

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 завода по производству пластмассы

Обучающийся

У.А. Нагым

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, А.Г. Сорокин

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

Тольятти 2023

Аннотация

Темой ВКР является «Электроснабжение завода по производству пластмассы».

В ВКР проведен расчет электрических нагрузок:

- цехов обработки полимеров и производств пластмассовых изделий;
- складов полимерных материалов;
- станочных цехов;
- вспомогательных и административных зданий;
- освещения.

Затем были рассчитаны и выбраны силовые трансформаторы и компенсирующие устройства, вычислены токи короткого замыкания (ТКЗ).

Следующим этапом был выбор электрооборудования КТП с учетом термической и электродинамической стойкостей. По расчетным токам электроприемников выбраны питающие кабельные линии.

Заключительным этапом ВКР является расчет заземления и молниезащиты.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Анализ исходных данных по электроснабжению предприятия..... | 6 |
| 2 Расчет электрических нагрузок | 7 |
| 3 Расчет освещения | 14 |
| 4 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов подстанций предприятия | 18 |
| 5 Выбор схемы электроснабжения предприятия | 24 |
| 6 Расчет токов короткого замыкания | 33 |
| 7 Выбор основного электрооборудования и его проверка | 41 |
| 8 Расчет заземления и молниезащиты..... | 43 |
| Заключение | 47 |
| Список используемых источников..... | 48 |

Введение

Изготовление пластмассы и изделий из него играет важную роль в промышленности, поскольку предприятия данной сферы производят:

- товары хозяйственно-бытового назначения;
- компоненты оборудования машиностроительной отрасли;
- продукцию оборонно-промышленного комплекса;
- комплектующие установок нефтяной и химической промышленностей;
- расходные материалы и компоненты инженерных сетей.

В связи с вышесказанным, заводы и предприятия по производству пластмассы играют весомую роль в промышленности нашей страны. Распределение электроэнергии к приемникам осуществляется при помощи электросетей.

«Электрические сети предприятий должны обеспечивать:

- надежность электроснабжения;
- качество передаваемой электроэнергии;
- безопасность электротехнического и неэлектротехнического персонала при эксплуатации сетей и электроустановок;
- экономичность, т.е. снижение затрат при сооружении и эксплуатации сетей и установок;
- изменение конфигурации сетей в связи с изменением технологии производства;
- снижение потерь электроэнергии в сетях;
- экологичность, т.е. отсутствие вредного влияния на окружающую среду» [21].

Исходными данными являются:

- план предприятия с уже возведенными цехами, перечень потребителей и их номинальные нагрузки;
- нагрузки цехов и отделений завода.

Целью ВКР является проектирование системы электроснабжения завода по производству пластмассы.

Для того, чтобы достичь поставленную цель необходимо решить несколько задач:

- провести перерасчет электрических нагрузок, учитывая актуальный перечень электрооборудования и установок;
- рассчитать освещение внутри производственных помещений с использованием актуальных каталогов светильников;
- выбрать силовые трансформаторы для электроснабжения потребителей завода по производству пластмассы;
- вычислить токи КЗ;
- выбрать оборудование ТП, кабельные линии для питания потребителей завода по производству пластмассы;
- провести расчет заземления и молниезащиты.

1 Анализ исходных данных по предприятию

Завод по производству пластмассы включает в себя цеха:

- сборки пластиковых изделий,
- полимеров,
- обработки пластмассы,
- формовки,
- пайки пластмассы,
- утилизации полимеров,
- станочные (три цеха различных назначений),
- производства технических газов

К вспомогательным зданиям и сооружениям завода по производству пластмассы относятся:

- склады и хранилища,
- насосное отделение,
- лаборатория и помещения технических испытаний,
- административный корпус и заводоуправление,
- ремонтный участок.

Предприятие относится к отрасли химической промышленности.

На предприятии производятся пластмассовые изделия для различных сфер деятельности: трубы, посуда и тары, детали и расходные материалы оборудования различных областей промышленности, инструменты.

Выводы по разделу

Для выполнения производственных задач необходимы станки, подъемные механизмы, установки для пайки, нагревательное оборудование, а также вспомогательное оборудование для функционирования инженерных сетей завода по производству пластмассы.

2 Расчет электрических нагрузок

Проведем расчет электрических нагрузок с помощью метода расчетных коэффициентов для завода по производству пластмассы используя электрические нагрузки электроприемников.

«Все ЭП группируются по характерным категориям с одинаковыми КИ и t_{gj} . В каждой строке указываются ЭП одинаковой мощности» [17].

«При наличии в справочных материалах интервальных значений k_i следует для расчета принимать наибольшее значение. Значения k_i должны быть определены из условия, что вероятность превышения фактической средней мощности над расчетной для характерной категории ЭП должна быть не более 0,05» [6],[17].

«Для группы, состоящей из ЭП различных категорий (т. е. с разными k_i), средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_I = \frac{\sum_1^n K_{iI} \cdot P_H}{\sum_1^n P_H} \quad (1)$$

где n – число характерных категорий ЭП, входящих в данную группу» [17].

«Эффективное число электроприемников» [17]:

$$n_{\exists} = \frac{(\sum P_H)^2}{\sum n p_H^2} \quad (2)$$

«Расчетное значение эффективного числа электроприемников округляется до ближайшего меньшего целого числа» [25].

«В зависимости от средневзвешенного коэффициента использования и эффективного числа электроприемников определяется коэффициент расчетной нагрузки K_p » [17]. Коэффициент расчетной мощности необходим для нахождения расчетной активной мощности (таблица 1).

Таблица 1 – Расчет цеховых нагрузок завода по производству пластмассы

| № потр по ГП | Потребитель | n | P_{min} | P_{max} | P_H | K_i | $cos\varphi$ | $tg\varphi$ | $K_i \cdot P_H$ | $K_i \cdot P_H \cdot tg\varphi$ | n_\emptyset | K_p | $P_{расч}$ | $Q_{расч}$ | $S_{расч}$ | $I_{расч}$ |
|-----------------------|--|----|-----------|-----------|-------|-------|--------------|-------------|-----------------|---------------------------------|---------------|-------|------------|------------|------------|------------|
| | | | кВт | кВт | кВт | – | – | – | кВт | квар | – | – | кВт | квар | кВА | A |
| 1 | Воздухоразделительная установка | 11 | 11 | 27 | 165 | 0,32 | 0,56 | 1,48 | 52,8 | 78,14 | – | – | – | – | – | – |
| | Газификационная установка | 8 | 3 | 9 | 36 | 0,62 | 0,84 | 0,65 | 22,32 | 14,51 | – | – | – | – | – | – |
| | Установка подачи газов | 7 | 3 | 9 | 32 | 0,58 | 0,89 | 0,51 | 18,56 | 9,47 | – | – | – | – | – | – |
| | Цех производства технических газов | 26 | – | – | 233 | 0,40 | 0,68 | 1,09 | 93,68 | 102,12 | 23 | 1 | 93,68 | 102,12 | 138,58 | 211 |
| 2 | Склад полимеров | 19 | 3 | 11 | 95 | 0,71 | 0,78 | 0,8 | 67,45 | 53,96 | 19 | 1 | 67,45 | 53,96 | 86,38 | 131 |
| 3 | Термопластоавтомат | 10 | 4 | 31 | 108 | 0,12 | 0,52 | 1,64 | 12,96 | 21,25 | – | – | – | – | – | – |
| | Формовочное оборудование | 31 | 3 | 37 | 357 | 0,62 | 0,82 | 0,7 | 221,34 | 154,94 | – | – | – | – | – | – |
| | Литьевое производство | 41 | – | – | 465 | 0,50 | 0,80 | 0,75 | 234,3 | 176,19 | 17 | 1 | 234,3 | 176,19 | 293,15 | 445 |
| 4 | Консольно-поворотный кран | 19 | 7 | 86 | 508 | 0,17 | 0,51 | 1,69 | 67,5 | 114,75 | – | – | – | – | – | – |
| | Электрическая таль | 26 | 8 | 16 | 260 | 0,83 | 0,72 | 0,96 | 100 | 90 | – | – | – | – | – | – |
| | Цех полимерных материалов и оборудования | 45 | – | – | 768 | 0,22 | 0,63 | 1,22 | 167,5 | 204,75 | 35 | 1 | 167,5 | 204,75 | 264,54 | 402 |

Продолжение таблицы 1

| № потр по ГП | Потребитель | n | P_{min} | P_{max} | P_H | K_i | $cos\varphi$ | $tg\varphi$ | $K_i \cdot P_H$ | $K_i \cdot P_H \cdot tg\varphi$ | n_Θ | K_P | $P_{расч}$ | $Q_{расч}$ | $S_{расч}$ | $I_{расч}$ |
|-----------------------|---|----|-----------|-----------|-------|-------|--------------|-------------|-----------------|---------------------------------|------------|-------|------------|------------|------------|------------|
| | | | кВт | кВт | кВт | – | – | – | кВт | квар | – | – | кВт | квар | кВА | A |
| 5 | Оборудование автоматической линии | 12 | 3 | 18 | 81 | 0,22 | 0,59 | 1,37 | 17,82 | 24,41 | – | – | – | – | – | – |
| | Оборудование фронтального и горизонтального перемещения | 29 | 6 | 13 | 225 | 0,59 | 0,79 | 0,78 | 132,75 | 103,55 | – | – | – | – | – | – |
| | Цех сборки пластиковых изделий | 41 | – | – | 306 | 0,49 | 0,76 | 0,85 | 150,57 | 127,96 | 12 | 1 | 150,57 | 127,96 | 197,6 | 300 |
| 6 | Тельфер | 6 | 3 | 24 | 50 | 0,32 | 0,48 | 1,83 | 16 | 29,28 | – | – | – | – | – | – |
| | Станок шлифования пластмассы | 22 | 13 | 103 | 781 | 0,72 | 0,71 | 0,99 | 562,32 | 556,7 | – | – | – | – | – | – |
| | Цех обработки | 28 | – | – | 831 | 0,70 | 0,70 | 1,01 | 578,32 | 585,98 | 39 | 1 | 578,32 | 585,98 | 823,3 | 1251 |
| 7 | Прессовый станок | 28 | 5 | 108 | 861 | 0,18 | 0,53 | 1,6 | 154,98 | 247,97 | – | – | – | – | – | – |
| | Крутильная машина | 58 | 8 | 52 | 1102 | 0,66 | 0,82 | 0,7 | 727,32 | 509,12 | – | – | – | – | – | – |
| | Цех формовки изделий | 86 | – | – | 1963 | 0,45 | 0,76 | 0,86 | 882,3 | 757,09 | 43 | 1 | 882,3 | 757,09 | 1162,6 | 1766 |

Продолжение таблицы 1

| № потр по ГП | Потребитель | <i>n</i> | <i>P_{min}</i> | <i>P_{max}</i> | <i>P_H</i> | <i>K_И</i> | <i>cosφ</i> | <i>tgφ</i> | <i>K_И·P_H</i> | <i>K_И·P_H·tgφ</i> | <i>n_Э</i> | <i>K_P</i> | <i>P_{расч}</i> | <i>Q_{расч}</i> | <i>S_{расч}</i> | <i>I_{расч}</i> |
|-----------------------|--|----------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|------------|------------------------------------|--|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | кВт | кВт | кВт | — | — | — | кВт | квар | — | — | кВт | квар | кВА | А |
| 8 | Установка пайки пластиковых изделий | 94 | 8 | 182 | 4841 | 0,39 | 0,68 | 1,08 | 1887,99 | 2039,03 | — | — | — | — | — | — |
| | Компрессор | 59 | 6 | 66 | 1239 | 0,82 | 0,82 | 0,7 | 1015,98 | 711,19 | — | — | — | — | — | — |
| | Цех пайки пластика | 153 | — | — | 6080 | 0,48 | 0,73 | 0,95 | 2903,97 | 2750,22 | 69 | 1 | 2903,97 | 2750,22 | 3999,59 | 6077 |
| 9 | Установка плавки полимеров | 88 | 7 | 108 | 2838 | 0,22 | 0,47 | 1,88 | 624,36 | 1173,8 | — | — | — | — | — | — |
| | Оборудование смещивания полимеров | 148 | 7 | 27 | 1776 | 0,73 | 0,78 | 0,8 | 1296,48 | 1037,18 | — | — | — | — | — | — |
| | Цех утилизации полимеров | 236 | — | — | 4614 | 0,42 | 0,66 | 1,15 | 1920,84 | 2210,98 | 41 | 1 | 1920,84 | 2210,98 | 2928,83 | 4450 |
| 10 | Отрезной станок | 96 | 4 | 120 | 3168 | 0,23 | 0,55 | 1,52 | 728,64 | 1107,53 | — | — | — | — | — | — |
| | Станок изготовления пластиковых профилей | 141 | 6 | 54 | 2538 | 0,67 | 0,82 | 0,7 | 1700,46 | 1190,32 | — | — | — | — | — | — |
| | Станочный цех №1 | 237 | — | — | 5706 | 0,43 | 0,73 | 0,95 | 2429,1 | 2297,85 | 49 | 1 | 2429,1 | 2297,85 | 3343,75 | 5080 |

Продолжение таблицы 1

| № потр по ГП | Потребитель | n | P_{min} | P_{max} | P_H | K_i | $cos\varphi$ | $tg\varphi$ | $K_i \cdot P_H$ | $K_i \cdot P_H \cdot tg\varphi$ | n_ϑ | K_p | $P_{расч}$ | $Q_{расч}$ | $S_{расч}$ | $I_{расч}$ |
|-----------------------|---|-----|-----------|-----------|-------|-------|--------------|-------------|-----------------|---------------------------------|---------------|-------|------------|------------|------------|------------|
| | | | кВт | кВт | кВт | – | – | – | кВт | квар | – | – | кВт | квар | кВА | A |
| 11 | Экструдер для пластика | 32 | 6 | 82 | 800 | 0,32 | 0,64 | 1,2 | 256 | 307,2 | – | – | – | – | – | – |
| | Вакуумно-формовочная машина | 59 | 4 | 48 | 885 | 0,77 | 0,78 | 0,8 | 681,45 | 545,16 | – | – | – | – | – | – |
| | Установка для вспенивания пластика | 72 | 6 | 98 | 2088 | 0,73 | 0,76 | 0,86 | 1524,24 | 1310,85 | – | – | – | – | – | – |
| | Станочный цех №2 | 163 | – | – | 3773 | 0,65 | 0,75 | 0,88 | 2461,69 | 2163,21 | 62 | 1 | 2461,69 | 2163,21 | 3277,1 | 4979 |
| 12 | Установка для ламинирования ПФХ профиля | 13 | 6 | 34 | 169 | 0,22 | 0,63 | 1,23 | 37,18 | 45,73 | – | – | – | – | – | – |
| | Установка для производства пластиковых труб | 4 | 2 | 3 | 9 | 0,67 | 0,82 | 0,7 | 6,03 | 4,22 | – | – | – | – | – | – |
| | Станочный цех №3 | 17 | – | – | 178 | 0,24 | 0,65 | 1,16 | 43,21 | 49,95 | 14 | 1,16 | 50,12 | 57,94 | 76,61 | 116 |
| 13 | Насосное отделение | 36 | 4 | 64 | 684 | 0,52 | 0,52 | 1,64 | 355,68 | 583,32 | 36 | 1 | 355,68 | 583,32 | 683,21 | 1038 |
| 14 | Отделение проведения испытаний и технической оценки изделий | 12 | 3 | 9 | 54 | 0,73 | 0,78 | 0,8 | 39,42 | 31,54 | 12 | 1 | 39,42 | 31,54 | 50,48 | 77 |

Продолжение таблицы 1

| № потр по ГП | Потребитель | <i>n</i> | <i>P_{min}</i> | <i>P_{max}</i> | <i>P_H</i> | <i>K_и</i> | <i>cosφ</i> | <i>tgφ</i> | <i>K_и·P_H</i> | <i>K_и·P_H·tgφ</i> | <i>n_Э</i> | <i>K_P</i> | <i>P_{расч}</i> | <i>Q_{расч}</i> | <i>S_{расч}</i> | <i>I_{расч}</i> |
|--------------------|--|----------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-------------|------------|------------------------------------|--|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | кВт | кВт | кВт | — | — | — | кВт | квар | — | — | кВт | квар | кВА | A |
| 15 | Вычислительная установка и компьютерное оборудование | 4 | 3 | 9 | 18 | 0,73 | 0,47 | 1,88 | 13,14 | 24,7 | — | — | — | — | — | — |
| | Установка для проведения испытаний | 18 | 3 | 7 | 72 | 0,58 | 0,72 | 0,96 | 41,76 | 40,09 | — | — | — | — | — | — |
| | Лаборатория анализа состава полимеров | 22 | — | — | 90 | 0,61 | 0,65 | 1,18 | 54,9 | 64,79 | 5 | 1 | 54,9 | 64,79 | 84,92 | 129 |
| 16 | Розеточная сеть и оргтехника | 17 | 3 | 13 | 94 | 0,32 | 0,47 | 1,88 | 30,08 | 56,55 | — | — | — | — | — | — |
| | Оборудование систем вентиляции и кондиционирования | 25 | 4 | 11 | 144 | 0,57 | 0,86 | 0,59 | 82,08 | 48,43 | — | — | — | — | — | — |
| | Административный корпус | 42 | — | — | 238 | 0,47 | 0,73 | 0,94 | 112,16 | 104,98 | 10 | 1 | 112,16 | 104,98 | 153,63 | 233 |
| 17 | Мостовой кран | 15 | 3 | 25 | 128 | 0,22 | 0,63 | 1,23 | 28,16 | 34,64 | — | — | — | — | — | — |
| | Электроинструмент | 9 | 3 | 8 | 38 | 0,67 | 0,82 | 0,7 | 25,46 | 17,82 | — | — | — | — | — | — |
| | Ремонтный участок | 24 | — | — | 166 | 0,32 | 0,71 | 0,98 | 53,62 | 52,46 | 12 | 1 | 53,62 | 52,46 | 75,01 | 114 |
| | ИТОГО | 1228 | 1 | 372 | 26244 | — | — | — | 12549 | 12317 | — | — | 12556 | 12325 | 17639 | 26800 |

«Расчетная активная мощность:

$$P_p = K_p \sum K_i P_h, \quad (3)$$

где K_p – коэффициент расчетной мощности;

K_i – коэффициент использования;

P_h – номинальная мощность, кВт» [17].

«По полученному для каждой группы электроприемников значению P_p определяется реактивная нагрузка:

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

где $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент реактивной мощности группы электроприемников» [17].

«Для питающих сетей напряжением до 1 кВ при $n_\Theta \leq 10$, значение расчетной реактивной мощности необходимо умножить на коэффициент 1,1 (п.3.2.8.1)» [17].

Выводы по разделу

Суммарная расчетная полная мощность завода по производству пластмассы без учета освещения равна 17639 кВА.

3 Расчет освещения

«При расчете нагрузок необходимо учитывать нагрузку искусственного внутрицехового освещения завода по производству пластмассы, а также уличное освещение территории» [24].

«Нагрузку освещения завода по производству пластмассы рассчитаем по методу удельной мощности:

$$P_0 = F_0 \cdot \gamma \cdot K_C \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где F_0 – площадь освещения, м²;

γ – удельная плотность нагрузки на освещение, Вт/м²;

K_C – коэффициент спроса освещения» [6].

«Минимальная освещенность цехов завода по производству пластмассы составляет 200 лк» [6].

«Данной освещенности соответствует значение удельной мощности 10 Вт/м². Значения удельной мощности цехов завода по производству пластмассы представлены в таблице 2» [18].

«Коэффициент мощности устанавливаемых светодиодных светильников составляет 0,93» [9].

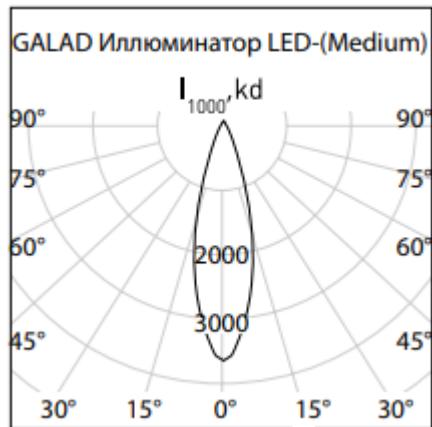
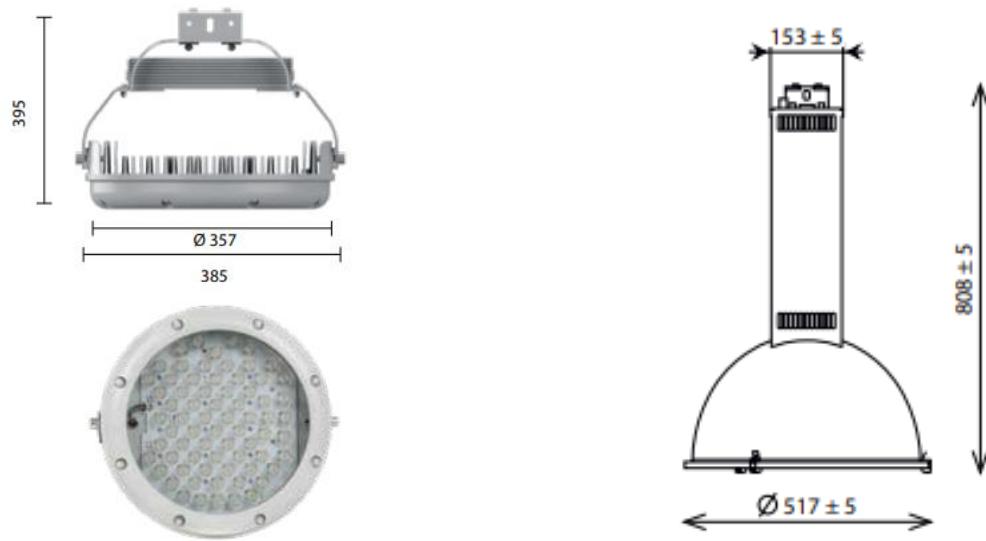
«Внешний вид и кривая силы света (КСС) данных светильников представлены на рисунке 1 и 2 соответственно» [4].

Таблица 2 – Расчет нагрузок завода по производству пластмассы

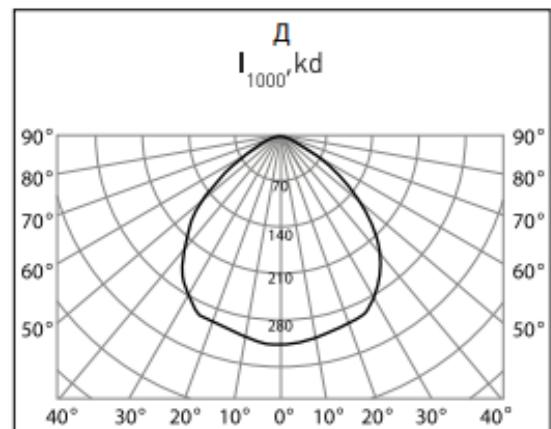
| № потр | Потребитель | F_0 | γ | K_C | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | P_0 | Q_0 | S_0 | $P_{\text{расч}}$ | $Q_{\text{расч}}$ | $S_{\text{расч}}$ | $P'_{\text{расч}}$ | $Q'_{\text{расч}}$ | $S''_{\text{расч}}$ |
|-----------|--|--------------|------------------------|-------|---------------|----------------------------|--------|--------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | | м^2 | $\text{Вт}/\text{м}^2$ | – | – | – | кВт | квар | кВА | кВт | квар | кВА | кВт | квар | кВА |
| 1 | Цех производства технических газов | 1226 | 15 | 0,81 | 0,93 | 0,4 | 14,9 | 5,96 | 16,05 | 93,68 | 102,12 | 138,58 | 108,58 | 108,08 | 154,63 |
| 2 | Склад полимеров | 821 | 11 | 0,58 | 0,93 | 0,4 | 5,24 | 2,1 | 5,65 | 67,45 | 53,96 | 86,38 | 72,69 | 56,06 | 92,03 |
| 3 | Литьевое производство | 779 | 15 | 0,84 | 0,93 | 0,4 | 9,82 | 3,93 | 10,58 | 234,3 | 176,19 | 293,15 | 244,12 | 180,12 | 303,73 |
| 4 | Цех полимерных материалов и оборудования | 7121 | 11 | 0,59 | 0,93 | 0,4 | 46,22 | 18,49 | 49,78 | 167,5 | 204,75 | 264,54 | 213,72 | 223,24 | 314,32 |
| 5 | Цех сборки пластиковых изделий | 1290 | 13 | 0,58 | 0,93 | 0,4 | 9,73 | 3,89 | 10,48 | 150,57 | 127,96 | 197,6 | 160,3 | 131,85 | 208,08 |
| 6 | Цех обработки | 1066 | 15 | 0,83 | 0,93 | 0,4 | 13,27 | 5,31 | 14,29 | 578,32 | 585,98 | 823,3 | 591,59 | 591,29 | 837,59 |
| 7 | Цех формовки изделий | 6394 | 15 | 0,93 | 0,93 | 0,4 | 89,2 | 35,68 | 96,07 | 882,3 | 757,09 | 1162,6 | 971,5 | 792,77 | 1258,67 |
| 8 | Цех пайки пластика | 10752 | 15 | 0,94 | 0,93 | 0,4 | 151,6 | 60,64 | 163,28 | 2903,97 | 2750,22 | 3999,59 | 3055,57 | 2810,86 | 4162,87 |
| 9 | Цех утилизации полимеров | 9966 | 19 | 0,92 | 0,93 | 0,4 | 174,21 | 69,68 | 187,63 | 1920,84 | 2210,98 | 2928,83 | 2095,05 | 2280,66 | 3116,46 |
| 10 | Станочный цех №1 | 18370 | 15 | 0,95 | 0,93 | 0,4 | 261,77 | 104,71 | 281,94 | 2429,1 | 2297,85 | 3343,8 | 2690,9 | 2402,6 | 3625,7 |
| 11 | Станочный цех №2 | 9872 | 15 | 0,93 | 0,93 | 0,4 | 137,71 | 55,08 | 148,32 | 2461,7 | 2163,21 | 3277,1 | 2599,4 | 2218,3 | 3425,4 |

Продолжение таблицы 2

| № пот р | Потребитель | F_O | γ | K_C | $\cos\varphi$ | $\operatorname{tg}\varphi$ | P_O | Q_O | S_O | $P_{\text{расч}}$ | $Q_{\text{расч}}$ | $S_{\text{расч}}$ | $P'_{\text{расч}}$ | $Q'_{\text{расч}}$ | $S'_{\text{расч}}$ |
|---------------|---|--------------|------------------------|-------|---------------|----------------------------|-------|-------|-------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | м^2 | $\text{Вт}/\text{м}^2$ | — | — | — | кВт | квар | кВА | кВт | квар | кВА | кВт | квар | кВА |
| 12 | Станочный цех №3 | 1612 | 15 | 0,93 | 0,93 | 0,4 | 22,49 | 9 | 24,22 | 50,12 | 57,94 | 76,61 | 72,61 | 66,94 | 100,83 |
| 13 | Насосное отделение | 3846 | 13 | 0,92 | 0,93 | 0,4 | 46 | 18,4 | 49,54 | 355,68 | 583,32 | 683,21 | 401,68 | 601,72 | 732,75 |
| 14 | Отделение проведения испытаний и технической оценки изделий | 3194 | 17 | 0,92 | 0,93 | 0,4 | 49,95 | 19,98 | 53,8 | 39,42 | 31,54 | 50,48 | 89,37 | 51,52 | 104,28 |
| 15 | Лаборатория анализа состава полимеров | 730 | 17 | 0,88 | 0,93 | 0,4 | 10,92 | 4,37 | 11,76 | 54,9 | 64,79 | 84,92 | 65,82 | 69,16 | 96,68 |
| 16 | Административный корпус | 1745 | 17 | 0,78 | 0,93 | 0,4 | 23,14 | 9,26 | 24,92 | 112,16 | 104,98 | 153,63 | 135,3 | 114,24 | 178,55 |
| 17 | Ремонтный участок | 1150 | 19 | 0,57 | 0,93 | 0,4 | 12,45 | 4,98 | 13,41 | 53,62 | 52,46 | 75,01 | 66,07 | 57,44 | 88,42 |
| Всего | | 79934 | — | — | 0,93 | 0,4 | 1079 | 431 | 1162 | 12556 | 12325 | 17639 | 13634 | 12757 | 18801 |



Иллюминатор LED-120УХЛ



ГСП70-400-УХЛ

Рисунок 1 – Конструкция внутрицеховых светильников и их КСС

Выводы по разделу

Осветительная нагрузка завода по производству пластмассы составляет 1162 кВА. Просуммировав силовую и осветительную нагрузку получаем полную мощность 18883 кВА.

4 Выбор и расчет числа и мощности трансформаторов подстанций предприятия

Питание цехов завода по производству пластмассы осуществляется от внешних электросетей напряжением 110 кВ.

«Напряжение сети 380/220В при глухо-заземленной нейтрали трансформатора. Тип системы заземления TN-C-S» [7].

«Мощность трансформатора для каждой ТП определим по методу удельной плотности нагрузок» [25].

«Удельная мощность:

$$\sigma_{уд} = \frac{S'_{расч}}{F_3}, \quad (6)$$

$$\sigma_{уд} = \frac{S'_{расч}}{F_3} = \frac{17639}{575 \cdot 430} = 0,076 \text{ кВА/м}^2,$$

где $S'_{расч}$ – полная расчетная мощность цехов завода по производству пластмассы, кВА;

F_3 – площадь завода по производству пластмасс, м²» [14].

«Рекомендуемая мощность трансформаторов 1000 кВА» [14].

Коэффициент загрузки принимаем равным 0,7.

Для питания отдельных цехов необходимо использование двух и более подстанций. Во время аварийных ситуаций рабочие трансформаторы должны покрывать 40% перегрузку во время отключения одного из трансформаторов [26].

Для питания потребителей завода по производству пластмассы необходимо принять к установке девять ТП с двумя трансформаторами мощностью 1000 кВА.

Для снижения доли реактивной нагрузки необходима установка конденсаторных батарей. Теперь проведем расчет их мощности [24].

«Наибольшая реактивная мощность Q1, которая может быть передана в сеть напряжением до 1 кВ из сети 6-10 кВ без увеличения числа трансформаторов» [12]:

$$Q = \sqrt{(1,1 \cdot N \cdot k_{3, \text{тр}} \cdot S_{\text{тр}})^2 - P'_{\text{расч}}^2}, \quad (7)$$

$$Q = \sqrt{(1,1 \cdot 18 \cdot 0,7 \cdot 1000)^2 - 13634^2} = 2492 \text{ квар.}$$

«Мощность одной конденсаторной батареи» [12]:

$$Q_{\text{бк.сум}} = \sum Q'_{\text{расч}} - Q, \quad (8)$$

$$Q_{\text{бк.сум}} = 12757 - 2492 = 10265 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{бк}} = \frac{Q_{\text{бк.сум}}}{N}, \quad (9)$$

$$Q_{\text{бк}} = \frac{10265}{18} = 570,3 \text{ квар.}$$

Установим на ТП завода по производству пластмассы УКМ-0,4-575-25 [11]. Сумма мощностей УКМ равна 10350 квар.

Согласно методике расчета по удельной плотности нагрузки, необходимо определить центры электрических нагрузок (ЦЭН) завода по производству пластмассы [23].

«ЦЭН завода по производству пластмассы:

$$x_{\text{ц}} = \frac{\sum S_i x_i}{S_i}, y_{\text{ц}} = \frac{\sum S_i y_i}{S_i} \quad (10)$$

где S – нагрузка i -го потребителя, кВА;

x_i, y_i – координаты ЦЭН i -го потребителя» [26].

«Радиус окружностей картограммы электрических нагрузок:

$$r_i = \sqrt{S/\pi \cdot m}, \quad (11)$$

где S – расчетная нагрузка i -го потребителя, кВА;

m – масштаб для определения площади окружности (примем равным 0,7)» [26].

Синхронные и асинхронные электродвигатели подключены к шинам ГПП с напряжением 10 кВ. Принципиальная схема подключения представлена на рисунке 2.

Коэффициенты загрузки трансформаторов необходимо вычислить с учетом компенсации. Рассчитанные коэффициенты загрузки представлены в таблице 3 [12]. При питании потребителя от нескольких ТП, учитывается отключение только одного трансформатора.

Таблица 3 – Определение ЦЭН системы электроснабжения завода по производству пластмасс

| № по ГП | Потребитель | P' расч | Q' расч | $Q_{БК}$ | S'' расч | x_i | y_i | k_3 | r_i |
|---------|--|-----------|-----------|----------|------------|-------|--------|--------|-------|
| | | кВт | квар | квар | кВА | м | м | – | м |
| | ТП-1.1 | 1391 | 1290,64 | 2x575 | 1391,051 | 250 | 483 | 0,6955 | – |
| 1 | Цех производства технических газов | 108,58 | 108,08 | – | 154,63 | 192 | 572 | – | 8,39 |
| 2 | Склад полимеров | 72,69 | 56,06 | – | 92,03 | 122 | 512 | – | 6,47 |
| 3 | Литьевое производство | 244,12 | 180,12 | – | 303,73 | 247 | 532 | – | 11,75 |
| 4 | Цех полимерных материалов и оборудования | 213,72 | 223,24 | – | 314,32 | 142 | 452 | – | 11,96 |
| 5 | Цех сборки пластиковых изделий | 160,3 | 131,85 | – | 208,08 | 347 | 482 | – | 9,73 |
| 6 | Цех обработки | 591,59 | 591,29 | – | 837,59 | 292 | 457 | – | 19,52 |
| | ТП-1.2, ТП-1.3 | 3055,57 | 2810,86 | 4x575 | 3055,654 | 422 | 387 | 0,7639 | – |
| 8 | Цех пайки пластика | 3055,57 | 2810,86 | – | 4162,87 | 422 | 387 | – | 43,51 |
| | ТП-1.4, ТП-1.5 | 3066,55 | 3073,43 | 4x575 | 3066,676 | 182 | 326,45 | 0,7667 | – |
| 7 | Цех формовки изделий | 971,5 | 792,77 | – | 1258,67 | 182 | 387 | – | 23,92 |
| 9 | Цех утилизации полимеров | 2095,05 | 2280,66 | – | 3116,46 | 182 | 302 | – | 37,64 |

Продолжение таблицы 3

| № по ГП | Потребитель | P' расч | Q' расч | $Q_{БК}$ | S'' расч | x_i | y_i | k_3 | r_i |
|------------|---|-----------|-----------|----------|------------|-------|-------|--------|-------|
| | | кВт | квар | квар | кВА | м | м | — | м |
| | ТП-1.6-ТП-1.9 | 6121,12 | 5581,87 | 8x575 | 6121,2 | 323 | 190 | 0,7652 | — |
| 10 | Станочный цех №1 | 2690,87 | 2402,56 | — | 3625,69 | 437 | 222 | — | 40,6 |
| 11 | Станочный цех №2 | 2599,4 | 2218,29 | — | 3425,42 | 182 | 197 | — | 39,47 |
| 12 | Станочный цех №3 | 72,61 | 66,94 | — | 100,83 | 532 | 112 | — | 6,77 |
| 13 | Насосное отделение | 401,68 | 601,72 | — | 732,75 | 417 | 112 | — | 18,25 |
| 14 | Отделение проведения испытаний и технической оценки изделий | 89,37 | 51,52 | — | 104,28 | 162 | 27 | — | 6,89 |
| 15 | Лаборатория анализа состава полимеров | 65,82 | 69,16 | — | 96,68 | 232 | 27 | — | 6,63 |
| 16 | Административный корпус | 135,3 | 114,24 | — | 178,55 | 312 | 32 | — | 9,01 |
| 17 | Ремонтный участок | 66,07 | 57,44 | — | 88,42 | 422 | 42 | — | 6,34 |

«Выбор схем (магистральные или радиальные) и конструктивного выполнения (воздушные или кабельные) линий 110 кВ и выше определяется технико-экономическими сопоставлениями с учетом особенностей данного предприятия, электрической нагрузки, взаимного расположения районных подстанций в ГПП, ожидаемой перспективы развития существующей схемы электроснабжения, степени загрязненности атмосферы, возможности прокладки линий к ГПП» [13].

Для питания потребителей завода по производству пластмасс можно использовать следующие схемы:

- радиальная,
- магистральная.

Выбор схемы проведем в следующем разделе ВКР.

Выводы по разделу

Питание цехов завода по производству пластмасс осуществляется от девяти КТП с двумя трансформаторами ТМГ 1000 10/0,4.

К установке приняты конденсаторные батареи УКМ-0,4-575-25 для снижения реактивной составляющей нагрузки потребителей.

Расчет ЦЭН позволил выбрать места расположения КТП.

5 Выбор схемы электроснабжения предприятия

Проведем расчет радиальной и магистральной схем.

«Расчет токов, возникающих в нормальном и аварийном режимах:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U \cdot n} \quad (12)$$

где n – количество кабельных линий, участвующих в электроснабжении потребителя» [14]. Принимаем по кабели марки АПвБбШп.

«Рассчитаем сечение кабельных линий:

$$F = \frac{I}{j} \quad (13)$$

где I – расчетный ток в час максимума энергосистемы, А;

$j_{\text{эк}}$ – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм², для заданных условий работы, выбираемое по табл. 1.3.36» [14].

«Для выбранной марки кабеля $j = 1,6$ А/мм², поскольку принимаем, что число часов использования максимума нагрузки более 5000 часов» [14].

«Длительно допустимый ток:

$$I_{\text{доп}} = I_{\text{справ}} \cdot k_{\pi} \cdot k_t \cdot k_{\text{ж}} \quad (14)$$

где $I_{\text{справ}}$ – допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с пластмассовой изоляцией, прокладываемых в земле, принимаемый по таблице 1.3.7;

k_{π} – коэффициент прокладки, определяемый по числу кабелей, проложенных в траншее, согласно таблицы 1.3.26. Для двух кабелей принимаем $k_{\pi} = 0,9$.

k_t – коэффициент поправки на температуру среды, согласно таблицы

1.3.3 ПУЭ. Принимаем равным $k_t = 1,06$;

$k_{ж}$ – коэффициент поправки на количество жил. Для четырехжильного кабеля принимаем $k_{ж} = 0,92$ » [14].

«При послеаварийном режиме отключен один из кабелей. Поэтому коэффициент прокладки меняет свое значение $k_{п} = 1$ » [14].

«Расчетные значения допустимых токов радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Проведем расчет потерь напряжений. Для сетей 10 кВ допустимые потери напряжений составляют не более 5%» [22].

«Потери напряжения в кабельных линиях определим по следующему выражению:

$$\Delta U = \frac{(P \cdot r_0 + Q \cdot x_0)}{U_n} l \quad (15)$$

где r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление кабеля, Ом/км;

l – длина кабеля, км;

P, Q – активная и реактивная мощность проходящая через кабель» [16].

«Результаты расчетов потерь радиальной и магистральной схем приведены в таблицах 6 и 7 соответственно, а экономические расчеты схем – в таблицах 8 и 9» [24].

Таблица 4 – Расчет токов линий радиальной схемы питания потребителей завода

| ПС | <i>n</i> | <i>P</i> ' _{расч} | <i>Q</i> ' _{расч} | <i>S</i> " _{расч} | <i>I</i> _p | <i>I</i> _{ав} | <i>F</i> | <i>F</i> _н | <i>I</i> _{справ} | <i>I</i> _{др} | <i>I</i> _{д,ав} |
|-------|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|
| | | кВт | квар | кВА | А | А | мм ² | мм ² | А | А | А |
| ТП1.1 | 2 | 1391,00 | 11,86 | 1391,05 | 40,16 | 80,31 | 25,10 | 35 | 145 | 127,26 | 141,40 |
| ТП1.2 | | 1527,79 | 1413,59 | 2081,44 | 60,09 | 120,17 | 37,55 | 50 | 157 | 137,80 | 153,11 |
| ТП1.3 | | | | | | | | | | | |
| ТП1.4 | | 1533,28 | 13,91 | 1533,34 | 44,26 | 88,53 | 27,66 | | | | |
| ТП1.5 | | | | | | | | | | | |
| ТП1.6 | | 1530,28 | 7,83 | 1530,30 | 44,18 | 88,35 | 27,61 | 35 | 145 | 127,26 | 141,40 |
| ТП1.7 | | | | | | | | | | | |
| ТП1.8 | | | | | | | | | | | |
| ТП1.9 | | | | | | | | | | | |

Таблица 5 – Расчет токов линий магистральной схемы питания потребителей завода

| ПС | <i>n</i> | <i>P</i> ' _{расч} | <i>Q</i> ' _{расч} | <i>S</i> " _{расч} | <i>I_p</i> | <i>I_{ав}</i> | <i>F</i> | <i>F_н</i> | <i>I_{справ}</i> | <i>I_{др}</i> | <i>I_{д,ав}</i> |
|-----------------|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | кВт | квар | кВА | А | А | мм ² | мм ² | А | А | А |
| ТП2.1- ТП1.1 | 2 | 5496,97 | 2346,90 | 5977,00 | 172,54 | 345,08 | 107,84 | 185 | 390 | 342,30 | 380,33 |
| ТП1.1- ТП1.2 | | 4206,33 | 1826,96 | 4585,95 | 132,39 | 264,77 | 82,74 | 120 | 300 | 263,30 | 292,56 |
| ТП1.2- ТП1.3 | | 2800,90 | 1227,65 | 3058,13 | 88,28 | 176,56 | 55,18 | 70 | 215 | 188,70 | 209,67 |
| ТП2.1- ТП1.4 | | 7259,83 | 2435,84 | 7657,58 | 221,06 | 442,11 | 138,16 | 300 | 465 | 408,12 | 453,47 |
| ТП1.4- ТП1.5 | | 5723,12 | 2179,96 | 6124,24 | 176,79 | 353,58 | 110,49 | 240 | 405 | 355,46 | 394,96 |
| ТП1.5- ТП1.6 | | 4186,40 | 1884,25 | 4590,90 | 132,53 | 265,06 | 82,83 | 95 | 260 | 228,20 | 253,55 |
| ТП1.6- ТП1.7 | | 2790,94 | 1256,17 | 3060,60 | 88,35 | 176,70 | 55,22 | 70 | 215 | 188,70 | 209,67 |
| ТП1.7- ТП1.8 | | 1395,47 | 628,08 | 1530,30 | 44,18 | 88,35 | 27,61 | 35 | 145 | 127,26 | 141,40 |
| ТП1.3- ТП1.9 | | | | | | | | | | | |

Таблица 6 – Потери напряжения радиальной схемы питания потребителей завода

| ПС | <i>n</i> | <i>P</i> ^{расч} | <i>Q</i> ^{расч} | <i>S</i> ^{"расч} | <i>F_н</i> | <i>r_i</i> | <i>x_i</i> | <i>l</i> | ΔU_p | ΔU_{ab} |
|-------|----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|--------------|-----------------|
| | | кВт | квар | кВА | мм ² | Ом/км | Ом/км | м | % | % |
| ТП1.1 | 2 | 1391,00 | 11,86 | 1391,05 | 35 | 0,893 | 0,087 | 303 | 1,88% | 3,77% |
| ТП1.2 | | 1527,79 | 1413,59 | 2081,44 | 50 | 0,64 | 0,084 | 152 | 0,83% | 1,67% |
| ТП1.3 | | | | | | | | 173 | 0,95% | 1,90% |
| ТП1.4 | | 1533,28 | 13,91 | 1533,34 | 35 | 0,893 | 0,087 | 252 | 1,73% | 3,45% |
| ТП1.5 | | | | | | | | 153 | 1,05% | 2,10% |
| ТП1.6 | | | | | | | | | 1,05% | 2,09% |
| ТП1.7 | | 1530,28 | 7,83 | 1530,30 | | | | 75 | 0,51% | 1,03% |
| ТП1.8 | | | | | | | | | 0,51% | 1,03% |
| ТП1.9 | | | | | | | | | 0,51% | 1,03% |

Таблица 7 – Потери напряжения магистральной схемы питания потребителей завода

| ПС | <i>n</i> | <i>P'</i> _{расч} | <i>Q'</i> _{расч} | <i>S''</i> _{расч} | <i>F_н</i> | <i>r_i</i> | <i>x_i</i> | <i>l</i> | ΔU_p | ΔU_{av} |
|-------------|----------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|--------------|-----------------|
| | | кВт | квар | кВА | мм ² | Ом/км | Ом/км | м | % | % |
| ТП2.1-ТП1.1 | 2 | 5496,97 | 2346,90 | 5977,00 | 185 | 0,168 | 0,077 | 302 | 1,67% | 3,33% |
| ТП1.1-ТП1.2 | | 4206,33 | 1826,96 | 4585,95 | 120 | 0,259 | 0,079 | 12 | 0,07% | 0,15% |
| ТП1.2-ТП1.3 | | 2800,90 | 1227,65 | 3058,13 | 70 | 0,446 | 0,081 | 153 | 1,03% | 2,06% |
| ТП2.1-ТП1.4 | | 7259,83 | 2435,84 | 7657,58 | 300 | 0,105 | 0,061 | 73 | 0,33% | 0,66% |
| ТП1.4-ТП1.5 | | 5723,12 | 2179,96 | 6124,24 | 240 | 0,132 | 0,077 | 102 | 0,47% | 0,94% |
| ТП1.5-ТП1.6 | | 4186,40 | 1884,25 | 4590,90 | 95 | 0,341 | 0,081 | 154 | 1,22% | 2,43% |
| ТП1.6-ТП1.7 | | 2790,94 | 1256,17 | 3060,60 | 70 | 0,446 | 0,081 | 202 | 1,36% | 2,72% |
| ТП1.7-ТП1.8 | | 1395,47 | 628,08 | 1530,30 | 35 | 0,893 | 0,087 | 23 | 0,15% | 0,30% |
| ТП1.3-ТП1.9 | | | | | | | | | | |

Таблица 8 – Экономический расчет радиальной схемы питания потребителей завода по производству пластмассы

| ПС | <i>n</i> | <i>F_h</i> | <i>r_i</i> | <i>x_i</i> | <i>l</i> | ΔU_p | ΔU_{av} | <i>p_k</i> | <i>C_{кл}</i> | <i>C_{пр}</i> | <i>C_{раз}</i> | <i>C_{зас}</i> | <i>C_{сум}</i> |
|-------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|--------------|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | мм ² | Ом/км | Ом/км | м | % | % | руб/м | тыс.руб | тыс.руб | тыс.руб | тыс.руб | тыс.руб |
| ТП1.1 | 2 | 35 | 0,893 | 0,087 | 303 | 1,88% | 3,77% | 350 | 212,1 | 121,2 | 75,75 | 42,42 | 451,47 |
| ТП1.2 | | 50 | 0,64 | 0,084 | 152 | 0,83% | 1,67% | 410 | 124,64 | 60,8 | 38 | 21,28 | 244,72 |
| ТП1.3 | | | | | 173 | 0,95% | 1,90% | | 141,86 | 69,2 | 43,25 | 24,22 | 278,53 |
| ТП1.4 | | 35 | 0,893 | 0,087 | 252 | 1,73% | 3,45% | 350 | 176,4 | 100,8 | 63 | 35,28 | 375,48 |
| ТП1.5 | | | | | 153 | 1,05% | 2,10% | | 107,1 | 61,2 | 38,25 | 21,42 | 227,97 |
| ТП1.6 | | | | | 75 | 0,51% | 1,03% | | 52,5 | 30 | 18,75 | 10,5 | 111,75 |
| ТП1.7 | | | | | | | | | 1026,7 | 564,4 | 352,75 | 197,54 | 2141,39 |
| ТП1.8 | | | | | | | | | | | | | |
| ТП1.9 | | | | | | | | | | | | | |

Таблица 9 – Экономический расчет магистральной схемы питания потребителей завода по производству пластмассы

| ПС | <i>n</i> | <i>F_h</i> | <i>r_i</i> | <i>x_i</i> | <i>l</i> | ΔU_p | ΔU_{av} | <i>p_k</i> | <i>C_{кл}</i> | <i>C_{пр}</i> | <i>C_{раз}</i> | <i>C_{зас}</i> | <i>C_{сум}</i> |
|-------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|--------------|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | | мм ² | Ом/км | Ом/км | м | % | % | руб/м | тыс.руб | тыс.руб | тыс.руб | тыс.руб | тыс.руб |
| ТП2.1-ТП1.1 | 2 | 185 | 0,168 | 0,077 | 302 | 1,67% | 3,33% | 950 | 573,8 | 120,8 | 75,5 | 42,28 | 812,38 |
| ТП1.1-ТП1.2 | | 120 | 0,259 | 0,079 | 12 | 0,07% | 0,15% | 690 | 16,56 | 4,8 | 3 | 1,68 | 26,04 |
| ТП1.2-ТП1.3 | | 70 | 0,446 | 0,081 | 153 | 1,03% | 2,06% | 490 | 149,94 | 61,2 | 38,25 | 21,42 | 270,81 |
| ТП2.1-ТП1.4 | | 300 | 0,105 | 0,061 | 73 | 0,33% | 0,66% | 1410 | 205,86 | 29,2 | 18,25 | 10,22 | 263,53 |
| ТП1.4-ТП1.5 | | 240 | 0,132 | 0,077 | 102 | 0,47% | 0,94% | 1170 | 238,68 | 40,8 | 25,5 | 14,28 | 319,26 |
| ТП1.5-ТП1.6 | | 95 | 0,341 | 0,081 | 154 | 1,22% | 2,43% | 590 | 181,72 | 61,6 | 38,5 | 21,56 | 303,38 |
| ТП1.6-ТП1.7 | | 70 | 0,446 | 0,081 | 202 | 1,36% | 2,72% | 490 | 197,96 | 80,8 | 50,5 | 28,28 | 357,54 |
| ТП1.7-ТП1.8 | | 35 | 0,893 | 0,087 | 23 | 0,15% | 0,30% | 350 | 16,1 | 9,2 | 5,75 | 3,22 | 34,27 |
| ТП1.3-ТП1.9 | | | | | | | | | 1596,72 | 417,6 | 261 | 146,16 | 2421,48 |

Рассчитанные схемы соответствуют требованиям, касаемых допустимых потерь напряжения [3].

Экономический расчет проводился в соответствии с прайсом строительной организации [10]. Расходы на монтаж кабельных сетей состоят из стоимости кабельной продукции и монтажных работ.

Стоимость прокладки кабельных сетей:

$$C_{\text{сум}} = (p_k n + p_{\text{пр}} + p_{\text{раз}} + p_{\text{зас}}) \cdot l = C_{\text{кл}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{раз}} + C_{\text{зас}} \quad (16)$$

«где p_k – цена погонного метра кабеля, руб/м;

$p_{\text{пр}}$ – цена прокладки кабеля, руб/м;

$p_{\text{раз}}$ – цена копки траншеи, руб/м;

$p_{\text{зас}}$ – стоимость обратной засыпки, руб/м» [19].

Выводы по разделу

В результате, мы выяснили, что полный монтаж радиальной схемы питания дешевле магистральной на 280 тыс. руб.

6 Расчет токов короткого замыкания

Воспользуемся методом приближенного приведения.
«Мощность трехфазного короткого замыкания сети с $S_c=500$ МВА.
 $U_6=10,5$ кВ, $S_6=1000$ МВА» [5].

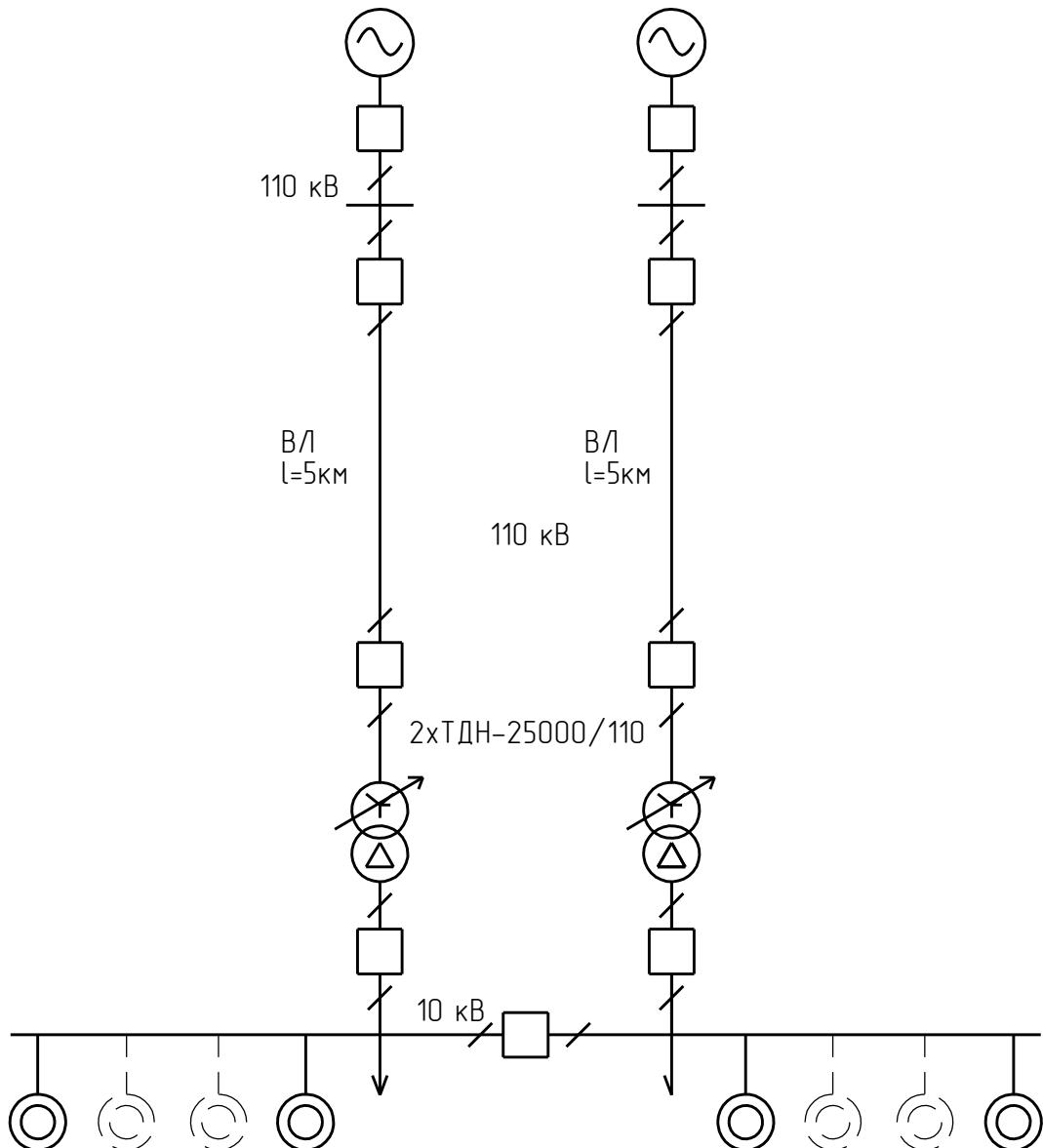


Рисунок 2 – Схема ГПП завода по производству пластмассы

Представим схему замещения ГПП на рисунке 3.

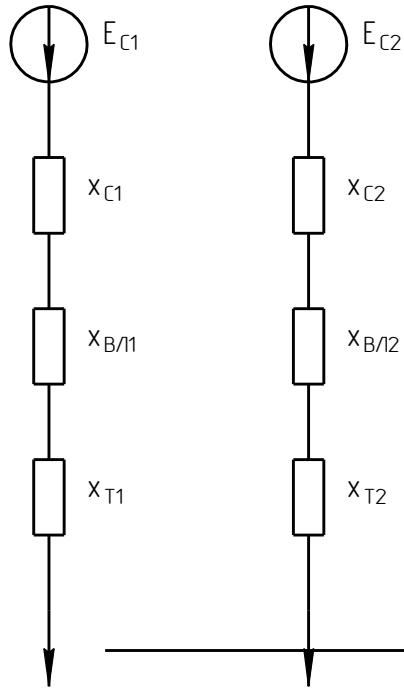


Рисунок 3 – Схема замещения ГПП

«Базисный ток ступеней напряжения 10 кВ и 110 кВ» [2]:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} \quad (17)$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 55 \text{ кА}$$

$$I_6 = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 115} = 5,02 \text{ кА}$$

«Мощность трансформаторов ГПП с учетом перегрузки» [2]:

$$S_{\text{т.гпп}} = \frac{S''_{\text{расч}}}{0,7 \cdot n} \quad (18)$$

$$S_{\text{т.гпп}} = \frac{33334,58}{0,7 \cdot 2} = 23810 \text{ МВА}$$

«В результате расчета выбираем 2xТДН-25000/110, $k_3 = 0,69$ » [2].

«Каждый из трансформаторов ГПП подключим через провод АС150/24 длинной 6 км» [10].

«Сопротивление ВЛ в Ом» [2]:

$$r_{\text{вл}} = r_{\text{уд}} \cdot l_{\text{вл}} \quad (19)$$

$$r_{\text{вл}} = 0,204 \cdot 6 = 1,224 \text{ Ом}$$

«Сопротивление ВЛ в о.е.» [2]:

$$x_{\text{вл}} = r_{\text{ЛВН}} \frac{S_6}{U_{\text{ВН}}^2} \quad (20)$$

$$x_{\text{вл}} = 1,224 \cdot \frac{1000}{115^2} = 0,0926 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление системы в о.е.» [2]:

$$x_{\text{с}} = \frac{S_6}{S_c} \quad (21)$$

$$x_{\text{с}} = \frac{1000}{1500} = 0,6667 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление трансформатора» [5]:

$$x_{\text{т}} = \frac{S_6 U_k}{100 \cdot S_{\text{т}}} \quad (22)$$

$$x_{\text{т}} = \frac{1000 \cdot 10,5}{100 \cdot 25} = 4,2 \text{ о.е.}$$

«Эквивалентное сопротивление схемы» [2]:

$$x_{\text{э}} = \frac{x_{\text{с}} + x_{\text{вл}} + x_{\text{т}}}{2} \quad (23)$$

$$x_{\text{э}} = \frac{0,6667 + 0,0926 + 4,200}{2} = 2,4796 \text{ о.е.}$$

В итоге принимаем, что $E_{\text{вн}} = E_{\Gamma} = 1,0$ о.е., $x_{\text{вн}} = 2,48$ о.е. (рисунок 4), для двигателя – $E_{\text{дв0}} = 1,1$ о.е.

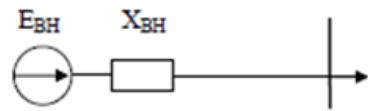


Рисунок 4 – Схема замещения

«Проведем расчет сопротивления от точки КЗ до шин ТП, представив схему на рисунке 5» [2].

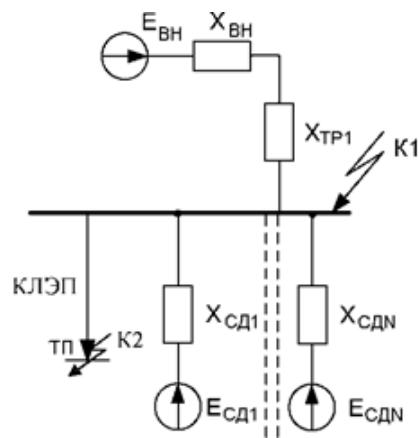


Рисунок 5 – Короткозамкнутая цепь

«Сверхпереходный ток сети внешнего электроснабжения:

$$I''_{\text{BH}} = \frac{E''_{\text{BH}} I_6}{x_{\text{BH}} + x_{\text{доп}}} = \frac{E''_{\text{BH}}}{x_{\Sigma}} \cdot I_6 \quad (24)$$

где $x_{\text{доп}}$ – сопротивление участка короткозамкнутой цепи» [5].

Получаем $I''_{\text{BH}} = 22,18 \text{ кA}$.

Эквивалентное сопротивление электродвигателей:

$$x_{\text{дв}0} = \frac{1}{\sum_{x_{\text{Cd}i}}^{\frac{1}{1}} + \sum_{x_{\text{Ad}i}}^{\frac{1}{1}}} \quad (25)$$

$$x_{\text{дв}0} = \frac{1}{\frac{1}{92,52} + \frac{1}{52,52} + \frac{1}{7,62} + \frac{1}{94,60}} = 5,84 \text{ о.е.}$$

Сверхпереходный ток с учетом подпитки электродвигателей:

$$I''_{\text{дв}0} = \frac{E''_{\text{дв}0} I_b}{x_{\text{дв}0}} \quad (26)$$

$$I''_{\text{дв}0} = \frac{1,1 \cdot 55}{5,84} = 10,37 \text{ кА}$$

По итогам проведенных преобразований получаем схему с точкой КЗ между внешними сетями и электродвигателями (рисунок 6).

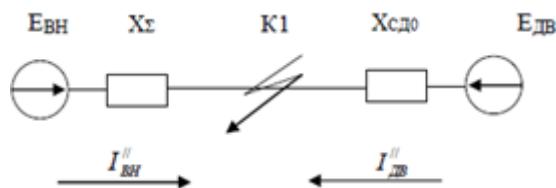


Рисунок 6 – Схема КЗ для точки К1

«Сверхпереходное значение трехфазного тока КЗ» [5]:

$$I''_{\text{K1}} = I''_{\text{BH}} + I''_{\text{дв}0} \quad (27)$$

$$I''_{\text{K1}} = I''_{\text{BH}} + I''_{\text{дв}} = 22,18 + 10,37 = 32,55 \text{ кА}$$

«Ударный ток в точке К1:

$$i_{\text{уд}} = k_{\text{уд}} \sqrt{2} I''_{\text{BH}} + k_{\text{уд,дв}} \sqrt{2} I''_{\text{дв}0} \quad (28)$$

$$i_{yд} = 1,0 \cdot \sqrt{2} \cdot 22,18 + 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,37 = 54,83 \text{ кА}$$

где $k_{уд}$ и $k_{уд.дв}$ – ударные коэффициенты, определяемые по расчетным кривым» [5].

Рассчитаем КЗ в точке К2. Кабельная линия 0,4 км, с $x_{кл1} = 0,227$ о.е., $r_{кл1} = 11,12$ о.е.

Ток КЗ в точке К2 равен:

$$I_{п0} = \frac{E_6}{\sqrt{x_{кл1}^2 + r_{кл1}^2}} \cdot I_6 \quad (29)$$

$$I_{п0} = \frac{1}{\sqrt{0,227^2 + 11,12^2}} \cdot 55 = 4,945 \text{ кА}$$

Ударный ток:

$$i_{yд} = \sqrt{2} \cdot I_{п0} \cdot K_{уд} \quad (30)$$

$$i_{yд} = \sqrt{2} \cdot 4,945 \cdot 1,4 = 9,791 \text{ кА}$$

«На стороне до 1 кВ при расчете токов КЗ необходимо учитывать индуктивные и активные сопротивления элементов цепи. Выберем точки К3, К4» [2].

«Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей примем равными $r_{кв}=0,25$ мОм, $x_{кв}=0,1$ мОм. Активное сопротивление контактов $r_k=0,1$ мОм. Сопротивление автоматического выключателя $r_{ав}=0,25$ мОм, $x_{ав}=0,1$ мОм» [2].

«Сопротивление системы» [25]:

$$x_c = \frac{U_{HH}^2}{S_c} \quad (31)$$

«Сопротивления трансформатора» [5]:

$$r_t = \frac{P_k \cdot U_{\text{HH}}^2}{S_t^2} \cdot 10^6 \quad (32)$$

$$x_t = \sqrt{u_k^2 - \left(\frac{100 \cdot P_k}{S_t}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{HH}}^2}{S_t} \cdot 10^4 \quad (33)$$

«Сопротивление цепи до точки КЗ:

$$r_{\text{сумм}} = r_{\text{КЛ2}} + r_t + r_k + r_{\text{ав}} + r_{\text{тт}} \quad (34)$$

$$x_{\text{сумм}} = x_{\text{КЛ2}} + x_t + x_{\text{ав}} + x_{\text{тт}} + x_c \quad (35)$$

где $x_{\text{КЛ2}}$ и $r_{\text{КЛ2}}$ – сопротивления кабельной линии» [2].

«Начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ без учета подпитки от электродвигателей» [2]:

$$I_{\text{п0}} = \frac{U_{\text{HH}}}{\sqrt{3 \cdot (r_{\text{сумм2}}^2 + x_{\text{сумм2}}^2)}} \quad (36)$$

«Угол сдвига по фазе напряжения (ЭДС источника) и периодической составляющей тока КЗ» [2]:

$$\varphi = \arctg\left(\frac{x_{\text{сумм2}}}{r_{\text{сумм2}}}\right) \quad (37)$$

«Время от начала КЗ до появления ударного тока» [2]:

$$t_{y_d} = 0,01 \cdot \frac{\frac{\pi}{2} + \varphi}{\pi} \quad (38)$$

«Постоянная времени затухания апериодической составляющей тока

КЗ:

$$T_a = \frac{x_{1\text{сумм}}}{r_{1\text{сумм}} \cdot \omega_c} \quad (39)$$

Ударный коэффициент:

$$K_{уд} = (1 + \sin\varphi \cdot e^{\frac{-t_{уд}}{T_a}}) \quad (40)$$

Ударный ток определяется по формуле 30 (таблица 10)» [2].

Таблица 10 – Результаты расчета трехфазного КЗ

| Точка КЗ/Ступень | r_i , мОм | x_i , мОм | φ | $T_a, 10^{-3}$ с | $I_{п0}$, кА | $K_{уд}$ | $i_{уд}$, кА |
|------------------|-------------|-------------|-----------|------------------|---------------|----------|---------------|
| K1, ВН | – | – | – | – | 32,55 | 1,0/1,6 | 54,829 |
| K2, ВН | – | – | – | – | 4,945 | 1,4 | 9,791 |
| K3, НН | 48,42 | 31,53 | 0,577 | 2,074 | 3,997 | 1,0 | 5,653 |
| K4, НН | 105,41 | 39,56 | 0,359 | 1,195 | 2,051 | 1,0 | 2,901 |

Выводы по разделу

Наиболее значительные токи были получены при КЗ в точке K1. При удалении точки КЗ от внешних сетей, токи снижаются.

7 Выбор основного электрооборудования и его проверка

Для простоты монтажа, установим на территории завода по производству пластмассы девять двухтрансформаторных КТП 1000/10/0,4 используя каталоги производителей (таблица 11) [11].

Ток термической стойкости точки К3:

$$B_K = I_{n.0}^2 (T_a + t_{n.b}) \quad (41)$$

$$B_K = 3,694^2 \cdot (2,6 + 30) \cdot 10^{-3} = 0,455 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$$

«Рассчитаем время действия релейной защиты:

$$\gamma = t_{pz} + t_{cvo} \quad (42)$$

$$\gamma = 0,01 + 0,04 = 0,05 \text{ с}$$

где t_{pz} – время срабатывания релейной защиты, с;

t_{cvo} – время срабатывания выключателя на отключение, с» [17].

«Максимальное значение апериодической составляющей ТКЗ» [17]:

$$i_{a\gamma} = \sqrt{2} \cdot I_{n0} \cdot e^{\frac{-0,05}{T_a}} \quad (43)$$

$$i_{a\gamma} = \sqrt{2} \cdot 3,694 \cdot 2,72^{\frac{-0,05}{2,6}} = 5,124 \text{ кА}$$

«Номинальное значение апериодической составляющей:

$$i_{an} = \sqrt{2} \cdot I_\zeta \cdot (1 + e^{-22,5 \cdot \gamma}) \quad (44)$$

$$i_{an} = \sqrt{2} \cdot 7 \cdot (1 + 2,72^{-22,5 \cdot 0,05}) = 13,113 \text{ кА}$$

где I_ζ – ток отключения выключателя, кА» [17].

Таблица 11 – Проверка параметров оборудования

| Расчетный параметр | Каталожный параметр | Трансформатор тока | Разъединитель | Автоматический выключатель |
|--------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------|----------------------------|
| до 1 кВ | | | | |
| $I_{\text{раб}}$, кА | 0,69 | I_h | 1 | 1 |
| $I_{\text{п0}}$, кА | 3,694 | I_ζ | – | – |
| $i_{\alpha\gamma}$, кА | 5,124 | $i_{\text{ан}}$ | – | – |
| $i_{\text{уд}}$, кА | 5,653 | $i_{\text{пред}}$ | 20 | 20 |
| B_K , $\text{kA}^2 \cdot \text{с}$ | 0,455 | B_h | 10 | 10 |
| 10 кВ | | | | |
| $I_{\text{раб}}$, кА | 1,031 | I_h | 1,2 | 1,25 |
| $I_{\text{п0}}$, кА | 32,55 | I_ζ | – | – |
| $i_{\alpha\gamma}$, кА | 45,157 | $i_{\text{ан}}$ | – | – |
| $i_{\text{уд}}$, кА | 54,829 | $i_{\text{пред}}$ | 250 | 102 |
| B_K , $\text{kA}^2 \cdot \text{с}$ | 34,542 | B_h | 100 | 120 |

«В результате выбираем:

- Вакуумный выключатель: ВБЭ-10/40/1250;
- Разъединитель: РВЗ-10-1250-III [15];
- Трансформаторы тока ТЛО-10/1200-М1» [1],[15],[20].

Выводы по разделу

В итоге был проведен расчет и сравнительный анализ параметров оборудования. Выбранное оборудование соответствует требуемым критериям.

8 Расчет заземления и молниезащиты

Рассчитаем параметры системы заземления и молниезащиты.

«Активная высота молниеотвода:

$$h_A = h - h_x \quad (45)$$

$$h_A = 30 - 7 = 23$$

где h – высота молниеотвода, м;

h_x – высота установки молниеотвода от уровня земли, м» [14].

«Зона защиты молниеотвода» [14]:

$$r_x = h_A \cdot \frac{1,60 \cdot P}{1 + h_x/h_A} \quad (46)$$

$$r_x = 23 \cdot \frac{1,60 \cdot 1}{1 + 7/30} = 29,838 \text{ м}$$

«Наибольшая сторона зоны защиты:

$$h_0 = h - \frac{a}{7} \quad (47)$$

$$h_0 = 30 - \frac{53}{7} = 22,5 \text{ м}$$

где a – расстояние между молниеотводами, м» [14].

«Ширина зоны защиты» [14]:

$$b_x = 3 \cdot (h_0 - 1,25h_x) \quad (48)$$

$$b_x = 3 \cdot (22,5 - 1,25 \cdot 7) = 41 \text{ м}$$

Изобразим графически зону защиты на рисунке 7.

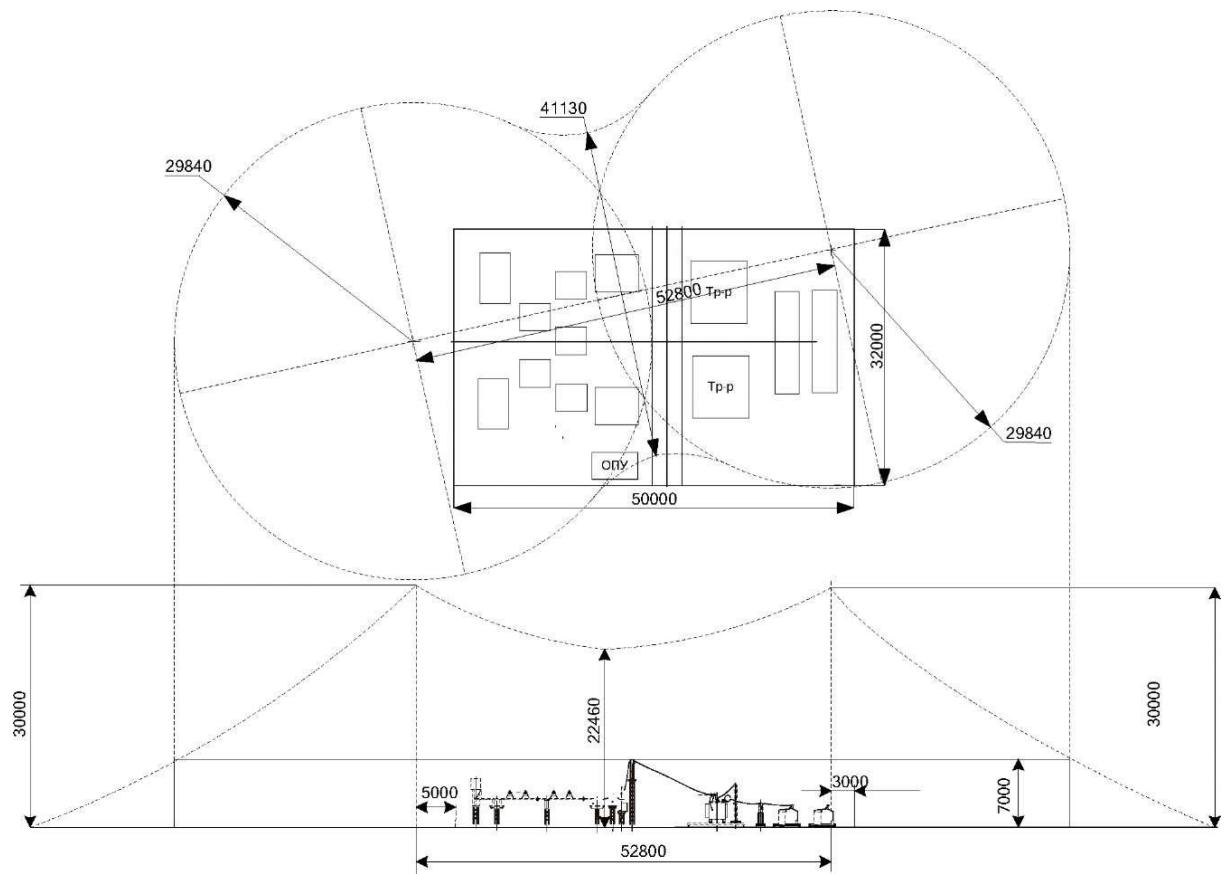


Рисунок 7 – Схема защиты от ударов молний

«В КТП установить контур защитного заземления из металлической полосы 25×4 на высоте 0,4...0,6м от уровня пола» [14].

Для расчета заземления применим общезвестные формулы.

«Сопротивление вертикально расположенного заземлителя:

$$R_{B.3} = \frac{\rho_{\text{з.г}}}{2\pi L_{B.3}} \left(\ln \frac{2L_{B.3}}{d_{B.3}} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot T_{B.3} + L_{B.3}}{4 \cdot T_{B.3} - L_{B.3}} \right) \quad (49)$$

$$R_{B3} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 5,0} \left(\ln \frac{2 \cdot 5,0}{0,1} + 0,5 \cdot \ln \frac{4,0 \cdot 3,0 + 5,0}{4,0 \cdot 3,0 - 5,0} \right) = 16,07 \text{ Ом}$$

где $\rho_{\text{з.г}}$ – величина удельного сопротивления земли, Ом · м;

$L_{B.3}$ – длина вертикально расположенного заземлителя, м;

$d_{B.3}$ – диаметр вертикально расположенного заземлителя, м;

$T_{B.3}$ – заглубление, м» [14].

«Сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_{\text{гз}} = \frac{\rho_{\vartheta}}{2\pi L_{\text{гз}}} \cdot \ln \frac{2L_{\text{гз}}^2}{b_{\text{гз}} \cdot h_{\text{гз}}} \quad (50)$$

$$R_{\text{гз}} = \frac{100}{2\pi \cdot 5,0} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5,0^2}{0,04 \cdot 0,5} = 24,9 \text{ Ом}$$

где $b_{\text{гз}}$ –ширина горизонтально расположенного заземлителя, м;

$h_{\text{гз}}$ –заглубление горизонтальных заземлителей, м;

$L_{\text{гз}}$ –длина горизонтально расположенного заземлителя, м» [14].

«Полное сопротивление ЗУ:

$$R_{3,y} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_{ui} n_i R_i} \quad (51)$$

$$R_{3,y} = \frac{1}{\frac{10 \cdot 0,69}{21,19} + \frac{1 \cdot 0,69}{24,9}} = 2,83 \text{ Ом}$$

где n_i – число комплектов;

k_{ui} – коэффициент использования» [14].

Сопротивление заземляющего устройства – допустимое.

«Тип системы заземления на вводе в здание – TN-C-S, а в распределительных и групповых сетях – TN-S» [8],[12].

«Данные системы заземления построены с применением глухозаземленной нейтрали. Характеризуются подключением нулевого проводника (N) к контуру заземления. При этом первый тип, на вводе в здания, характеризуется объединением защитного проводника PE и нулевого N в один комбинированный нуль (PEN) с подстанции, подключенного к глухозаземленной нейтрали. На входе в здание PEN проводник разделяется на N и PE проводники. Система заземления в распределительных и групповых сетях является более безопасной, имеет разделенные защитные проводники PE и нулевые N» [15].

«Токоведущие части электроустановки не должны быть доступны для случайного прикосновения, а доступные прикосновению открытые и сторонние проводящие части не должны находиться под напряжением, представляющим опасность поражения электрическим током как в нормальном режиме работы электроустановки, так и при повреждении изоляции» [14].

Расчет заземления ГПП для завода по производству пластмассы осуществляется аналогично.

Выводы по разделу

В заключительном разделе было рассчитано сопротивление заземляющего устройства, а также система молниезащиты. Расчетные значения не превышают предельно-допустимые.

Заключение

В данной ВКР была спроектирована система электроснабжения завода по производству пластмассы.

Исходными данными являлись нагрузки электроприемников потребителей завода по производству пластмассы. На основании исходных данных были вычислены суммарные электрические нагрузки с учетом установки освещения, а также компенсирующих устройств, необходимых для снижения реактивной мощности.

При расчете электрических нагрузок и ЦЭН были выбраны места установки девяти двухтрансформаторных КТП. В данном готовом решении уже предусмотрено всё необходимое оборудование.

На основании технико-экономического анализа было принято решение об использовании радиальной схемы питания потребителей завода по производству пластмассы.

Для проверки спроектированной схемы электроснабжения на соответствие требованиям надежности и бесперебойности, был проведен расчет токов КЗ. Точки КЗ были выбраны в четырех местах сети (две на стороне ВН и две на стороне НН). По мере отдаления точки КЗ от внешних сетей, токи КЗ снижались, что связано с повышением сопротивления цепи.

По результатам расчетов токов КЗ было принято к установке соответствующее оборудование для КТП и ГПП. Решение об установке принято на основании вычислений номинальных токов, рассчитанных токов термической и электродинамической стойкости.

Заключительным пунктом рассчитано заземление и молниезащита оборудования завода по производству пластмассы. Расчет молниезащиты проведен на примере ГПП, изображена схема молниезащиты. Для защиты требуется как минимум два молниеприемника. Что касается системы заземления, то сопротивление заземляющего устройства не превышает 4 Ом, что соответствует требованиям ПУЭ.

Список используемых источников

1. Вакуумный выключатель [Электронный ресурс] : Официальный сайт НПП Контакт. Контакт. URL: http://www.kontakt-saratov.ru/vikl_vbe_10_31-5/konstrukciya_vbe_10_31-5/ (дата обращения: 15.02.2023).
2. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением ниже 1 кВ [Электронный ресурс] : утв. приказом от 21.10.1993. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-28249-93> (дата обращения: 15.02.2023).
3. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения [Электронный ресурс] : введен в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 N 400-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200104301> (дата обращения: 15.02.2023).
4. ГОСТ 55706-2013 Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы (Переиздание) [Электронный ресурс] : утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1360-ст. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200105703> (дата обращения: 15.02.2023).
5. ГОСТ Р 52719-2007 Трансформаторы силовые. Общие технические условия [Электронный ресурс] : утв. приказом №60-ст от 09.04.2007. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200050072> (дата обращения: 15.02.2023).
6. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий [Электронный ресурс]: утв. и введен в действие Приказом Росстандарта от 08.11.2013 N 1364-ст. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 15.02.2023).
7. Жук В.Л. Оптимизация энергозатрат в металлургических технологиях : учебное пособие под ред. д.т.н., проф. А.А. Троянского. М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. 212 с.
8. Защитные меры в электроустановках [Электронный ресурс] : Официальный сайт компании ООО «РесурсПромАльянс». URL:

<https://www.ess-ltd.ru/elektrobezopasnost/zashchitnye-mery-v-elektroustanovkakh/> (дата обращения: 15.02.2023).

9. Каталог светильников GALAD [Электронный ресурс] : Официальный сайт международной светотехнической корпорации GALAD. URL: <https://galad.ru/catalog/> (дата обращения: 15.02.2023).

10. Комплексные поставки кабельно-проводниковой и электротехнической продукции [Электронный ресурс] : Официальный сайт ЭлектроКомплект-Сервис. URL: <https://e-kc.ru/> (дата обращения: 15.02.2023).

11. Номенклатурный каталог электрооборудования высокого, среднего и низкого напряжения [Электронный ресурс] : Каталог ПКФ «Автоматика». URL: <http://www.tulaavtomatika.ru/pdf/Nomenkl2014.pdf> (дата обращения: 15.02.2023).

12. НТП ЭПП-94 Проектирование электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс] : Нормы технологического проектирования (1 редакция) принятые Тяжпромэлектропроект от 01.01.1994. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030085> (дата обращения: 15.02.2023).

13. ОРД 14.370-36-86 Указания по проектированию электрохозяйства металлургических заводов [Электронный ресурс] : Руководящий документ введен от 01.01.1987. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200062586> (дата обращения: 15.02.2023).

14. Правила устройства электроустановок. 7-е издание / Ред. Л.Л. Жданова, Н. В. Ольшанская. М.: НЦ ЭНАС, 2013. 104 с.

15. Разъединитель [Электронный ресурс] : Официальный сайт завода по производству высоковольтного оборудования «Высоковольтный союз». URL: <https://www.vsoyuz.com/ru/produkcija/razediniteli/razediniteli-10-kv/disconnectors-rvz.htm> (дата обращения: 15.02.2023).

16. Расчет сетей по потерям напряжения [Электронный ресурс] : Образовательный электротехнический портал. URL: <http://electricalschool.info/main/elsnabg/905-raschet-setejj-po-poterjam-naprjazhenija.html> (дата обращения: 15.02.2023).

17. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок [Электронный ресурс] : Руководящий технический материал утв. техническим циркуляром ВНИПИ Тяжпромэлектропроект от 30.07.1992 N 359-92. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200032239> (дата обращения: 15.02.2023).

18. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение [Электронный ресурс]: Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 утв. Приказом Минстроя России от 07.11.2016 N 777/пр. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 15.02.2023).

19. Стоимость услуг на прокладку кабеля [Электронный ресурс] : Официальный сайт группы компаний ЭнергоСнабСтрой. URL: <https://www.spb-elektromontazh.ru/uslugi/prokladka-kabelya/ceny/> (дата обращения: 15.02.2023).

20. Трансформаторы тока ТЛО-10 М1 [Электронный ресурс] : Официальный сайт ООО «Электрощит-Ко». URL: http://www.kztt.ru/catalog/transformatori_toka/tlo-10_on_3-10_kv/1/ (дата обращения: 15.02.2023).

21. Щербаков Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. Москва : Форум, 2019. 495 с.

22. Benthaus M. A coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. Energy, Sustainability and Society Vol. 9, №1. 2019. p.1-16.

23. Escrivá-Escrivá G., Roldán-Blay C., Roldán-Porta C., Serrano-Guerrero X. Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost. Energies Vol. 12, №15. 2019. 14 p.

24. Rexhepi V. An Analysis of Power Transformer Outages and Reliability Monitoring. Technical University of Sofia, Faculty of Electrical Engineering, Boulevard “Sveti Kliement Ohridski” 8, Sofia, 1000, Bulgaria, 2017. 418 p.

25. Shabdin N.H., Padfield R. Sustainable Energy Transition, Gender and Modernisation in Rural Sarawak. Chemical Engineering Transactions vol.56, 2017. p.259-264.

26. Surya S., Wayne Beaty H. Standard Handbook for Electrical Engineers, Seventeenth Edition. - McGraw Hill Professional, 2017. 368 p.