$

где ударный коэффициент  $K_u$  определяется по кривым и составляет 1,17, согласно [13].

Время отключения КЗ в различных точках СЭС.

Т.1. Автоматические выключатели на вводах НРП 0,4 кВ : -  $t_{сз1} = 0,1$  с.

Т.2. Автоматический выключатель секционный ТП 0,4 кВ: -  $t_{сз2} = 0,2$  с.

Т.3. Автоматические выключатели вводные ТП 0,4 кВ: -  $t_{сз3} = 0,3$  с.

Т.3. Выключатели вводные на ТП 10 кВ: -  $t_{сз4} = t_{сз3} + \Delta t = 0,3 + 0,4 = 0,7$  с.,

где  $\Delta t$  – ступень селективности (для п./п. реле).

Т.4. Выключатели отходящей линии с ГПП на ТП 10 кВ: -  $t_{сз3} = 1,1$  с.

«Проверка кабелей напряжением 10 кВ на термическую стойкость к ТКЗ. Минимальное термически стойкое сечение» [19]:

$$F_{\text{ТЕР}} = \frac{I_{\text{Л.О.}} \sqrt{t_{\text{К.З}}}}{C}, \quad (89)$$

где  $C$  – коэффициент,  $\frac{\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2}$ .

Время отключения для ТП и минимальное сечение жил кабеля.

$$t_{\text{К.З.СД}} = t_{\text{рз}} + t_{\text{ОВ}} + T_{\text{А}}, \quad (90)$$

$$t_{\text{К.З.СД}} = 0,01 + 0,095 + 0,1 = 0,205 \text{ с.}$$

$$F_{\text{ТЕР.СД}} = \frac{11,83 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,205}}{100} = 53,5 \text{ мм}^2.$$

$$t_{\text{К.З.ТП}} = 1,1 + 0,095 + 0,1 = 1,295 \text{ с.}$$

$$F_{\text{ТЕР.ТП}} = \frac{11,83 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{1,295}}{100} = 134 \text{ мм}^2.$$

В таблице 14 приведены термически устойчивые сечения кабелей.

Таблица 14 – Термически устойчивые сечения кабелей

| Конечные пункты КЛ | S, мм <sup>2</sup> (ранее выбранная) | S, мм <sup>2</sup> | Кабель      | r <sub>0</sub> , Ом/км | x <sub>0</sub> , Ом/км |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------|-------------|------------------------|------------------------|
| ГПП-ТП6            | 120                                  | 150                | ААШвУ 3х150 | 0,206                  | 0,079                  |
| ТП6-ТП2            | 70                                   |                    |             |                        |                        |
| ТП2-ТП1            | 35                                   |                    |             |                        |                        |
| ГПП-ТП4            | 50                                   |                    |             |                        |                        |
| ТП4-ТП3            | 16                                   |                    |             |                        |                        |
| ГПП-ТП7            | 50                                   |                    |             |                        |                        |
| ТП7-ТП5            | 16                                   |                    |             |                        |                        |
| ГПП-ТП8            | 70                                   |                    |             |                        |                        |
| ТП8-ТП9            | 50                                   |                    |             |                        |                        |
| ТП9-ТП10           | 35                                   |                    |             |                        |                        |
| ГПП-ТП11           | 35                                   |                    |             |                        |                        |
| ГПП-СД5;6          | 50                                   | 70                 | ААШвУ 3х70  | 0,443                  | 0,086                  |
| ГПП-СД7;8          | 35                                   |                    |             |                        |                        |
| ГПП-АД1;2;3;4;5    | 35                                   |                    |             |                        |                        |
| ГПП-АД6;7;8        | 16                                   |                    |             |                        |                        |

На основании полученных расчетным путем данных проведём выбор электрооборудования системы электроснабжения.

## 2.5 Выбор электрооборудования системы внутреннего электроснабжения завода полимерных изделий

РУ на напряжении 10 кВ ГПП принимается комплектным из шкафов серии КРУ-10 [22].

Выбор выключателей КРУ-10

«Секционные выключатели принимаются такие же, как и за силовыми трансформаторами» [19]. Выбор выключателей для напряжения 10 кВ осуществляется по тем же параметрам, что и для 110 кВ.

Выбираются вводные и секционный выключатели в ЗРУ 10 кВ. Ток на вводах 10 кВ в утяжелённом режиме  $I_{\max} = 1010$  А. К установке выбирается выключатель ВВ/TEL -10 -20/1600 У2 с блоками ВР – 02А и ВU – 05А.



Апериодическая составляющая ТКЗ:

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi,0} \cdot e^{-\tau/T_a}, \quad (91)$$

где  $T_a$  – постоянная [20];

$\tau$  - расчетное время:

$$\tau = t_{3,\text{MIN}} + t_{\text{с.в.}}, \quad (92)$$

$$\tau = 0,01 + 0,085 = 0,095 \text{ с};$$

$$i_{a,\tau} = \sqrt{2} \cdot 11,83 \cdot e^{-0,095/0,03} = 8,48 \text{ кА}.$$

«Номинальное допускаемое значение апериодической составляющей в отключаемом токе для времени  $\tau$  определим как» [20]:

$$i_{a,H} = \sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{\text{откл.ном}}, \quad (93)$$

$$i_{a,H} = \sqrt{2} \cdot 0,3 \cdot 20 = 8,48 \text{ кА}.$$

где  $\beta_H$  – из паспортных данных, где  $\beta_H = 0,3$ ;

$I_{\text{откл.ном}}$  – номинальный ток отключения.

Тепловой импульс квадратичного ТКЗ:

$$W_K = I_{\Pi,0}^2 \cdot (t_{\text{отк}} + T_a), \quad (94)$$

где  $t_{\text{отк}}$  – время отключения, определяется по формуле:

$$t_{\text{отк}} = t_{\text{р.з.}} + t_{\text{о.в.}}, \quad (95)$$

где  $t_{\text{р.з.}}$  – время действия РЗ,  $t_{\text{р.з.}} = 1,9 \text{ с}$ ;

$t_{\text{о.в.}}$  – полное время отключения выключателя,  $t_{\text{о.в.}} = 0,095 \text{ с}$ .

Подставляя числовые значения, получим:

$$t_{\text{отк}} = 1,9 + 0,095 = 1,995 \text{ с.}$$

$$B_{\text{к}} = 11,83^2 \cdot (1,995 + 0,03) = 283,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

Все каталожные и расчетные данные сведены в таблицу 15.

К установке выбираются вакуумные выключатели ВВ/TEL -10 -20/1600 У2 с блоками ВР – 02А и ВU – 05А, здесь же смонтирована релейная защита.

Выключатели напряжением 10 кВ на отходящих линиях выбираются аналогично, результаты выбора выключателя самой мощной линии ( $I_{\text{max}} = 204 \text{ А}$ ) представлены в таблице 15. Для всех остальных линий применяются однотипные выключатели.

Таблица 15 – Результаты выбора выключателей на вводах

| Расчетные данные                                   | Технические характеристики ВВ/TEL -10 -20/1600 У2                             | Технические характеристики ВВ/TEL -10 -20/1000 У2                             |
|--|---|---|
| $U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$                   | $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$  | $U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$  |
| $I_{\text{max}} = 1010 \text{ А}$                  | $I_{\text{н}} = 1600 \text{ А}$   | $I_{\text{н}} = 1000 \text{ А}$   |
| $I_{\text{п,t}} = 11,83 \text{ кА}$                | $I_{\text{отк.н}} = 20 \text{ кА}$  | $I_{\text{отк.н}} = 20 \text{ кА}$  |
| $i_{\text{a,t}} = 0,7 \text{ кА}$                  | $i_{\text{a,н}} = 8,48 \text{ кА}$  | $i_{\text{a,н}} = 8,48 \text{ кА}$  |
| $I_{\text{п,0}} = 11,83 \text{ кА}$                | $I_{\text{пр.скв}} = 20 \text{ кА}$   | $I_{\text{пр.скв}} = 20 \text{ кА}$   |
| $i_{\text{уд}} = 32,1 \text{ кА}$                  | $i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$  | $i_{\text{дин}} = 52 \text{ кА}$  |
| $B_{\text{к}} = 283,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{\text{терм.н}}^2 \cdot t_{\text{дин}} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{\text{терм.н}}^2 \cdot t_{\text{дин}} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

Выбор ТТ в ячейках КРУ

Максимальный (послеаварийный) ток вводной ячейки 10 кВ силового трансформатора:

$$I_{\text{max}} = \frac{K_{\text{з.п.}} \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.н.}} \cdot 2}; \quad (96)$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1,16 \cdot 25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 2} = 838 \text{ А.}$$

В шкафах КРУ на вводных ячейках устанавливаются ТТ типа ТЛШ-10-1 0,5/10Р 1000/5. Сравнение параметров сети и технических характеристик ТТ приведено в таблице 16.

Таблица 16 – Сравнение параметров сети и технических характеристик ТТ

| Параметры сети                            | Технические характеристики ТТ ТЛШ-10-1 0,5/10Р 1000/5.                        |
|---|---|
| $U_{УСТ} = 10 \text{ кВ}$                 | $U_H = 10 \text{ кВ}$   |
| $I_{МАХ} = 838 \text{ А}$                 | $I_H = 1000 \text{ А}$  |
| $i_{уд} = 32,1 \text{ кА}$                | $i_{ДИН} = 81 \text{ кА}$   |
| $B_K = 283,4 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} = 31,5^2 \cdot 3 = 2976 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

ТТ в остальных ячейках определяются аналогично, их типы даны в таблице 17.

Таблица 17 – Выбор трансформаторов тока отходящих ЛЭП

| КЛ                   | $U_H, \text{ кВ}$ | $I_p, \text{ А}$ | $I_{утяж}, \text{ А}$ | Тип трансформатора тока  |
|----------------------|-------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| ГПП-ТП6              | 10                | 89               | 178                   | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.200/5 |
| ГПП-ТП4              | 10                | 42               | 84                    | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.100/5 |
| ГПП-ТП7              | 10                | 45               | 91                    | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.100/5 |
| ГПП-ТП8              | 10                | 59               | 118                   | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.150/5 |
| ГПП-ТП11             | 10                | 29               | 58                    | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.75/5  |
| ГПП-СД1;ГПП-СД2      | 10                | 204              | 204                   | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.300/5 |
| ГПП-СД3;ГПП-СД4      | 10                | 101              | 101                   | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.150/5 |
| ГПП-СД5;ГПП-СД6      | 10                | 81               | 81                    | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.100/5 |
| ГПП-СД7;ГПП-СД8      | 10                | 52               | 52                    | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.75/5  |
| ГПП-АД1; 2; 3; 4; 5. | 10                | 43               | 43                    | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.50/5  |
| ГПП-АД6; 7; 8.       | 10                | 19               | 19                    | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.30/5  |
| ГПП-ДСП1; 2; 3.      | 10                | 162              | 162                   | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.200/5 |
| ГПП-ПСКН1; 2; 3.     | 10                | 58               | 58                    | ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.75/5  |

В цепи секционного выключателя к установке принимаются ТТ того же типа, что и в цепи силового трансформатора на стороне НН, то есть трансформаторы тока типа ТЛШ-10-1 0,5/10Р 1000/5. В шкафах КРУ устанавливаются ТТ типа ТЛ-10-1-У3 0,5/10Р.

Выбор ТН.

На систему шин НН 10 кВ намечаются следующие трансформаторы напряжения 3хЗНОЛ 0,6-10-УЗ. Произведем необходимые проверки:

- по напряжению:  $U_{уст} = 10 \text{ кВ} = U_{ном}$ ;
- по конструкции – один трехфазный;
- кл.т. 0.5, в этом кл.т.  $S_{2ном} = 75 \text{ ВА}$ .
- по вторичной ЭН:

$$S_{2\Sigma} \leq S_{ном},$$

где  $S_{ном}$  - номинальная мощность вторичной обмотки в выбранном кл.т.;

$S_{2\Sigma}$  - ЭН всех КИП и реле, которые присоединены к ТН.

Перечень необходимых КИП выбран ранее. Подсчет вторичной ЭН дан в таблице 18.

Таблица 18 – Вторичная ЭН ТН

| КИП                      |             | Тип         | S одной обмотки, В·А. | Число обмоток | Число КИП | Общая потребляемая мощность S, В·А. |
|--------------------------|-------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-------------------------------------|
| Вольтметр (сборные шины) |             | Э-365-1     | 2,0                   | 1             | 2         | 4,0                                 |
| Ваттметр                 | Ввод 10 кВ  | Ц301/1      | 5,0                   | 2             | 1         | 10,0                                |
| Счетчик Р и Q.           |             | СЭТ-4ТМ.03. | 1,3                   | 3             | 1         | 3,9                                 |
| Счетчик Р и Q.           | Линии 10 кВ | СЭТ-4ТМ.03. | 1,3                   | 3             | 11        | 42,9                                |
| Итого:                   |             |             |                       |               |           | 60,8                                |

Мощность, которая потребляется КИП равна:  $S_{нагр} = 60,8 \text{ ВА}$ .

Номинальная мощность трех ТН, которые соединены в звезду,

$$S_{2ном} = 3 \cdot 75 = 225 \text{ ВА},$$

откуда можно сделать вывод,

$$S_{НАГР} = 60,8 \text{ ВА} < S_{2НОМ} = 225 \text{ ВА} ,$$

следовательно, ТН будут работать в кл.т. 0,5.

Выбор ТСН ГПП.

Мощность трансформаторов выбирается по ЭН с учетом коэффициентов загрузки и одновременности, при этом отдельно учитывают летнюю и зимнюю нагрузки, а также ЭН в период ремонтных работ на подстанции. Все нагрузки даны в таблице 19.

Таблица 19 – Нагрузка с.н. ГПП

| Вид потребителя                 | Установленная мощность |            | cos φ | tg φ | Нагрузка               |                         |
|---------------------------------|------------------------|------------|-------|------|------------------------|-------------------------|
|                                 | единицы, кВт х кол-во  | всего, кВт |       |      | P <sub>уст</sub> , кВт | Q <sub>уст</sub> , квар |
| Охлаждение ТРДН-25000/110       | 4х2                    | 8          | 0,8   | 0,75 | 8,00                   | 6,00                    |
| Подогрев ВГБ-110                | 1,32 х 2               | 2,64       | 1,0   | 0,00 | 2,64                   | —                       |
| Устройства связи                | 1                      | 1          | 1,0   | 0,00 | 1,00                   | —                       |
| Отопление ОПУ, ЗРУ.             | 25                     | 25         | 1,0   | 0,00 | 25,00                  | —                       |
| Освещение, вентиляция ЗРУ       | 10                     | 10         | 0,8   | 0,75 | 10,00                  | 7,50                    |
| Освещение ОРУ 110 кВ            | 5                      | 5          | 0,8   | 0,75 | 5,00                   | 3,75                    |
| Маслохозяйство                  | 10                     | 10         | 0,8   | 0,75 | 10,00                  | 7,50                    |
| Питание двигат. привода ВГБ-110 | 1,5х2                  | 3          | 0,8   | 0,75 | 3,00                   | 2,25                    |
| Система пожаротушения           | 3                      | 3          | 0,8   | 0,75 | 3,00                   | 2,25                    |
| Питание РПН трансформаторов     | 1х2                    | 2          | 0,8   | 0,75 | 2,00                   | 1,50                    |
| Питание цепей операт. управл.   | 20                     | 20         | 0,8   | 0,75 | 20,00                  | 15,00                   |
| Ремонтные нужды.                | 5                      | 5          | 0,8   | 0,75 | 5,00                   | 3,75                    |
| Итого:                          |                        |            |       |      | 94,64                  | 49,50                   |

«Приняв для двигательной нагрузки  $\cos \varphi = 0,8$ , определяют  $Q_{уст}$  и расчетную нагрузку» [20]:

$$S_{расч} = k_c \cdot \sqrt{P_{уст}^2 + Q_{уст}^2} , \quad (97)$$

«где  $k_c$  - коэффициент спроса, учитывающий коэффициенты одновременности и загрузки» [20]. В расчётах принимается  $k_c = 0,8$ .

$$S_{\text{РАСЧ}} = 0,8 \cdot \sqrt{96,64^2 + 49,5^2} = 85,5 \text{ кВА.}$$

При двух трансформаторах собственных нужд на подстанции [16]:

$$S_{\text{ТСН}} \geq S_{\text{РАС}}, \quad (98)$$

Принимаются к установке два трансформатора ТСЗ-100 кВА. При отключении одного трансформатора второй может нести полностью нагрузку с.н. ГПП.

Выбор коммутационных аппаратов на ЦТП.

Выключатели напряжением 10 кВ устанавливаются на вводах ЦТП для питания ТМЗ-1000 кВ·А в ячейки КСО-285, результаты выбора выключателя самой мощной линии представлены в таблице 20. Для всех остальных линий применяются однотипные выключатели.

Максимальный (послеаварийный) ток ввода 10 кВ силового трансформатора ТМЗ-1000 кВ·А:

$$I_{\text{МАХ}} = \frac{K_{\text{з.п.}} \cdot S_{\text{н.т.}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н.н.}}} \quad (99)$$

$$I_{\text{МАХ}} = \frac{1,4 \cdot 1000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 81 \text{ А.}$$

Таблица 20 – Результаты выбора выключателей на вводах к ТМЗ-1000 кВ·А

| Расчетные данные                                   | Технические характеристики ВВ/TEL -10 -20/1000 У2                             |
|--|---|
| $U_{\text{УСТ}} = 10 \text{ кВ}$                   | $U_{\text{Н}} = 10 \text{ кВ}$  |
| $I_{\text{МАХ}} = 81 \text{ А}$                    | $I_{\text{Н}} = 1000 \text{ А}$   |
| $I_{\text{П,т}} = 11,83 \text{ кА}$                | $I_{\text{ОТК.Н}} = 20 \text{ кА}$  |
| $i_{\text{а,т}} = 0,7 \text{ кА}$                  | $i_{\text{а,Н}} = 8,48 \text{ кА}$  |
| $I_{\text{П,0}} = 11,83 \text{ кА}$                | $I_{\text{ПР.СКВ}} = 20 \text{ кА}$   |
| $i_{\text{уд}} = 32,1 \text{ кА}$                  | $i_{\text{ДИН}} = 52 \text{ кА}$  |
| $B_{\text{к}} = 171,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I^2_{\text{ТЕРМ.Н}} \cdot t_{\text{ДИН}} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

К установке выбираются камеры сборные КСО-285 с выключателем ВВ/TEL -10 -20/1000 У2 с блоками ВР – 02А и ВU – 05А, здесь же сооружена РЗ.

«ВН и предохранители устанавливаются на вводах ЦТП при питании последних по магистральным схемам и мощностью силовых трансформаторов меньше 1000 кВА» [16].

«В качестве примера рассматривается выбор указанных аппаратов для ТП-9, на которой установлены два трансформатора типа ТМЗ-630/10» [16].

Выбор ВН приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Результаты выбора ВН

| Условия выбора                     | Расчетные параметры сети                  | Технические характеристики ВНР-10/400-20з УЗ                    |
|------------------------------------|---|---|
| $u_{НОМ} \geq u_{УСТ}$             | $U_{УСТ} = 10 \text{ кВ}$                 | $U_{Н} = 10 \text{ кВ}$   |
| $I_{НОМ} \geq I_{УТЯЖ}$            | $I_{УТЯЖ} = 48 \text{ А}$                 | $I_{НОМ} = 400 \text{ А}$                                       |
| $I_{П,0} \geq I_{ПР.СКВ}$          | $I_{П,0} = 11,83 \text{ кА}$              | $I_{ПР.СКВ} = 20 \text{ кА}$                                    |
| $i_{ДИН} \geq i_{УД}$              | $i_{УД} = 32,1 \text{ кА}$                | $i_{ДИН} = 52 \text{ кА}$                                       |
| $I_{ТЕР}^2 \cdot t_{ТЕР} \geq B_K$ | $B_K = 171,5 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{ТЕРМ.Н}^2 \cdot t_{ДИН} = 1200 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ |

Выбор предохранителей дан в таблице 22.

Таблица 22 – Результаты выбора предохранителей

| Условия выбора           | Расчетные параметры сети  | Технические характеристики ПКТ103-10-50-20УЗ |
|--------------------------|---------------------------|--|
| $u_{НОМ} \geq u_{УСТ}$   | $U_{УСТ} = 10 \text{ кВ}$ | $U_{Н} = 10 \text{ кВ}$                      |
| $I_{НОМ} \geq I_{УТЯЖ}$  | $I_{УТЯЖ} = 48 \text{ А}$ | $I_{НОМ} = 50 \text{ А}$                     |
| $I_{НОМ.ОТКЛ.} \geq I_K$ | $I_K = 11,83 \text{ кА}$  | $I_{НОМ.ОТКЛ.} = 20 \text{ кА}$              |

Ток в максимальном режиме для трансформатора ТМЗ-630/10/0,4:

$$I_{\text{макс}} = \frac{K_{3.П.} \cdot S_{Н.Т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{В.Н.}}, \quad (100)$$

где  $K_{з.п.}$ - коэффициент загрузки данного трансформатора в п/ав режиме,

$$I_{\max} = \frac{1,32 \cdot 630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 48 \text{ А.}$$

«Аналогично выбираются ВН и предохранители на вводе остальных ЦТП, результаты выбора даны в таблице 23» [15].

Таблица 23 – Результаты выбора выключателей нагрузки и предохранителей

| Номер ТП | $U_{\text{НОМ}}$ , кВ | $I_{\text{РАБ}}$ , А | $I_{\text{МАКС}}$ , А | $I_{\text{КЗ}}$ , кА | Тип выключателя нагрузки | Тип предохранителя  |
|----------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
| ТП-3     | 10                    | 15,9                 | 31,7                  | 11,83                | ВНР-10/400-20з У3        | ПКТ103-10-40-20У3   |
| ТП-5     | 10                    | 20,1                 | 20,1                  | 11,83                | ВНР-10/400-20з У3        | ПКТ103-10-31,5-20У3 |
| ТП-8     | 10                    | 15,9                 | 31,7                  | 11,83                | ВНР-10/400-20з У3        | ПКТ103-10-40-20У3   |

## Выводы к разделу 2

Во втором разделе ВКР разработан проект электроснабжения завода полимерных изделий. Рассчитаны трансформаторы цеховых ТП и устройства КРМ. В связи с тем, что трансформаторы ЦТП располагаются в цехах, приняты трансформаторы ТМЗ разных мощностей. Питание ряда цехов выполнено от соседней ТП, при этом в данных цехах установлены НРП. На ряде ТП приняты к установке конденсаторных установок. Принят вариант внешнего электроснабжения завода напряжением 110 кВ. Выбраны кабельные линии распределительных сетей завода полимерных изделий. Выбрано электрооборудование системы электроснабжения завода полимерных изделий.



### 3 Расчет капиталовложений на внедрение проекта системы электроснабжения

«Суммарные капиталовложения на внедрение проекта СЭС состоят из капиталовложений в оборудование, оплаты проектных работ, затрат на монтаж и наладку электрооборудования» [14]. Капиталовложения в оборудование необходимо определять по каталогам производителей. Расчет капиталовложений в электрооборудование системы внешнего электроснабжения сведен в таблицу 24.

Таблица 24 – Расчет капиталовложений в электрооборудование системы внешнего электроснабжения

| Наименование оборудования                                  | Ед. изм. | Количество | Цена единицы, тыс. руб. | Капиталовложения, тыс. руб. |
|--|----------|------------|-------------------------|-----------------------------|
| Трансформатор ТРДН 25000/110                               | шт       | 2          | 20311                   | 40622                       |
| Воздушная линия 110 кВ на двухцепных железобетонных опорах | км       | 1,9        | 6935                    | 13176                       |
| Выключатель ВГБ-110-40/2000                                | шт       | 4          | 1120                    | 4480                        |
| Разъединитель РГП – 110/1000                               | шт       | 6          | 106,4                   | 638,4                       |
| Ограничитель перенапряжения ОПН-П1–110/77/10 [8]           | шт       | 6          | 26,1                    | 156,6                       |
| Ограничитель перенапряжения ОПН-П1–110/60/10 [8]           | шт       | 2          | 19,6                    | 39,2                        |
| Заземляющий ножЗОН – 110 У                                 | шт       | 2          | 41                      | 82                          |
| <b>ИТОГО</b>   |          |            |                         | 59195                       |

Расчет капиталовложений в электрооборудование системы внутреннего электроснабжения сведен в таблицу 25.

Таблица 25 – Расчет капиталовложений в оборудование системы внутреннего электроснабжения

| Наименование     | Един. измер. | Кол-во | Стоимость единицы | Стоимость за позицию |
|------------------|--------------|--------|-------------------|----------------------|
| 2КТП-1000/10/0,4 | компл        | 7      | 677730            | 4744110              |
| 2КТП-630/10/0,4  | компл        | 1      | 396937            | 396937               |

Продолжение таблицы 25

|  |       |      |        |          |
|--|-------|------|--------|----------|
| 2КТП-400/10/0,4  | КОМПЛ | 2    | 390607 | 781214   |
| КТП-400/10/0,4   | КОМПЛ | 1    | 203500 | 203500   |
| Трансформатор ТМЗ-1000/10/0,4                                    | ШТ    | 14   | 330000 | 4620000  |
| Трансформатор ТМЗ-630/10/0,4                                     | ШТ    | 2    | 240000 | 480000   |
| Силовой трансформатор ТМЗ-400/10/0,4                             | ШТ    | 5    | 198000 | 990000   |
| Ячейки КРУ-10 кВ с вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-20/1000 У2 | КОМПЛ | 42   | 950000 | 39900000 |
| Трансформаторы напряжения 3хЗНОЛ.06.10                           | ШТ    | 4    | 10150  | 40600    |
| Установка компенсации реактивной мощности УКЛ-10,5-1350 У1       | ШТ    | 4    | 261050 | 1044200  |
| Трансформаторы собственных нужд ТСЗ-100/10                       | ШТ    | 2    | 320299 | 640598   |
| Кабель ААШВУ 3х150   | м     | 2620 | 449    | 1176380  |
| Кабель ААШВУ 3х120   | м     | 750  | 401    | 300750   |
| Кабель ААШВУ 3х70  | м     | 3300 | 287    | 947100   |
| Кабель ААШВ 4х120  | м     | 50   | 350    | 17500    |
| Кабель ААШВ 4х95   | м     | 390  | 291    | 113490   |
| Кабель ААШВ 4х70   | м     | 250  | 232    | 58000    |
| Кабель ААШВ 4х50   | м     | 100  | 214    | 21400    |
| Кабель ААШВ 4х35   | м     | 50   | 185    | 9250     |
| Низковольтный распределительный пункт                            | КОМПЛ | 10   | 60000  | 600000   |
| ИТОГО  |       |      |        | 57085029 |

Таким образом, суммарные капиталовложения в оборудование завода полимерных изделий составляют:

$$K = 59195000 + 57085029 = 116280029 \text{ руб.}$$

Стоимость монтажных работ с учетом наладки оборудования принимается в размере 40 % от суммарных капиталовложений в оборудование завода полимерных изделий и составляет:

$$C_{\text{м.р.}} = 0,4 \cdot K, \quad (101)$$

$$C_{\text{м.р.}} = 0,4 \cdot 116280029 = 46512012 \text{ руб.}$$

Составление ПИР можно принять в размере 1% от суммарных капиталовложений в оборудование завода полимерных изделий:

$$C_{\text{пр-см.}} = 0,01 \cdot K, \quad (102)$$

$$C_{\text{пр-см.}} = 0,01 \cdot 116280029 = 1162800 \text{ руб.}$$

«Суммарные капиталовложения на внедрение проекта СЭС составляют» [13]:

$$\Sigma K = K + C_{\text{м.р.}} + C_{\text{пр-см.}}; \quad (103)$$

$$\Sigma K = 116280029 + 46512012 + 1162800 = 163954841 \text{ руб.}$$

### 3.1 Расчет издержек на эксплуатацию системы электроснабжения

«Издержки на эксплуатацию СЭС завода полимерных изделий состоят из амортизационных отчислений, затрат на ТОиР и компенсацию потерь в электросетях» [13]:

$$И = И_{\text{ам}} + И_{\text{тоир}} + И_{\text{пот}}; \quad (104)$$

«где  $И_{\text{ам}}$  – амортизационные отчисления, руб./год;

$И_{\text{тоир}}$  – затраты на ТОиР, руб./год;

$И_{\text{пот}}$  – компенсация потерь в электросетях, руб./год» [13].

Амортизационные отчисления [13]:

$$И_{\text{ам}} = \Sigma K \cdot \frac{\beta_{\text{ам}}}{100}; \quad (105)$$

где  $\Sigma K$  – капиталовложения на СЭС завода, руб.;

$\beta_{\text{ам}}$  – удельные амортизационные отчисления,  $\beta_{\text{ам}} = 4,4 \%$ ;

$$I_{\text{ам}} = 163954841 \cdot \frac{4,4}{100} = 7214013 \text{ руб./год.}$$

Затраты на ТОиР электрооборудования СЭС завода полимерных изделий:

$$I_{\text{тоир}} = \Sigma K \cdot \frac{\beta_{\text{тоир}}}{100}; \quad (106)$$

где  $\beta_{\text{тоир}}$  – норма на ТОиР электрооборудования СЭС завода полимерных изделий,  $\beta_{\text{тоир}} = 4,0 \%$ ;

$$I_{\text{тоир}} = 163954541 \cdot \frac{4}{100} = 6558194 \text{ руб./ год.}$$

Удельная стоимость потерь электроэнергии:

$$C'_0 = \delta \cdot \left( \frac{\alpha \cdot 12 \cdot K_M}{\tau} + \beta \right); \quad (107)$$

где  $\alpha$  - основная ставка тарифа,  $\alpha = 903,8$  руб./ кВт·месяц ;

$\beta$  - стоимость 1 кВт·ч,  $\beta = 0,9043$  руб./ кВт·ч ;

$\delta$  - коэффициент, для 10 кВ  $\delta = 1,1$  [19]

$$C'_0 = 1,1 \cdot \left( \frac{903,8 \cdot 12 \cdot 0,85}{2470} + 0,9043 \right) = 4,7 \text{ руб./ кВт·ч.}$$

«Потери активной энергии в КЛ завода полимерных изделий за год»  
[11]:

$$\Delta A_{\text{К.Л.}} = N \cdot (3 \cdot I_{\text{п.к.}}^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot \tau), \quad (108)$$

где N – число ЛЭП,

для КЛ от ГПП до ТП6

$$\Delta A_{\text{к.л.}} = 2 \cdot (3 \cdot 124^2 \cdot 0,15 \cdot 0,326 \cdot 2740) \cdot 10^{-3} = 12429 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

«Стоимость потерь электроэнергии по двухставочному тарифу» [11]:

$$C_{\text{э}} = \Delta A_{\text{к.л.}} \cdot C_0', \quad (109)$$

$$C_{\text{э}} = 12429 \cdot 4,7 = 58414 \text{ руб.}$$

«Аналогично определяется стоимость потерь в остальных КЛ. Суммарная стоимость потерь во всех КЛ завода полимерных изделий» [11]:

$$I_{\text{пот}} = \sum C_{\text{э}i} = 653827 \text{ руб.}$$

Издержки на эксплуатацию СЭС завода полимерных изделий равны:

$$И = 7214013 + 6558194 + 653827 = 14426034 \text{ руб. / год.} = 14426 \text{ тыс. руб./год.}$$

Выводы к разделу 3

В третьем разделе выпускной квалификационной работы разработана экономическая часть. Суммарные капиталовложения на внедрение проекта СЭС составляют 163954841 руб. Издержки на эксплуатацию СЭС завода полимерных изделий равны 14426 тыс. руб./год.

## Заключение

В ВКР разработан проект системы электроснабжения завода полимерных изделий.

В перво разделе выпускной квалификационной работы проведен расчет электрических нагрузок предприятия. Представлена общая характеристика исследуемого завода полимерных изделий, план предприятия, цеха предприятия. Определена категория цехов предприятия. Приведены данные системы внешнего электроснабжения. Расчет нагрузок проведен для ремонтно-механического цеха предприятия и для всего завода полимерных изделий в целом. Суммарная установленная мощность потребителей предприятия составляет 41565 кВт. В заключительной части главы рассчитаны картограммы электрических нагрузок и определен центр электрических нагрузок. В центре электрических нагрузок размещение ГПП 110/10 затруднено. ЦЭН находится в районе воздуходувной станции. Поэтому принято решение сместить ГПП в сторону питания.

Во втором разделе выпускной квалификационной работы разработан проект электроснабжения завода полимерных изделий. Рассчитаны трансформаторы цеховых ТП и устройства компенсации реактивной мощности. Поскольку трансформаторы цеховых ТП расположены в цехах, и никаких ограничений к установке масляных трансформаторов не имеется, то принимаются к установке трансформаторы типа ТМЗ различных мощностей. В проекте предусмотрено питание некоторых цехов от соседней трансформаторной подстанции, при этом в этих цехах установлены низковольтные распределительные пункты. На ряде ТП приняты к установке конденсаторных установок. Проведен расчет вариантов внешнего электроснабжения на напряжения 35 кВ и 110 кВ. Приведенные затраты по варианту с напряжением 35 кВ на 13,62% меньше, чем затраты по варианту с напряжением 110 кВ. Принимается вариант внешнего электроснабжения напряжением 110 кВ. Выбраны кабельные линии распределительных сетей

завода полимерных изделий. Выбрано электрооборудование системы электроснабжения завода полимерных изделий.

В третьем разделе выпускной квалификационной работы разработана экономическая часть. Суммарные капиталовложения в оборудование завода полимерных изделий составляют 116280029 рублей. Стоимость монтажных работ с учетом наладки оборудования 46512012 рублей. Составление проектно-сметной документации стоит 1162800 рублей. Суммарные капиталовложения на внедрение проекта системы электроснабжения составляют 163954841 рубль. Амортизационные отчисления составляют 7214013 рублей в год. Затраты на текущий ремонт и обслуживание электрооборудования системы электроснабжения завода полимерных изделий составляют 6558194 рублей в год. Суммарная стоимость потерь во всех кабельных линиях завода полимерных изделий составляет 653824 рублей в год. Издержки на эксплуатацию системы электроснабжения завода полимерных изделий равны 14426034 руб. в год.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Гужов Н.П., Ольховский В.Я., Павлюченко Д.А. Системы электроснабжения. Учебник. — Новосибирск: НГТУ, 2008. — 258 с.
2. Зорин В.В., Тисленко В.В. Системы электроснабжения общего назначения. Учебник. — Чернигов: ЧГТУ, 2005. — 341 с.
3. Измерительные трансформаторы тока высокого напряжения. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.cztt.ru/transformator\\_to-ka.html](http://www.cztt.ru/transformator_to-ka.html).
4. Каталог. Аппараты высокого напряжения. Т1. Разъединители и заземлители наружной установки. —М: Информэлектро, 2000— 84 с.
5. Каталог. Аппараты защиты. Т2. Ограничители перенапряжения. — М: Информэлектро, 2000— 132 с.
6. Каталог. Электрические аппараты высокого напряжения. Выключатели. Т1. —М: Информэлектро, 2001— 120 с.
7. Конюхова Е.А. Электроснабжение. Учебник для вузов. — М.: МЭИ, 2014. — 510 с.
8. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебник для студентов вузов. — М.: Интернет Инжиниринг, 2005. — 672 с.
9. М788-1069 - Справочные данные по расчетным коэффициентам электрических нагрузок
10. Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения. Справочное пособие. — СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010
11. Комплектные распределительные устройства внутренней установки 6-10 кВ. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.moselectro-yug.ru/prod/pdf/2\\_kru2006.pdf](http://www.moselectro-yug.ru/prod/pdf/2_kru2006.pdf).
12. Правила устройства электроустановок. - М.: Изд-во КноРус, 2010 — 488 с.
13. РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования» - М: Энергоатомиздат, 1999. — 131 с.



14. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок
15. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебное пособие / Л.Д. Рожкова, Т.В. Чиркова, Л.К. Карнеева. – М: Academia. 2009. – 448 с
16. Сборник укрупненных показателей стоимости строительства (реконструкции) подстанции и линий электропередачи для нужд ОАО «Холдинг МРСК». – М.: МРСК, 2012. – 72 с.
17. Сибикин М.Ю., Сибикин Ю.Д., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Высш. шк., 2001. - 336 с.
18. Сивков А.А., Герасимов Д.Ю., Сайгаш А.С. Основы электроснабжения. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 180 с.
19. Холянов В.С., Холянова О.М. Электроснабжение непромышленных объектов. Учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 149 с.
20. Щербаков Е.Ф. и др. Электроснабжение объектов строительства. Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 404 с.
21. Электроснабжение: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Электроэнергетика и электротехника» / А.М. Ершов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 215 с.
22. Электроэнергетические системы и сети. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: метод. указания по курсовому проектированию / сост. : А. А. Герасименко, Е. С. Кинев, Л. И. Пилюшенко. – Электрон. дан. (2 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008.