

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 группы цехов предприятия по производству
выхлопных систем»

Студент

Д.О. Родионов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., А.Н. Черненко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Аннотация

Бакалаврская работа выполнена на тему «Электроснабжение группы цехов предприятия по производству выхлопных систем».

В ходе выполнения работы были определены расчетные электрические нагрузки, определены параметры системы внутреннего освещения помещений.

Для ТП предприятия выбрано необходимое количество силовых трансформаторов и найдено значение номинальной мощности каждого трансформатора.

Предварительный выбор основного электрооборудования и проводников позволил получить исходные данные для расчета токов короткого замыкания на стойкость к которым и на коммутационную способность были проверены выбраны аппараты защиты. Для трансформаторной подстанции предприятия был выполнен расчет системы заземления.

Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки на 60 страниц текста, дополненного 2 рисунками и 10 таблицами в которые сводились исходные данные и результаты расчетов и выбора электрооборудования. Записка дополнена графическим материалом, состоящим из 6 листов А1.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Краткая характеристика предприятия | 5 |
| 2 Определение расчётных электрических нагрузок группы цехов | 7 |
| 3 Определение параметров системы внутреннего освещения | 12 |
| 4 Определение количества и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП | 24 |
| 5 Выбор схемы внутреннего электроснабжения производства | 28 |
| 6 Выбор электрических аппаратов и проводников | 30 |
| 7 Определение токов КЗ | 42 |
| 8 Определение параметров системы заземления КТП | 55 |
| Заключение | 57 |
| Список используемых источников | 58 |

Введение

Электроэнергетике присущи определенные особенности, которыми не обладают другие отрасли промышленности:

- неделимость и одновременность производства, передачи и последующего потребления электрической энергии;
- высокая скорость протекания процессов как в нормальном режиме функционирования, так и в аварийном;
- зависимость от электроэнергетики остальных отраслей, и влияние электроприемников в этих отраслях друг на друга и на электроэнергосистему.

Особенности электроэнергетики приводят к появлению ряда особенностей в системе электроснабжения промышленного предприятия (СЭС ПП):

- использование быстродействующих устройств, работающих в автоматическом режиме, способных реагировать на переходные процессы, происходящие в СЭС ПП;
- разнообразие технических решений по реализации СЭС ПП, вызванное особенностями технологических процессов на предприятиях;
- Постоянное совершенствование технологического процесса и изменение состава электроприемников приводит к изменению конфигурации и состава СЭС ПП [1-4].

Цель выпускной квалификационной работы заключается в создании надежной системы электроснабжения группы цехов предприятия по производству выхлопных систем.

1 Краткая характеристика предприятия

Предприятие занимается производством выхлопных систем и их компонентов для автомобилей отечественного и импортного производства.

Система выпуска двигателя автомобиля предназначена для отвода отработавших газов, снижения температуры и шума при их выбросе в атмосферу. В дополнительном и основном глушителях отработавшие газы проходят по системе отверстий и камер, в которых они остывают и теряют свою скорость, в результате шумность выхлопа снижается до нормативного уровня.

Для глушителей, выпускаемых предприятием, разработана оптимальная конструкция, которая обеспечивает нормативные показатели по шумности и минимальные по противодействию на двигатель. Конструкция протестирована на полигоне ведущего отечественного производителя автомобилей и рекомендована к применению на автомобилях в качестве запасных запчастей. Контрольные образцы продукции прошли испытания в Испытательном центре продукции автомобилестроения НАМИ. На основании протокола испытаний получен Сертификат соответствия Госстандарта России.

При производстве глушителей применяется передовая закатная технология на специализированной полуавтоматической закатной линии: корпус глушителя собирается методом продольной и поперечной закатки из качественной (ГОСТ 16523-97) листовой стали 08ПС толщиной не менее 1,2 мм без использования сварки.

В ассортимент выпускаемого оборудования входят:

- глушители для ВАЗ, ГАЗ и автомобилей импортного производства;
- глушители дополнительные (резонаторы) ВАЗ;
- трубы приемные ВАЗ;
- глушители, резонаторы для иномарок;
- пламегасители универсальные;

- пламегасители коллекторные;
- стронгеры;
- расходные материалы для ремонта глушителя;
- универсальные элементы выхлопных систем и др.

К основному электрооборудованию относятся различные виды станков, сварочных установок, подъемно-транспортного электрооборудования, системы вентиляции и другие электроприемники (ЭП). Номинальная мощность отдельных ЭП варьируется от десятых долей кВт до 130 кВт у наиболее мощных электроприемников. Большинство ЭП работает в продолжительном режиме работы, меньшая – в повторно-кратковременном. Имеются установки, работающие как на трехфазном токе основной частоты, так и на однофазном токе основной частоты. Большая часть электроприемников относится ко второй и первой категориям по надежности электроснабжения, но есть и группа электроприемников, относящихся к первой категории к которым относятся установки аварийного освещения, системы дымоудаления и пожарные насосы.

Работа на предприятии ведется в три смены.

Группа цехов предприятия питается от 4 трансформаторных подстанций с напряжением ВН 10 кВ. Цеховые трансформаторные подстанции получают питание от центрального заводского распределительного пункта.

Вывод: в разделе приведена краткая характеристика предприятия.

2 Определение расчётных электрических нагрузок группы цехов

Расчетные активная, реактивная и полная мощности единичного ЭП принимаются равными номинальным P_p Q_p S_p [5, 6]:

$$P_p = P_H; \quad (2.1)$$

$$Q_p = Q_H = P_H \operatorname{tg} \varphi_H; \quad (2.2)$$

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi_H}, \quad (2.3)$$

где P_p , Q_p , S_p — расчетные активная, реактивная, полная мощности ЭП соответственно; P_H , Q_H , S_H — номинальные (установленные) активная, реактивная, полная мощности ЭП соответственно; $\cos \varphi_H$, $\operatorname{tg} \varphi_H$ — номинальное значение коэффициента мощности и соответствующий ему коэффициент реактивной мощности ЭП.

«Номинальная активная мощность ЭП — мощность, указанная в паспорте ЭП. Номинальная реактивная мощность ЭП — реактивная мощность, потребляемая из сети (знак плюс) или генерируемая в сеть (знак минус) при номинальной активной мощности и номинальном напряжении (для синхронных двигателей при номинальном токе возбуждения и $\cos \varphi_H$ принимается со знаком минус)» [7].

Для большинства ЭП в паспорте указывается значение активной номинальной мощности, для сварочных и печных трансформаторов указывается значение полной мощности. Для синхронных и асинхронных электродвигателей задается номинальная мощность на валу двигателя. Мощность, потребляемая из сети P_d , определяется с учетом потерь мощности в электродвигателе:

$$P_d = \frac{P_H}{\eta},$$

где P_H — номинальная (паспортная) мощность двигателя; η — коэффициент полезного действия двигателя. При определении расчетных электрических нагрузок пренебрегают, принимая $P_d = P_H$.

При расчете нагрузок все ЭП должны быть приведены к ПВ=100%. Суммарная активная мощность каждой подгруппы ЭП находится:

$$P_H = P_{II} \cdot n \quad (2.4)$$

Так, для сварочных машин:

$$P_H = 24 \cdot 4 = 96 \text{ кВт},$$

а для установок подзаряда:

$$P_H = 7,2 \cdot 14 = 100,8.$$

Значение коэффициента силовой сборки находим:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}} \quad (2.5)$$

В зависимости от значения этого коэффициента выбирается расчетная формула для нахождения эффективного числа электроприемников в итоговой строке по узлу нагрузки.

Для ШРА 4/4-1:

$$m = \frac{96}{1,1} \geq 3$$

Значение средней нагрузки за наиболее загруженную смену находим с

при помощи коэффициентов использования и мощности:

$$P_C = K_H \cdot P_H \quad (2.6)$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg}\phi \quad (2.7)$$

Для сварочных машин среднесменная нагрузка составит:

$$P_C = 0,2 \cdot 96 = 19,2 \text{ кВт},$$

$$Q_C = 19,2 \cdot 2,29 = 43,97 \text{ квар}.$$

После нахождения среднесменных нагрузок для каждой группы ЭП определяем итоговые значения по каждому узлу питания.

Значения среднего коэффициента использования и коэффициента мощности определяем, как:

$$K_{H.CP} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{H.\Sigma}}, \quad (2.8)$$

$$K_{H.CP} = \frac{59,48}{229,2} \approx 0,26;$$

$$\operatorname{tg}\phi_{cp} = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C}, \quad (2.9)$$

$$\operatorname{tg}\phi_{cp} = \frac{99,64}{59,48} = 1,68 \Rightarrow \cos\phi_{cp} = 0,51$$

При значении коэффициента $m > 3$ и $K_{H.CP} \geq 0,2$ эффективное число ЭП находим по формуле:

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{H.MAKC}}, \quad (2.10)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 229,2}{96} \approx 5 \text{ шт.}$$

По справочному пособию найдем значение коэффициента максимума:

$$K_M = 1,0$$

Найдем расчётную активную нагрузку [8, 9]:

$$P_P = K_M \cdot P_C, \quad (2.11)$$

$$P_P = 1,0 \cdot 59,48 = 59,48 \text{ кВт.}$$

Расчётная реактивная нагрузка определяется в зависимости от числа эффективных электроприемников:

$$Q_P = 1,1 \cdot 99,65 = 109,6 \text{ квар.}$$

Найдем значение полной расчётной нагрузки:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}, \quad (2.12)$$

$$S_P = \sqrt{59,48^2 + 109,6^2} = 124,71 \text{ кВА.}$$

Расчётный ток для электроприёмников рассматриваемого узла находим через величину номинального напряжения питания:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.13)$$

$$I_P = \frac{124,71}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 189,47 \text{ А.}$$

Таким же образом определим значения расчетных нагрузок по каждому узлу питания. После суммирования итоговых расчетных данных получим значение нагрузки в целом по трансформаторной подстанции:

$$P_{P\Sigma} = 1821,69 \text{ кВт},$$

$$Q_{P\Sigma} = 2155,9 \text{ квар},$$

$$S_{P\Sigma} = 3073,60 \text{ кВА},$$

$$I_{P\Sigma} = 4669,86 \text{ А}.$$

Вывод: определены значения нагрузок в целом по трансформаторной подстанции.

3 Определение параметров системы внутреннего освещения

В соответствии с [1] питание осветительных сетей должно выполняться от сети напряжением 380/220 В с системой заземления TN-S или TN-C-S. Источником питания осветительной сетей внутреннего освещения служат: на промышленных предприятиях – шины РУ 0,4 кВ цеховых ТП, головные участки магистральных шинопроводов; в схемах общественных, административных и других зданий – шины вводно-распределительных устройств или других НКУ [10, 11].

Сети наружного освещения выполняются с системой заземления TN-C, подключаются к шинам РУ 0,4 кВ ТП.

Электрические сети освещения в соответствии с [12] подразделяются на питающую, распределительную и групповую.

Питающая осветительная сеть – сеть от РУ 0,4 кВ ТП до вводного устройства, вводно-распределительного устройства или главного распределительного щита. Распределительная сеть – сеть от ВУ, ВРУ, ГРЩ до распределительных пунктов, щитков и пунктов питания наружного освещения. Групповая сеть – сеть от распределительных пунктов, щитков до светильников, штепсельных розеток и других ЭП.

Для питания рабочего и аварийного освещения используются независимые источники питания (от разных трансформаторов двухтрансформаторных подстанций, от разных подстанций в предположении что эти источники являются независимыми). Для аварийного освещения предусматривается дополнительный источник питания, в качестве которого можно использовать светильники аварийного освещения с блоками бесперебойного питания.

С первой секции шин 0,4 кВ двухтрансформаторной подстанции получает питание щит рабочего освещения. Для щита рабочего освещения применяются, как правило, распределительные шкафы с номинальным током до 630 А с автоматическими выключателями или плавкими

предохранителями. От щита освещения по магистральной и радиальной схемам получают питание групповые щитки рабочего освещения с номинальным током до 50-100 А. Аварийное освещение должно получать питание от независимого источника питания. На схеме щиток аварийного освещения подключен через распределительный шкаф по II секции шин 0,4 кВ ТП.

Если количество групповых щитков рабочего освещения невелико и возможно подключение их к одной линии, то в схеме может отсутствовать щит рабочего освещения. В этом случае уменьшается число ступеней распределения электрической энергии, и схема упрощается.

Питающая и распределительная сети внутреннего освещения могут выполняться четырехпроводными с проводниками L1, L2, L3, PEN или пятипроводными с проводниками L1, L2, L3, N, PE.

Расчет системы освещения выполняется по методу коэффициента использования светового потока.

Сперва определяется площадь каждого из помещений:

$$S = a \cdot b, \quad (3.1)$$

Исходя из данных о загрязненности помещения принимаем значение коэффициента запаса равное 2.

По материалам, из которых изготовлены потолок, стены и пол помещения принимаем коэффициенты отражения 80 %, 47 %, 27 % соответственно.

Число светильников в помещении определяем по формуле [13]:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{л}}, \quad (3.2)$$

Находим значение активной и реактивной мощности системы

освещения помещения:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л}, \quad (3.3)$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\phi. \quad (3.4)$$

По аналогичной методике производим расчеты освещения в программном комплексе светотехнических расчетов DIALux Light. Полученные результаты расчетов заносим в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчетов систем освещения отдельных помещений

| Краткое наименование помещения | Р _{осв} ,кВт | Q _{осв} , вар |
|---|-----------------------|------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Главный корпус производства | | |
| КТП | 1,73 | 0,83 |
| Сварочный цех №1 (выхлопные системы) | 65,60 | 31,49 |
| Сварочный цех №2 (каркасы) | 13,6 | 6,53 |
| Вентустановки 5, 6 | 2×3,6 | 2×1,73 |
| Туалет | 2×0,864 | 2×0,41 |
| Комната отдыха | 0,864 | 0,41 |
| Помещение подзарядки аккумуляторов 2 | 1,6 | 0,77 |
| Ремонтный цех | 6,4 | 3,07 |
| Совместное производственное объединение | | |
| Производственный цех | 32,8 | 16,13 |
| Приёмная директора производства | 0,144 | 0,069 |
| Кабинет директора производства | 0,108 | 0,052 |

Продолжение таблицы 3.1

| Краткое наименование помещения | Р _{осв} , кВт | Q _{осв} , вар |
|--|------------------------|------------------------|
| Кабинет заместителя директора производства | 0,144 | 0,07 |
| Кабинет инженерно-технических работников | 0,288 | 0,14 |
| Помещение серверной и ТК | 0,072 | 0,03 |
| Кабинет для переговоров | 0,144 | 0,07 |
| Складской комплекс | | |
| Складское помещение для выхлопных систем | 32,4 | 15,55 |
| Упаковочный участок | 4,8 | 2,30 |
| Складское помещение 1 | 3,6 | 1,73 |
| Складское помещение 2 | 3,6 | 1,73 |
| Склад компонентов и деталей | 3,6 | 1,73 |
| Всего по помещениям: | 180,42 | 86,6 |

Найдем итоговые значения активной и реактивной мощности:

$$P_{\Sigma} = P_{P\Sigma} + P_{осв} = 1821,69 + 180,42 = 2002,11 \text{ кВт};$$

$$Q_{\Sigma} = Q_{P\Sigma} + Q_{осв} = 2155,9 + 86,60 = 2242,5 \text{ квар.}$$

Полная итоговая нагрузка:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{2002,11^2 + 2242,5^2} = 3053,72 \text{ кВА.}$$

Значение итогового тока с учетом системы освещения:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{3053,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4639,7 \text{ А.}$$

Результаты расчета нагрузок по узлам питания заносим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты расчета нагрузок по узлам питания

| № ЭП на плане предпр. | Краткое наименование электроприемника | <i>n</i> , <i>шт</i> | P_H (ПВ=100%) | | <i>m</i> | K_H | $\cos\varphi/$ $tg\varphi$ | Среднесменна я нагрузка | | $n_{Э}$ | K_M | Расчётная нагрузка по узлу питания | | | $I_P,$ <i>A</i> |
|-----------------------------|--|-------------------------|----------------------|------------------------------|----------|-------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------|-------|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| | | | $P_H,$ <i>кВт</i> | $P_{H\Sigma},$ <i>кВт</i> | | | | $P_C,$ <i>кВт</i> | $Q_C,$ <i>квар</i> | | | $P_P,$ <i>кВт</i> | $Q_P,$ <i>квар</i> | $S_P,$ <i>кВА</i> | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| ЩРА 4/1-1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 120..127 | Сварочные установки (подвесное исполнение) | 8 | 10 | 80 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 16 | 36,64 | | | | | | |
| 34..39 | Сварочный робот | 6 | 1,2 | 7,2 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 7,2 | 3,46 | | | | | | |
| | | | 8,4 | 50,4 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 10,08 | 23,08 | | | | | | |
| 213..215 | Вентустановка | 3 | 1,5 | 4,5 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 3,375 | 2,53 | | | | | | |
| Всего по ЩРА 4/1-1 | | 17 | 21,1 | 161,3 | > 3 | 0,26 | 0,49/ 1,76 | 36,655 | 65,71 | 4 | 1,19 | 43,62 | 72,28 | 84,42 | 128,27 |
| ЩРА 4/1-2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70..92 | Установка для точечной сварки | 23 | 24 | 552 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 110,4 | 252,82 | | | | | | |
| 230..232 | Вентустановка | 3 | 1,1 | 3,3 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 3,3 | 2,475 | | | | | | |
| Всего по ЩРА 4/1-2 | | 26 | 25,1 | 555,3 | > 3 | 0,20 | 0,41/ 2,26 | 112,87 | 254,67 | 2 | 2,69 | 303,63 | 280,14 | 413,12 | 627,68 |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-----------------------|----------------------------------|----|------|-------|--------|------|---------------|-------|--------|----|------|-------|--------|--------|---------|
| 172..176 | Сварочная установка VX220/7,5Н-С | 5 | 15 | 75 | | 0,2 | 0,5/ 1,73 | 15 | 25,95 | | | | | | |
| 233..235, 245..247 | Вентустановка | 6 | 1,1 | 6,6 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 4,95 | 3,71 | | | | | | |
| 208 | | 1 | 2,2 | 2,2 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 1,65 | 1,238 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/2-3 | | 27 | 35,5 | 213,8 | > 3 | 0,26 | 0,52/ 1,64 | 55,28 | 90,65 | 6 | 0,96 | 53,07 | 99,72 | 112,96 | 171,62 |
| ШРА 4/2-4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 56..58 | Сварочный робот | 3 | 1,2 | 3,6 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 3,6 | 1,728 | | | | | | |
| | | | 8,4 | 25,2 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 5,04 | 11,54 | | | | | | |
| 203 | Транспортер | 1 | 2,2 | 2,2 | | 0,55 | 0,75/ 0,88 | 1,21 | 1,0648 | | | | | | |
| 158..167 | Установка для сварки в аргоне | 10 | 7,6 | 76 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 15,2 | 34,81 | | | | | | |
| 248..251 | Вентустановка | 4 | 1,1 | 4,4 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 3,3 | 2,475 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/2-4 | | 18 | 20,5 | 111,4 | > 3 | 0,25 | 0,48/ 1,82 | 28,35 | 51,62 | 3 | 1,8 | 51,03 | 56,78 | 76,341 | 115,990 |
| ШРА 4/4-1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1..11 | Сварочный робот | 11 | 1,2 | 13,2 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 13,2 | 6,336 | | | | | | |
| | | | 8,4 | 92,4 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 18,48 | 42,32 | | | | | | |
| 59. | Аппарат дуговой сварки | 1 | 22 | 22 | | 0,2 | 0,75/ 0,88 | 4,4 | 3,87 | | | | | | |
| 61..64 | Установка для точечной сварки | 4 | 24 | 96 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 19,2 | 43,97 | | | | | | |
| 209..211 | Вентустановка | 3 | 1,5 | 4,5 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 3,375 | 2,53 | | | | | | |
| 218 | | 1 | 1,1 | 1,1 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 0,825 | 0,62 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/4-1 | | 20 | 58,2 | 229,2 | | 0,26 | 0,51/ 1,68 | 59,48 | 99,64 | 5 | 1 | 59,48 | 109,60 | 124,71 | 189,47 |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------------|-------------------------------|----|------|-------|--------|------|---------------|--------|-------|----|------|---------|--------|---------|---------|
| ШРА 4/4-2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | Аппарат дуговой сварки | 1 | 22 | 22 | | 0,2 | 0,75/ 0,88 | 4,4 | 3,87 | | | | | | |
| 204 | Вентустановка | 1 | 2,2 | 2,2 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 1,65 | 1,24 | | | | | | |
| 219..221 | | 3 | 1,1 | 3,3 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 2,475 | 1,86 | | | | | | |
| 12..17 | Сварочный робот | 6 | 1,2 | 7,2 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 7,2 | 3,456 | | | | | | |
| | | | 8,4 | 50,4 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 10,08 | 23,08 | | | | | | |
| 65..67 | Установка для точечной сварки | 3 | 24 | 72 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 14,4 | 32,98 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/4-2 | | 14 | 58,9 | 157,1 | > 3 | 0,26 | 0,52/ 1,65 | 40,205 | 66,48 | 4 | 1,19 | 47,84 | 73,13 | 87,39 | 132,77 |
| ШРА 4/4-3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18..29 | Сварочный робот | 12 | 1,2 | 14,4 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 14,4 | 6,912 | | | | | | |
| | | | 8,4 | 100,8 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 20,16 | 46,17 | | | | | | |
| 222..225 | Вентустановка | 4 | 1,1 | 4,4 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 3,3 | 2,475 | | | | | | |
| 68..69 | Установка для точечной сварки | 2 | 24 | 48 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 9,6 | 21,98 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/4-3 | | 18 | 34,7 | 167,6 | > 3 | 0,28 | 0,52/ 1,63 | 47,46 | 77,54 | 3 | 1,42 | 67,3932 | 85,291 | 108,703 | 165,157 |
| ШРА 4/8-2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40..44 | Сварочный робот | 5 | 1,2 | 6 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 6 | 2,88 | | | | | | |
| | | | 8,4 | 42 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 8,4 | 19,24 | | | | | | |
| 145..150 | Установка для сварки в аргоне | 6 | 7,6 | 45,6 | > 3 | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 9,12 | 20,88 | | | | | | |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------------|-------------------------------------|----|-----------|--------|--------|------|---------------|--------|-------------|----|------|--------|--------|---------|---------|
| 289 | Электродвигатель створки ворот | 1 | 0,55 | 0,55 | | 0,4 | 0,75/ 0,88 | 0,22 | 0,19 | | | | | | |
| | Распредпункт 6 | 5 | 13,9 | 32,8 | | 0,35 | 0,6/ 1,33 | 11,36 | 15,15 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/9-1 | | 21 | 53,9 | 207,15 | > 3 | 0,26 | 0,54/ 1,55 | 54,5 | 84,421 | 4 | 1,19 | 64,855 | 92,863 | 113,268 | 172,093 |
| ШРА 4/9-2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 282, 283 | Установка для точечной сварки | 2 | 24 | 48 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 9,6 | 21,984 | | | | | | |
| 259..262 | Сварочный робот | 4 | 1,2 | 4,8 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 4,8 | 2,304 | | | | | | |
| | | | 8,4 | 33,6 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 6,72 | 15,388 8 | | | | | | |
| 279 | Внутришовная сварочная установка | 1 | 37,2 | 37,2 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 7,44 | 17,037 6 | | | | | | |
| 269, 270 | Пресс гидравлический | 2 | 6,4 | 12,8 | | 0,17 | 0,65/ 1,17 | 2,176 | 2,5459 2 | | | | | | |
| 280, 281 | Аппарат для дуговой сварки в аргоне | 2 | 56,2 | 112,4 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 22,48 | 51,479 2 | | | | | | |
| 290, 291 | Вентустановка | 2 | 22 | 44 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 33 | 24,75 | | | | | | |
| 292..295 | | 4 | 5,5 | 22 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 16,5 | 12,375 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/9-2 | | 17 | 160, 9 | 314,8 | > 3 | 0,33 | 0,57/ 1,44 | 102,71 | 147,86 | 6 | 0,95 | 97,58 | 162,65 | 189,68 | 288,184 |
| ШРА 4/10-1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 103, 104 | Сварочный робот | 2 | 12,5 | 25 | | 0,2 | 0,5/ 1,73 | 5 | 8,65 | | | | | | |
| 205 | Вентустановка | 1 | 2,2 | 2,2 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 1,65 | 1,24 | | | | | | |
| 212 | | 1 | 1,5 | 1,5 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 1,125 | 0,84 | | | | | | |
| 226, 227 | | 2 | 1,1 | 2,2 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 1,65 | 1,24 | | | | | | |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------------------------|--|----|------|-------|--------|------|---------------|--------|--------|----|------|--------|--------|--------|---------|
| 93..100 | Установка для точечной сварки | 8 | 48 | 384 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 76,8 | 175,87 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/10-1 | | 14 | 65,3 | 414,9 | > 3 | 0,21 | 0,42/ 2,17 | 86,225 | 187,84 | 2 | 2,69 | 231,94 | 206,62 | 310,63 | 471,96 |
| ШРА 4/10-2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 112..119 | Сварочные установки (подвесное исполнение) | 8 | 10 | 80 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 16 | 36,64 | | | | | | |
| 30..33 | Сварочный робот | 4 | 1,2 | 4,8 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 4,8 | 2,304 | | | | | | |
| | | | 8,4 | 33,6 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 6,72 | 15,39 | | | | | | |
| 105, 106 | Сварочный робот | 2 | 12,5 | 25 | | 0,2 | 0,5/ 1,73 | 5 | 8,65 | | | | | | |
| 228, 229 | Вентустановка | 2 | 1,1 | 2,2 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 1,65 | 1,24 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/10-2 | | 16 | 33,2 | 145,6 | > 3 | 0,23 | 0,47/ 1,88 | 34,17 | 64,22 | 4 | 1,46 | 49,89 | 70,64 | 86,48 | 131,396 |
| ШРА 4/11-1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 177..190 | Подзарядные устройства | 14 | 7,2 | 100,8 | | 0,5 | 0,7/ 1,02 | 50,4 | 51,408 | | | | | | |
| 252 | Вентустановка | 1 | 7,5 | 7,5 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 5,625 | 4,219 | | | | | | |
| Всего по ШРА 4/11-1 | | 15 | 14,7 | 108,3 | > 3 | 0,52 | 0,71/ 0,99 | 56,025 | 55,63 | 2 | 1,24 | 69,47 | 61,189 | 92,576 | 140,655 |
| Распределительный пункт 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 193, 194 | Вентустановка | 2 | 75 | 150 | | 0,7 | 0,8/ 0,75 | 105 | 78,75 | | | | | | |
| Всего по распредпункту 1 | | 2 | 75 | 150 | < 3 | 0,7 | 0,8/ 0,75 | 105 | 78,75 | 2 | 1 | 105 | 86,625 | 136,12 | 206,814 |
| Распределительный пункт 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 195, 196 | Вентустановка | 2 | 75 | 150 | | 0,7 | 0,8/ 0,75 | 105 | 78,75 | | | | | | |
| Всего по распредпункту 2 | | 2 | 75 | 150 | < 3 | 0,7 | 0,8/ 0,75 | 105 | 78,75 | 2 | 1 | 105 | 86,625 | 136,12 | 206,814 |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------------------------|--------------------------------|---|-----------|--------|--------|------|---------------|--------|--------|----|----|--------|--------|---------|---------|
| Распределительный пункт 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Распредпункт 1 | 2 | 75 | 150 | | 0,7 | 0,8/ 0,75 | 105 | 78,75 | | | | | | |
| 240, 241 | Вентустановка | 2 | 1,1 | 2,2 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 1,65 | 1,24 | | | | | | |
| 191 | Электродвигатель створки ворот | 1 | 0,55 | 0,55 | | 0,4 | 0,75/ 0,88 | 0,22 | 0,194 | | | | | | |
| 192 | Вентустановка | 1 | 11 | 11 | | 0,65 | 0,85/ 0,62 | 7,15 | 4,433 | | | | | | |
| Всего по распредпункту 3 | | 6 | 87,6 5 | 163,75 | > 3 | 0,7 | 0,8/ 0,74 | 114,02 | 84,61 | 2 | 1 | 114,02 | 93,07 | 147,186 | 223,625 |
| Распределительный пункт 4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Распредпункт 2 | 2 | 75 | 150 | | 0,7 | 0,8/ 0,75 | 105 | 78,75 | | | | | | |
| 197..200 | Токарный станок | 4 | 1 | 4 | | 0,13 | 0,4/ 2,29 | 0,52 | 1,19 | | | | | | |
| 201 | Сварочная установка | 1 | 5,2 | 5,2 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 1,04 | 2,38 | | | | | | |
| Всего по распредпункту 4 | | 7 | 81,2 | 159,2 | > 3 | 0,67 | 0,79/ 0,77 | 106,56 | 82,32 | 2 | 1 | 106,56 | 90,55 | 139,84 | 212,464 |
| Распределительный пункт 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 286..288 | Электродвигатель створки ворот | 3 | 0,55 | 1,65 | | 0,4 | 0,75/ 0,88 | 0,66 | 0,5808 | | | | | | |
| 296, 297 | Вентустановка | 2 | 30 | 60 | | 0,7 | 0,8/ 0,75 | 42 | 31,5 | | | | | | |
| 298, 299 | Вентустановка | 2 | 11 | 22 | | 0,65 | 0,85/ 0,62 | 14,3 | 8,866 | | | | | | |
| 277, 278 | Тельфер | 2 | 0,55 | 1,1 | | 0,4 | 0,75/ 0,88 | 0,44 | 0,387 | | | | | | |
| Всего по распредпункту 5 | | 9 | 42,1 | 84,75 | > 3 | 0,68 | 0,81/ 0,72 | 57,4 | 41,334 | 3 | 1 | 57,4 | 45,467 | 73,226 | 111,255 |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|----------------------------|--------------------------------|----|-----------|-------|--------|------|---------------|-------|--------|----|------|--------|--------|--------|--------|
| Распределительный пункт 6 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 263..266 | Дефектовочный стенд | 4 | 1,5 | 6 | | 1 | 0,9/ 0,48 | 6 | 2,880 | | | | | | |
| | | | 4,8 | 19,2 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 3,84 | 8,794 | | | | | | |
| 284 | Аппарат для сварки в аргоне | 1 | 7,6 | 7,6 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 1,52 | 3,481 | | | | | | |
| Всего по распределпункту 6 | | 5 | 13,9 | 32,8 | > 3 | 0,35 | 0,6/ 1,33 | 11,36 | 15,154 | 3 | 1,42 | 16,13 | 16,67 | 23,197 | 35,244 |
| Распределительный пункт 7 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 305..307 | Вентустановка | 3 | 11 | 33 | | 0,65 | 0,85/ 0,62 | 21,45 | 13,299 | | | | | | |
| 310 | Разрезной станок | 1 | 4 | 4 | | 0,13 | 0,4/ 2,29 | 0,52 | 1,1908 | | | | | | |
| 311 | Гильотина | 1 | 3 | 3 | | 0,13 | 0,4/ 2,29 | 0,39 | 0,8931 | | | | | | |
| 312 | Металлообрабатывающий станок | 1 | 15 | 15 | | 0,13 | 0,4/ 2,29 | 1,95 | 4,4655 | | | | | | |
| 313 | Шлифовальная установка | 1 | 1 | 1 | | 0,13 | 0,4/ 2,29 | 0,13 | 0,2977 | | | | | | |
| 314 | Переносной сварочный аппарат | 1 | 5,2 | 5,2 | | 0,2 | 0,4/ 2,29 | 1,04 | 2,3816 | | | | | | |
| 317..320 | Вентустановка | 4 | 1,1 | 4,4 | | 0,75 | 0,8/ 0,75 | 3,3 | 2,475 | | | | | | |
| 300..302 | Электродвигатель створки ворот | 3 | 0,55 | 1,65 | | 0,4 | 0,75/ 0,88 | 0,66 | 0,5808 | | | | | | |
| Всего по распределпункту 7 | | 15 | 40,8 5 | 67,25 | > 3 | 0,44 | 0,75/ 0,87 | 29,44 | 25,583 | 4 | 1,06 | 31,206 | 28,141 | 42,021 | 63,845 |

Продолжение таблицы 3.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--|---|-----|-------------|--------|--------|------|---------------|--------------|--------------|----|------|---------|-------------|---------|---------|
| Итого по силовой нагрузке | | 330 | 1317 ,35 | 3978,4 | > 3 | 0,32 | 0,57/ 1,45 | 1262,0 84 | 1826,3 22 | 14 | 0,85 | 1821,68 | 2179,9 | 2873,47 | 4365,79 |
| Нагрузка системы внутреннего освещения | | | | | | | 0,9/ 0,48 | | | | | 180,42 | 86,601 6 | 200,128 | 304,06 |
| Итого по группе цехов | | | | | | | | | | | | 2002,10 | 2266,5 | 3073,60 | 4669,86 |

Вывод: определены расчётные электрические нагрузки группы цехов.

4 Определение количества и номинальной мощности силовых трансформаторов на КТП

Выбор числа трансформаторов на подстанции зависит от категории потребителей по степени надежности электроснабжения и от величины расчетной мощности.

Для питания потребителей первой категории предусматриваются двух- или трех трансформаторные подстанции с АВР по стороне вторичного напряжения.

Для потребителей второй категории рекомендуются двух- или трех трансформаторные подстанции, однотрансформаторные могут быть применены, если время замены вышедшего из строя трансформатора не превышает одних суток, а требуемая степень резервирования обеспечивается по связям вторичного напряжения от других подстанций.

Для потребителей третьей категории применяются однотрансформаторные подстанции. При значительной сосредоточенной нагрузке электроприемников третьей категории возможен вариант двухтрансформаторной подстанции без устройств АВР, с полной загрузкой трансформаторов в нормальном режиме и отключением части потребителей в послеаварийном режиме.

Для питания потребителей первой и второй категории выбираем для установки на подстанции два силовых трансформатора, мощность каждого определяем по формуле [14, 15]:

$$S_{H.T.} \geq \frac{P_{P\Sigma}}{K_3 \cdot N_T} = \frac{2002,1}{0,8 \cdot 2} = 1251,32 \text{ кВА} \quad (4.1)$$

По найденному значению мощности выбираем из каталога производителя силовые трансформаторы типа ТСЗ-1600/10 со следующими характеристиками: номинальная мощность – 1600 кВА, потери на холостом ходу – 3,2 кВт, потери в режиме короткого замыкания – 12,8 кВт, напряжение

КЗ – 6%, ток ХХ – 0,7%.

Распределяем нагрузку по секциям шин ТП с наибольшей равномерностью, результаты заносим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Распределение нагрузки по секциям шин ТП

| ШРА | $P_p, \text{кВт}$ | $Q_p, \text{кВар}$ | $S_p, \text{кВА}$ | $I_p, \text{А}$ |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| <i>СШ 1</i> | | | | |
| 1 | 347,25 | 352,42 | 497,55 | 755,94 |
| 2 | 222,93 | 306,66 | 380,90 | 578,72 |
| 3 | 98,72 | 47,38 | 109,50 | 166,37 |
| 4 | 174,71 | 268,03 | 320,80 | 487,41 |
| 5 | 114,02 | 93,075 | 147,18 | 223,62 |
| 6 | 60,43 | 48,11 | 77,42 | 117,62 |
| Всего: | 1018,07 | 1115,68 | 1533,35 | 2329,69 |
| <i>СШ 2</i> | | | | |
| ШРА | 81,7 | 39,216 | 90,624 | 137,69 |
| 8 | 224,63 | 381,69 | 443,92 | 674,47 |
| 9 | 219,83 | 300,98 | 376,17 | 571,53 |
| 10 | 281,83 | 277,26 | 397,11 | 603,35 |
| 11 | 69,47 | 61,19 | 92,57 | 140,65 |
| 12 | 106,56 | 90,55 | 139,84 | 212,46 |
| Всего: | 984,03 | 1150,90 | 1540,25 | 2340,17 |

Найдем величину потерь в трансформаторе КТП:

$$\Delta P_T = (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}) = (3,2 + 0,8^2 \cdot 12,8) = 11,39 \text{ кВт}; \quad (4.2)$$

$$\Delta Q_T = (i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_H}{100} = (0,7 + 0,8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1600}{100} = 72,64 \text{ квар}, \quad (4.3)$$

Суммарная расчетная нагрузка с учетом потерь на СШ1:

$$P_{P1} = P_{P\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma} = 1018,07 + 11,39 = 1029,46 \text{ кВт}; \quad (4.4)$$

$$Q_{P1} = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma} = 115,68 + 72,64 = 1188,32 \text{ квар}. \quad (4.5)$$

Суммарная расчетная нагрузка с учетом потерь на СШ2:

$$P_{P2} = P_{P\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma} = 984,03 + 11,39 = 995,43 \text{ кВт};$$

$$Q_{P2} = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma} = 1150,90 + 72,64 = 1223,53 \text{ квар}.$$

Определим необходимую реактивную мощность КУ для СШ1 для выполнения первого условия компенсации:

$$Q_{КУmp1} = Q_P - Q_1 \quad (4.6)$$

$$Q_{ку.мп1} = 1188,32 - 760,66 = 427,66 \text{ квар}$$

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_{н.м.})^2 - P_P^2} \quad (4.7)$$

$$Q_1 = \sqrt{(0,8 \cdot 1600)^2 - 1029,5^2} = 760,7 \text{ квар}$$

Определим необходимую реактивную мощность КУ для СШ1 для выполнения второго условия компенсации:

$$Q_{КУmp2} = Q_P - Q_3, \quad (4.8)$$

$$Q_{ку.мп2} = 1188,32 - 205,89 = 982,43 \text{ квар}$$

$$Q_3 = \operatorname{tg} \phi_3 \cdot P_P, \quad (4.9)$$

$$Q_3 = 0,2 \cdot 1029,46 = 205,89 \text{ квар}$$

Из двух найденных значений выбираем самое большое.

Для компенсации реактивной мощности на СШ1 устанавливаем одну конденсаторную установку КРМ-0,4-600-4У3 и одну конденсаторную установку КРМ-0,4-450-4У3 с общей мощностью компенсации до 1050 квар.

На СШ2 расчет производим аналогичным образом по формулам 4.6-4.9:

$$Q_1 = \sqrt{(0,8 \cdot 1600)^2 - 995,43^2} = 804,69 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ку.мп1}} = 1223,53 - 804,69 = 418,85 \text{ квар}$$

$$Q_3 = 0,2 \cdot 995,43 = 199,08 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{ку.мп2}} = 1223,53 - 199,08 = 1024,46 \text{ квар}$$

Вывод: для компенсации реактивной мощности на СШ2 устанавливаем одну конденсаторную установку КРМ-0,4-600-4УЗ и одну конденсаторную установку КРМ-0,4-450-4УЗ с общей мощностью компенсации до 1050 *квар*.

5 Выбор схемы внутреннего электроснабжения производства

Магистральные схемы находят применение при нагрузках, распределенных по площади цеха. Выполняются они чаще всего шинопроводами. Такие схемы надежны, универсальны, позволяют производить перестановку производственно-технологического оборудования в цехах без существенного изменения электрических сетей [16].

Широкое применение получила схема блока трансформатор – магистраль, выполненная с помощью комплектных магистральных или распределительных шинопроводов.

В такой схеме распределительное устройство низкого напряжения подстанции либо отсутствует, либо выполняется с небольшим числом отходящих от него линий для питания освещения и некоторых ЭП. К магистральному шинопроводу подключаются распределительные шинопроводы, НКУ и отдельные электроприемники большой мощности. К распределительным шинопроводам через ответвительные коробки подключаются НКУ и отдельные электроприемники.

Небольшое распределительное устройство низкого напряжения требуется при выполнении магистральной схемы с помощью нескольких распределительных шинопроводов.

По своему назначению шинопроводы подразделяют:

- на магистральные, предназначенные в основном для присоединения к ним распределительных шинопроводов, НКУ и отдельных мощных электроприемников;
- распределительные, предназначенные для присоединения к ним комплектных устройств распределения и электроприемников;
- троллейные, предназначенные для питания передвижных ЭП;
- осветительные, предназначенные для питания светильников и ЭП небольшой мощности.

Магистральные и распределительные шинопроводы серий ШМА и

ШРА предназначены для работы в электрических сетях напряжением 0,38 и 0,66 кВ промышленных предприятий, коммерческих и административных зданий. Магистральные шинопроводы выпускаются на токи от 1000 до 4000 А, предусматривают подсоединение к ним распределительных шинопроводов через ответвительные секции. Распределительные шинопроводы выпускаются на токи от 250 до 630 А, имеют большое количество ответвлений для подключения отходящих линий через ответвительные коробки.

Выпускаемые серии:

- магистральные ШМА4 – четырехпроводные и ШМА5 – пятипроводные;
- распределительные ШРА-4 – четырехпроводные и ШРА5 – пятипроводные

Четырехпроводные шинопроводы имеют три шины фаз и нулевой рабочий проводник N, в качестве которого используется корпус секций шинопровода. Пятипроводные шинопроводы имеют четыре шины: три фазные и нулевую рабочую шину N. Корпус секций шинопровода играет роль нулевого защитного проводника РЕ.

Шинопроводы набираются из отдельных секций: прямых, угловых, тройниковых и др. Для магистральных шинопроводов предусматриваются ответвительные секции с автоматическими выключателями на токи 1250, 1600, 2500, 3200 А. Возможно исполнение ответвительных секций без выключателей. Ответвления от распределительных шинопроводов выполняются с помощью ответвительных коробок, встраиваемых в прямые секции шинопроводов. Токи ответвлений могут иметь значения от 25 до 400 А. Номенклатура ответвительных коробок предусматривает коробки с предохранителями, разъединителями, автоматическими выключателями.

Вывод: исходя из вышеизложенного, для обеспечения электрической энергией электроприемников цеха в работе выбрана магистральная схема электроснабжения.

6 Выбор электрических аппаратов и проводников

В качестве комплектной трансформаторной подстанции выбираем 2КТП – СЭЦ–П–1600/10/0,4 – 0,3 – У3 производства завода Электроцит г. Самара.

6.1 Выбор проводников

Выбор кабельных линий к распределительным пунктам и шинопроводам производим по величине расчетного тока:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (6.1)$$

Для питания отдельных электроприемников используем кабели АВВГнг различного сечения.

Для каждого отдельного электроприемника определяется значение номинального тока, по которому находится сечение проводника:

$$I_P = \frac{\sqrt{P_H^2 + (P_H \cdot \operatorname{tg} \phi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (6.2)$$

Выбор сечения кабеля на напряжение до 1000 В производится путем сравнения расчетного тока с длительно допустимым справочным значением:

$$\begin{aligned} I_p &\leq I_{дон}, \\ I_p &\leq I_{дон} \cdot 0,92, \end{aligned} \quad (6.3)$$

где $I_{дон}$ - длительно допустимый ток по справочнику для трехжильного кабеля, А;

0,92 – поправочный коэффициент для четырехжильного кабеля.

Результаты выбора кабелей для узлов питания приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Результаты выбора кабелей для узлов питания

| Узел питания | $I_p,$ A | $I_{доп},$ A | $0,92 \cdot$ $I_{доп},$ A | Сечение выбранного кабеля АВВГнг если не указано иное |
|----------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Распредпункт 1 | 206,81 | 235 | 216,2 | 3×150+ 1×120 |
| Распредпункт 2 | 206,81 | 235 | 216,2 | 3×150+ 1×120 |
| Распредпункт 3 | 223,62 | 270 | 248,4 | 3×185+ 1×150 |
| Распредпункт 4 | 212,46 | 235 | 216,2 | 3×150+ 1×120 |
| Распредпункт 5 | 111,26 | 140 | 128,8 | 3×70+ 1×50 |
| Распредпункт 6 | 35,24 | 42 | 38,64 | 4×10 |
| Распредпункт 7 | 63,84 | 75 | 69 | 3×25+1×16 |
| Распредпункт 8 | 53,78 | 60 | 55,2 | 4×16 |
| ШРА 4/1-1 | 128,27 | 140 | 128,8 | 3×70+ 1×50 |
| ШРА 4/8-1 | 479,03 | 499 | 459,1 | ВВГнг 3×240+ 1×185 |
| ШРА 4/8-2 | 195,45 | 235 | 216,2 | 3×150+ 1×120 |
| ШРА 4/2-1 | 100,28 | 140 | 128,8 | 3×70+ 1×50 |
| ШРА 4/2-2 | 190,82 | 235 | 216,2 | 3×150+ 1×120 |
| ШРА 4/2-3 | 171,62 | 200 | 184 | 3×120+ 1×95 |
| ШРА 4/2-4 | 115,99 | 140 | 128,8 | 3×70+ 1×50 |
| ШРА 4/9-1 | 172,09 | 200 | 184 | 3×120+ 1×95 |
| ШРА 4/10-2 | 131,40 | 170 | 156,4 | 3×95+ 1×70 |
| ШРА 4/4-1 | 189,47 | 235 | 216,2 | 3×150 + 1×120 |
| ШРА 4/4-2 | 132,77 | 170 | 156,4 | 3×95+ 1×70 |
| ШРА 4/4-3 | 165,15 | 200 | 184 | 3×120+ 1×95 |
| ШРА 4/11-1 | 140,65 | 170 | 156,4 | 3×95+ 1×70 |
| ШРА 4/9-2 | 288,18 | 321 | 295,3 | ВВГнг 3×120+ 1×95 |

Для ШРА 4/1-2 (расчетный ток $I_p = 627,28$ А) и ШРА 4/10-1 (расчетный ток $I_p = 471,96$ А) выбираем два параллельных кабеля. Условие выбора:

$$I_p \leq 0,92 \cdot I_{дон} \cdot K_{сн}.$$

Для ШРА 4/1-2 условие выбора будет выглядеть:

$$\begin{aligned} (627,28 / 2) &\leq 0,92 \cdot 370 \cdot 1 \\ 313,64 &\leq 340,4 \end{aligned}$$

Принимаем 2 кабеля типа ВВГнг – 3×150 + 1×120.

Для РШ 4/10-1 условие выбора будет выглядеть:

$$\begin{aligned} (471,96 / 2) &\leq 0,92 \cdot 274 \cdot 1 \\ 235,98 &\leq 252,08 \end{aligned}$$

Принимаем 2 кабеля типа ВВГнг – 3×95 + 1×70.

С учетом выполнения условия $I_p \leq I_{дон} \cdot 0,92$ выполняем выбор кабелей к отдельным электроприемникам, а результаты выбора заносим в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Результаты выбора кабелей к отдельным электроприемникам

| № ЭП на плане предпр. | Краткое наименование электроприемника | I_p , А | $I_{дон}$, А | $0,92 \cdot I_{дон}$, А | Сечение выбранного кабеля ВВГнг если не указано иное |
|-----------------------------|---------------------------------------|-----------|---------------|--------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Главный корпус производства | | | | | |
| 1..58 | Сварочный робот | 34 | 37 | 34,04 | 4×4 |
| 59, 60 | Аппарат дуговой сварки | 44,6 | 49 | 45,08 | 4×10 |

| | | | | | |
|----------|-------------------------------|------|-----|-------|-----------|
| 61..92 | Установка для точечной сварки | 91,3 | 115 | 105,8 | 4×25 |
| 93..100 | Установка для точечной сварки | 183 | 226 | 207,9 | 3×70+1×50 |
| 101, 102 | Пресс гидравлический | 11 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 103..108 | Сварочный робот | 38 | 49 | 45,08 | 4×10 |

Продолжение таблицы 6.2

| № ЭП на плане предпр. | Краткое наименование электроприемника | I_p, A | $I_{дон}, A$ | $0,92 \cdot I_{дон}, A$ | Сечение выбранного кабеля ВВГнг если не указано иное |
|---|--|----------|--------------|-------------------------|--|
| 109 | Внутришовная сварочная установка | 141 | 177 | 162,8 | 3×50+1×35 |
| 110, 111 | Сварочная линия с компьютерным управлением | 334 | 370 | 340,4 | 3×150+1×120 |
| 112..127 | Сварочные установки (подвесное исполнение) | 38 | 49 | 45,08 | 4×10 |
| 128, 129 | Дефектовочный стенд | 20,8 | 28 | 25,76 | 4×2,5 |
| 130 | Сварочный агрегат | 35,3 | 49 | 45,08 | 4×10 |
| 131, 132 | Установка для сварки в аргоне | 73 | 87 | 80,04 | 4×16 |
| 133..144 | Установка для сварки в углекислом газе | 31,9 | 37 | 34,04 | 4×4 |
| 145..167 | Установка для сварки в аргоне | 28,9 | 37 | 34,04 | 4×4 |
| 168..176 | Сварочная установка VX220/7,5H-C | 45,6 | 66 | 60,72 | 4×10 |
| 177..190 | Подзарядные устройства | 15,6 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 191 | Электродвигатель створки ворот | 1,12 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 192 | Вентустановка | 19,7 | 28 | 25,76 | 4×2,5 |
| 193..196 | Вентустановка | 143 | 177 | 162,8 | 3×50+1×35 |
| 197..200 | Токарный станок | 3,8 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 201 | Переносной сварочный аппарат | 19,8 | 28 | 25,76 | 4×2,5 |
| 202, 203 | Транспортер | 4,46 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 204..208 | Вентустановка | 4,18 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 209..217 | | 2,85 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 218..251 | | 2,09 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 252 | | 14,3 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| Совместное производственное объединение | | | | | |
| 253..262 | Сварочный робот | 33,91 | 37 | 34,04 | 4×4 |
| 263..268 | Дефектовочный стенд | 20,75 | 28 | 25,76 | 4×2,5 |
| 269, 270 | Пресс гидравлический | 14,97 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 271..276 | Сварочный робот | 48,58 | 66 | 60,72 | 4×10 |
| 277, 278 | Тельфер | 1,11 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |

| | | | | | |
|----------|----------------------------------|-------|-----|-------|-----------|
| 279 | Внутришовная сварочная установка | 141,2 | 177 | 162,8 | 3×50+1×35 |
| 280, 281 | Установка для сварки в аргоне | 213,4 | 274 | 252,1 | 3×95+1×70 |

Продолжение таблицы 6.2

| № ЭП на плане предпр. | Краткое наименование электроприемника | I_p, A | $I_{доп}, A$ | $0,92 \cdot I_{доп}, A$ | Сечение выбранного кабеля ВВГнг если не указано иное |
|-----------------------|---------------------------------------|----------|--------------|-------------------------|--|
| 282, 283 | Установка для точечной сварки | 91,12 | 115 | 105,8 | 4×25 |
| 284, 285 | Установка для сварки в аргоне | 28,85 | 37 | 34,04 | 4×4 |
| 286..289 | Электродвигатель створки ворот | 1,11 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 290, 291 | Вентустановка | 41,8 | 49 | 45,08 | 4×10 |
| 292..295 | | 10,45 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 296, 297 | Вентустановка | 57,0 | 66 | 60,72 | 4×10 |
| 298, 299 | Вентустановка | 19,66 | 28 | 25,76 | 4×2,5 |
| Складской комплекс | | | | | |
| 300..304 | Электродвигатель створки ворот | 1,113 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 305..309 | Вентустановка | 19,66 | 28 | 25,76 | 4×2,5 |
| 310 | Разрезной станок | 15,2 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 311 | Гильотина | 11,4 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 312 | Металлообрабатывающий станок | 57,0 | 66 | 60,72 | 4×10 |
| 313 | Шлифовальная установка | 3,8 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 314 | Переносной сварочный аппарат | 19,7 | 28 | 25,76 | 4×2,5 |
| 315, 316 | Тельфер | 1,113 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 317..326 | Вентустановка | 2,089 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |
| 327..330 | Помещение охраны | 4,213 | 21 | 19,32 | 4×1,5 |

Выбор шинопроводов производим аналогично по расчетному току, результаты заносим в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Результаты выбора шинопроводов

| Узел питания | I_p, A | I_n, A | Выбранный шинопровод ШРА4 если не указано иное |
|--------------|----------|----------|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| ШРА 4/1-1 | 128,27 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/1-2 | 627,28 | 630 | 630-32-1У3 |

| | | | |
|-----------|--------|-----|------------|
| ШРА 4/8-1 | 479,03 | 630 | 630-32-1У3 |
| ШРА 4/8-2 | 195,45 | 250 | 250-32-1У3 |

Продолжение таблицы 6.3

| Узел питания | I_p , А | I_n , А | Выбранный шинопровод ШРА4 если не указано иное |
|--------------|-----------|-----------|--|
| ШРА 4/2-1 | 100,28 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/2-2 | 190,82 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/2-3 | 171,62 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/2-4 | 115,99 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/9-1 | 172,09 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/9-2 | 288,18 | 400 | 400-32-1У3 |
| ШРА 4/10-1 | 471,96 | 630 | 630-32-1У3 |
| ШРА 4/10-2 | 131,40 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/4-1 | 189,47 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/4-2 | 132,77 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/4-3 | 165,15 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШРА 4/11-1 | 140,65 | 250 | 250-32-1У3 |
| ШМА 4/1 | 75594 | 1250 | ШМА4-1250-44-1У3 |
| ШМА 4/8 | 674,47 | 1250 | ШМА4-1250-44-1У3 |
| ШМА 4/2 | 578,71 | 630 | 630-32-1У3 |
| ШМА 4/9 | 57,5 | 630 | 630-32-1У3 |
| ШМА 4/10 | 603,35 | 630 | 630-32-1У3 |
| ШМА 4/4 | 487,40 | 630 | 630-32-1У3 |

Выбор тока расцепителя и номинального тока автоматического выключателя производим по расчетному току. Выбираем автоматические выключатели марки ВА-СЭЦ. Трансформаторы тока выбираем ТШЛ-0,66, кроме ШМА 4/3, ШМА 4/11, ШМА 4/7 и ШМА 4/6 на линиях к которым устанавливаем ТОП-0,66. Результаты выбора автоматических выключателей и трансформаторов тока на отходящих линиях распреустройства сводим в таблицу 6.4.

Таблица 6.4 – Результаты выбора автоматических выключателей и трансформаторов тока на отходящих линиях распреустройства

| Фидер | I_p, A | Автоматические выключатели | | Трансформаторы тока |
|----------------|----------|----------------------------|-------------|---------------------|
| | | I_n, A | $I_{нт}, A$ | |
| Вводная ячейка | 4669,86 | <i>АН – 50 G</i> | | 5000/5 |
| | | 5000 | 5000 | |
| ШМА 4/1 | 755,94 | <i>BTS800</i> | | 800/5 |
| | | 800 | 800 | |
| ШМА 4/8 | 674,47 | <i>BTS800</i> | | 800/5 |
| | | 800 | 800 | |
| ШМА 4/3 | 166,37 | <i>BTS160</i> | | 150/5 |
| | | 160 | 125 | |
| ШМА 4/2 | 578,717 | <i>BTS630</i> | | 600/5 |
| | | 630 | 600 | |
| ШМА 4/9 | 571,53 | <i>BTS630</i> | | 600/5 |
| | | 630 | 600 | |
| ШМА 4/10 | 603,353 | <i>BTS630</i> | | 800/5 |
| | | 630 | 630 | |
| ШМА 4/4 | 487,406 | <i>BTS630</i> | | 600/5 |
| | | 630 | 500 | |
| ШМА 4/11 | 140,66 | <i>BTS160</i> | | 150/5 |
| | | 160 | 150 | |
| ШМА 4/12 | 212,46 | <i>BTS250</i> | | 300/5 |
| | | 250 | 250 | |
| ШМА 4/5 | 223,62 | <i>BTS250</i> | | 300/5 |
| | | 250 | 250 | |
| ШМА 4/7 | 137,7 | <i>BTS160</i> | | 150/5 |
| | | 160 | 150 | |

Продолжение таблицы 6.4

| Фидер | I_p, A | Автоматические выключатели | | Трансформаторы тока |
|------------|----------|----------------------------|------|---------------------|
| ШМА 4/6 | 117,62 | BTS160 | | 150/5 |
| | | 160 | 125 | |
| Секц. | 2192,8 | AH 25E | | 2500/5 |
| | | 2500 | 2500 | |

Результаты выбора автоматических выключателей для защиты распределительных шинопроводов сведены в таблицу 6.5.

Таблица 6.5 – Результаты выбора автоматических выключателей для защиты распределительных шинопроводов

| Узел питания | I_p, A | Автоматический выключатель типа ВА | |
|--------------|----------|------------------------------------|-------------|
| | | I_n, A | $I_{нт}, A$ |
| РП №1 | 206,81 | 51-35 | |
| | | 250 | 250 |
| РП №2 | 206,81 | 51-35 | |
| | | 250 | 250 |
| РП №3 | 223,62 | 51-35 | |
| | | 250 | 250 |
| РП №4 | 212,46 | 51-35 | |
| | | 250 | 250 |
| РП №5 | 111,26 | 51-33 | |
| | | 160 | 125 |
| РП №6 | 35,24 | 51-29 | |
| | | 63 | 40 |
| РП №7 | 63,84 | 51-31 | |
| | | 100 | 80 |
| РП №8 | 53,78 | 51-29 | |
| | | 63 | 63 |
| ШРА 4/1-1 | 128,27 | 51-33 | |
| | | 160 | 160 |

Продолжение таблицы 6.5

| Узел питания | I_p, A | Автоматический выключатель типа ВА | |
|--------------|----------|------------------------------------|-------------|
| | | I_n, A | $I_{нт}, A$ |
| ШРА 4/1-2 | 627,68 | 51-39 | |
| | | 630 | 630 |
| ШРА 4/8-1 | 479,03 | 51-39 | |
| | | 630 | 500 |
| ШРА 4/8-2 | 195,45 | 51-35 | |
| | | 250 | 200 |
| ШРА 4/2-1 | 100,28 | 51-33 | |
| | | 160 | 125 |
| ШРА 4/2-2 | 190,82 | 51-35 | |
| | | 250 | 200 |
| ШРА 4/2-3 | 171,62 | 51-35 | |
| | | 250 | 200 |
| ШРА 4/2-4 | 115,99 | 51-33 | |
| | | 160 | 125 |
| ШРА 4/9-1 | 172,09 | 51-35 | |
| | | 250 | 200 |
| ШРА 4/9-2 | 288,18 | 51-37 | |
| | | 400 | 320 |
| ШРА 4/10-1 | 471,96 | 51-39 | |
| | | 630 | 500 |
| ШРА 4/10-2 | 131,40 | 51-33 | |
| | | 160 | 160 |
| ШРА 4/4-1 | 189,47 | 51-35 | |
| | | 250 | 200 |
| ШРА 4/4-2 | 132,77 | 51-33 | |
| | | 160 | 160 |
| ШРА 4/4-3 | 165,15 | 51-35 | |
| | | 250 | 200 |
| ШРА 4/11-1 | 140,65 | 51-33 | |
| | | 160 | 160 |

Результаты выбора АВ для защиты отдельных электроприемников приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Результаты выбора АВ для защиты отдельных электроприемников

| № ЭП на плане предпр. | Краткое наименование электроприемника | I_p, A | Автоматический выключатель типа ВА | |
|-----------------------------|--|----------|------------------------------------|-------------|
| | | | I_n, A | $I_{нт}, A$ |
| Главный корпус производства | | | | |
| 1..58 | Сварочный робот | 34 | 51-29 | |
| | | | 63 | 40 |
| 59, 60 | Аппарат дуговой сварки | 44,6 | 51-29 | |
| | | | 63 | 50 |
| 61..92 | Установка для точечной сварки | 91,3 | 51-31 | |
| | | | 100 | 100 |
| 93..100 | Установка для точечной сварки | 183 | 51-35 | |
| | | | 250 | 200 |
| 101, 102 | Пресс гидравлический | 11 | 51-25 | |
| | | | 25 | 12,5 |
| 103..108 | Сварочный робот | 38 | 51-29 | |
| | | | 63 | 63 |
| 109 | Внутришовная сварочная установка | 141 | 51-33 | |
| | | | 160 | 160 |
| 110, 111 | Сварочная линия с компьютерным управлением | 334 | ВА-СЭЩ В TS400 | |
| | | | 400 | 400 |
| 112..127 | Сварочные установки (подвесное исполнение) | 38 | 51-29 | |
| | | | 63 | 40 |
| 128, 129 | Дефектовочный стенд | 20,8 | 51-25 | |
| | | | 25 | 25 |
| 130 | Сварочный агрегат | 35,3 | 51-29 | |
| | | | 63 | 40 |
| 131, 132 | Установка для сварки в аргоне | 73 | 51-31 | |
| | | | 100 | 80 |
| 133..144 | Установка для сварки в углекислом газе | 31,9 | 51-29 | |
| | | | 63 | 40 |
| 145..167 | Установка для сварки в аргоне | 28,9 | 51-29 | |
| | | | 63 | 31,5 |
| 168..176 | Сварочная установка VX220/7,5H-C | 45,6 | 51-29 | |
| | | | 63 | 50 |
| 177..190 | Подзарядные устройства | 15,6 | 51-25 | |
| | | | 25 | 20 |

Продолжение таблицы 6.5

| № ЭП на плане предпр. | Краткое наименование электроприемника | I_p, A | Автоматический выключатель типа ВА | |
|--|---------------------------------------|----------|------------------------------------|-------------|
| | | | I_n, A | $I_{нт}, A$ |
| 191 | Электродвигатель створки ворот | 1,12 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 192 | Вентустановка | 19,7 | 51-25 | |
| | | | 25 | 25 |
| 193..196 | Вентустановка | 143 | 51-33 | |
| | | | 160 | 160 |
| 197..200 | Токарный станок | 3,8 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 201 | Переносной сварочный аппарат | 19,8 | 51-25 | |
| | | | 25 | 25 |
| 202, 203 | Транспортер | 4,46 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 204..208 | | 4,18 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 209..217 | Вентустановка | 2,85 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 218..251 | | 2,09 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 252 | | 14,3 | 51-25 | |
| | | | 25 | 16 |
| Совместное производственное объединение | | | | |
| 253..262 | Сварочный робот | 33,91 | 51-29 | |
| | | | 63 | 40 |
| 263.. 268 | Дефектовочный стенд | 20,75 | 51-25 | |
| | | | 25 | 25 |
| 269, 270 | Пресс гидравлический | 14,97 | 51-25 | |
| | | | 25 | 16 |
| 271..276 | Сварочный робот | 48,58 | 51-29 | |
| | | | 63 | 50 |
| 277, 278 | Тельфер | 1,11 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 279 | Внутришовная сварочная установка | 141,2 | 51-33 | |
| | | | 160 | 160 |
| 280, 281 | Установка для сварки в аргоне | 213,4 | 51-35 | |
| | | | 250 | 250 |
| 282, 283 | Установка для точечной сварки | 91,12 | 51-31 | |
| | | | 100 | 100 |

Продолжение таблицы 6.5

| № ЭП на плане предпр. | Краткое наименование электроприемника | I_p, A | Автоматический выключатель типа ВА | |
|-----------------------|---------------------------------------|----------|------------------------------------|-------------|
| | | | I_n, A | $I_{нт}, A$ |
| 284, 285 | Установка для сварки в аргоне | 28,85 | 51-29 | |
| | | | 63 | 31,5 |
| 286..289 | Электродвигатель створки ворот | 1,11 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 290, 291 | Вентустановка | 41,8 | 51-29 | |
| | | | 63 | 50 |
| 292..295 | Вентустановка | 10,45 | 51-25 | |
| | | | 25 | 16 |
| 296, 297 | Вентустановка | 57,0 | 51-29 | |
| | | | 63 | 63 |
| 298, 299 | Вентустановка | 19,66 | 51-25 | |
| | | | 25 | 25 |
| Складской комплекс | | | | |
| 300..304 | Электродвигатель створки ворот | 1,11 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 305..309 | Вентустановка | 19,66 | 51-25 | |
| | | | 25 | 25 |
| 310 | Разрезной станок | 15,2 | 51-25 | |
| | | | 25 | 20 |
| 311 | Гильотина | 11,4 | 51-25 | |
| | | | 25 | 16 |
| 312 | Металлообрабатывающий станок | 57,0 | 51-29 | |
| | | | 63 | 63 |
| 313 | Шлифовальная установка | 3,8 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 314 | Переносной сварочный аппарат | 19,7 | 51-25 | |
| | | | 25 | 25 |
| 315, 316 | Тельфер | 1,113 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 317..326 | Вентустановка | 2,089 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |
| 327..330 | Помещение охраны | 4,213 | 51-25 | |
| | | | 25 | 6,3 |

Вывод: на шинопроводах устанавливаются ответвительные коробки У2032У3 и У2033У3 в которых размещаются автоматические выключатели.

7 Определение токов КЗ

Для определения токов КЗ составляем расчетную схему, которая приведена на рисунке 7.1 и ее схему замещения, которая приведена на рисунке 7.2. Расчеты производим в четырех точках КЗ.

7.1 Определение параметров элементов схемы замещения

Цеховой трансформатор типа ТСЗ-1600/10/0,4 [17, 18]:

$$S_n = 100 \text{ кВА};$$

$$U_{H BH} = 10 \text{ кВ}; \quad U_{H HH} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_K = 6 \%;$$

$$R_T = \frac{P_{кз} \cdot U_{н.нн}^2}{S_n^2} \cdot 10^6 = \frac{12,8 \cdot 0,4^2}{1600^2} 10^6 = 0,8 \text{ мОм};$$

$$Z_T = \frac{U_K \cdot U_{н.нн}^2}{S_n} \cdot 10^4 = \frac{6 \cdot 0,4^2}{1600} 10^4 = 6 \text{ мОм};$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 5,95 \text{ мОм}.$$

Шинопровод от Т1 до вводного выключателя АВ1:

$$R_{III} = 0,009 \text{ мОм};$$

$$X_{III} = 0,004 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ1:

ТШЛ-0,66-5000/5

$$R_{ТТ1} = 0,001 \text{ мОм};$$

$$X_{ТТ1} = 0,001 \text{ мОм}.$$

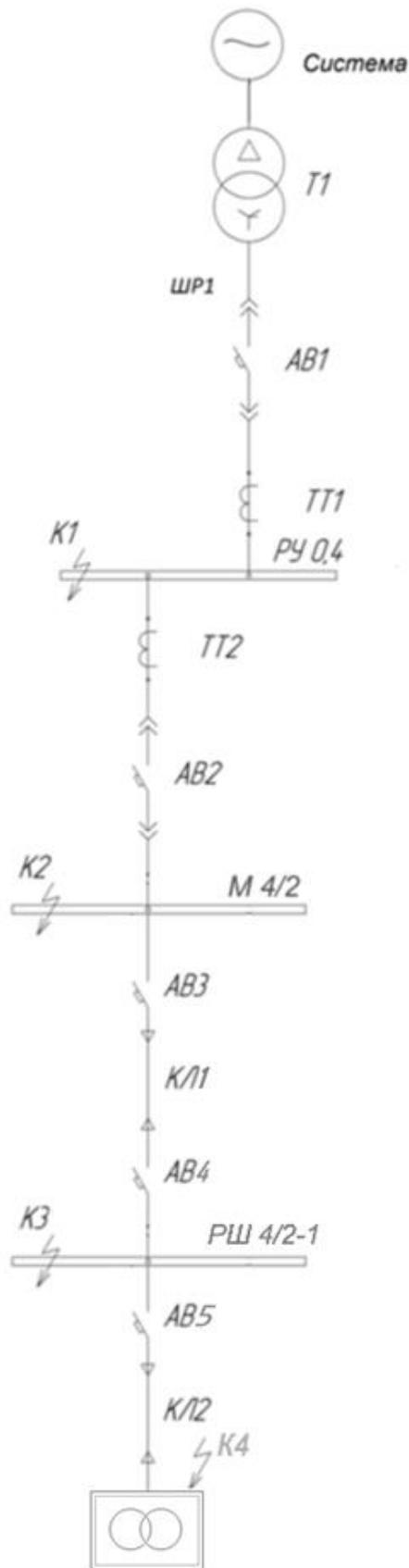


Рисунок 7.1 – Расчетная схема для определения токов КЗ

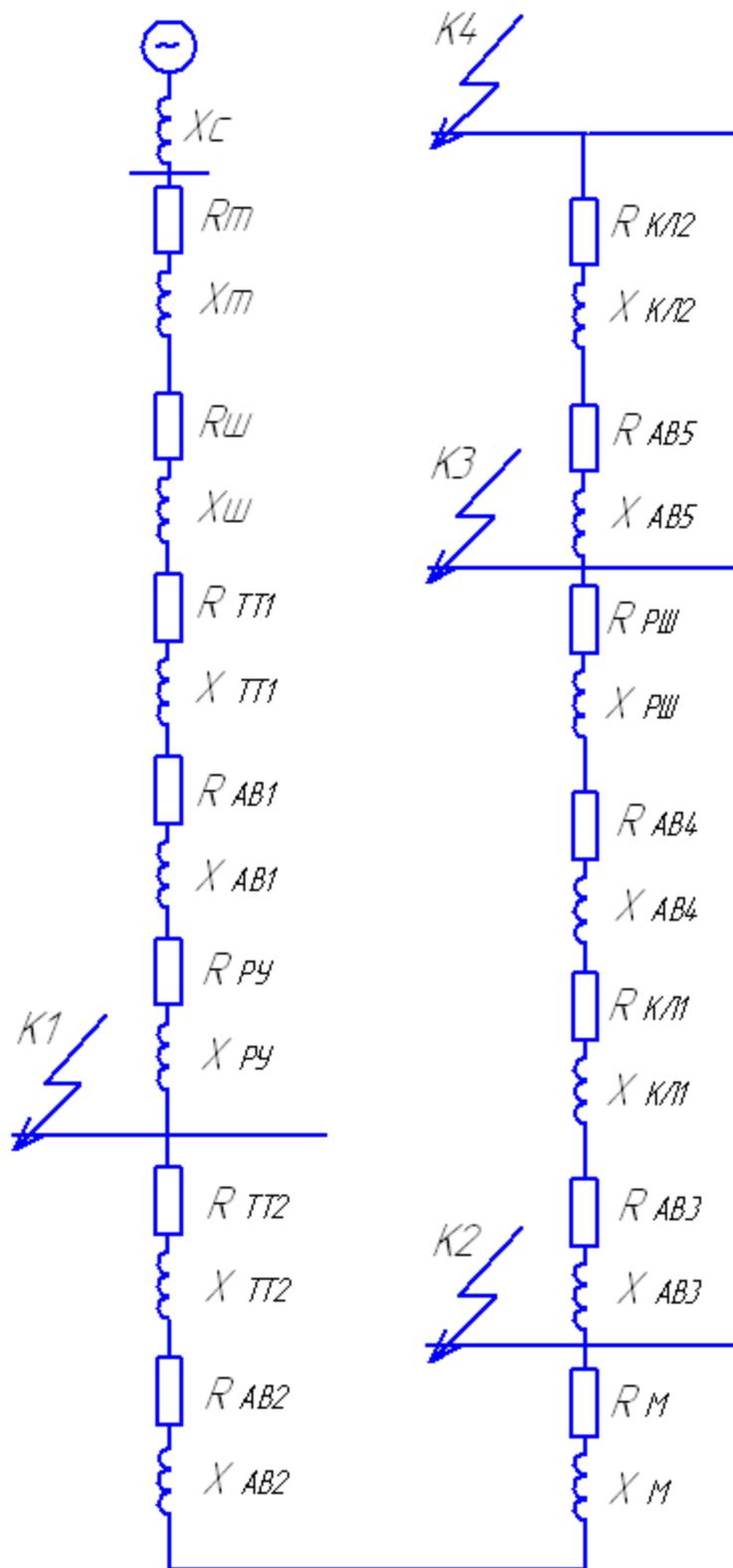


Рисунок 7.2 – Схема замещения для определения токов К3

Вводной автомат АВ1:

ВА-СЭЩ В АН –50 Г, $I_H = 5000 \text{ A}$;

$$R_{AB1} = 0,13 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0,07 \text{ мОм}.$$

Сборные шины распределительного устройства ТП:

$$R_{PY} = 0,009 \text{ мОм};$$

$$X_{PY} = 0,004 \text{ мОм}.$$

Измерительный трансформатор тока ТТ2:

ТТОШТ-0,66-1000 У3

$$R_{TT2} = 0,02 \text{ мОм};$$

$$X_{TT2} = 0,03 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель на отходящей линии АВ2:

ВА-СЭЩ В TS800, $I_H = 800 \text{ А}$;

$$R_{AB2} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$X_{AB2} = 0,1 \text{ мОм}.$$

Магистральный шинопровод ШМА 4/8:

ШМА4-1250-44-1У3, $l = 20 \text{ м}$;

$$R_{y\partial} = 0,034 \text{ мОм / м};$$

$$X_{y\partial} = 0,016 \text{ мОм / м};$$

$$R_M = 20 \cdot 0,034 = 0,68 \text{ мОм};$$

$$X_M = 20 \cdot 0,016 = 0,32 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ3 на магистральном шинопроводе:

ВА-СЭЩ В TS630, $I_H = 630 \text{ A}$;

$$R_{AB3} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{AB3} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1 к распределительному шинопроводу:

ВВГ – 3×240+ 1×185;

$$l = 6 \text{ м};$$

$$R_{уд} = 0,09 \text{ мОм / м};$$

$$X_{уд} = 0,03 \text{ мОм / м};$$

$$R_{КЛ1} = 6 \cdot 0,09 = 0,54 \text{ мОм};$$

$$X_{КЛ1} = 6 \cdot 0,03 = 0,18 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ4 на распределительном шинопроводе:

ВА-СЭЩ В TS630, $I_H = 630 \text{ A}$;

$$R_{AB4} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{AB4} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Шинопровод распределительный ШРА 4/8-1:

ШРА4-630-32-1У3, $l = 18 \text{ м};$

$$R_{y\partial} = 0,1 \text{ мОм / м};$$

$$X_{y\partial} = 0,13 \text{ мОм / м};$$

$$R_{PШ} = 18 \cdot 0,1 = 1,8 \text{ мОм};$$

$$X_{PIII} = 18 \cdot 0,13 = 2,34 \text{ мОм.}$$

Автоматический выключатель АВ5 для защиты ЭП:

ВА-СЭЩ В TS400, $I_H = 400 \text{ А};$

$$R_{AB5} = 0,65 \text{ мОм};$$

$$X_{AB5} = 0,17 \text{ мОм.}$$

Кабельная линия КЛ2 к электроприемнику:

ВВГ – $3 \times 150 + 1 \times 120$, $l = 5 \text{ м};$

$$R_{уд} = 0,15 \text{ мОм / м};$$

$$X_{уд} = 0,033 \text{ мОм / м};$$

$$R_{КЛ2} = 5 \cdot 0,15 = 0,75 \text{ мОм};$$

$$X_{КЛ4} = 5 \cdot 0,033 = 0,165 \text{ мОм.}$$

Найденные значения сопротивлений используются для определения суммарных значений сопротивлений до точек КЗ.

7.2 Определение значений токов КЗ в выбранных точках

$$X_C = \frac{U_B}{S_{кз.сис}} \cdot 10^3 = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм}; \quad (7.1)$$

Определим значения токов КЗ в точке К1.

Найдем ток трехфазного металлического короткого замыкания:

$$I_{км}^{(3)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad (7.2)$$

Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания:

$$R_{\Sigma} = 0,8 + 0,009 + 0,001 + 0,13 + 0,009 = 0,949 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma} = 1,6 + 5,95 + 0,004 + 0,001 + 0,07 + 0,004 = 7,629 \text{ мОм}.$$

Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания:

$$Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 7,69 \text{ мОм}. \quad (7.3)$$

Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания:

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 7,69} = 28,57 \text{ кА}.$$

При помощи метода снижающих коэффициентов определим значение трехфазного дугового короткого замыкания.

Значению $Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 7,69$ соответствуют следующие снижающие коэффициенты:

$$K_{c1} = 0,83; K_{c2} = 0,74.$$

Тогда значение тока трехфазного дугового КЗ:

$$I_{\kappa\delta}^{(1)} = I_{\kappa\mu}^{(1)} \cdot K_c; \quad (7.4)$$

$$I_{\kappa\delta}^{(1)} = 28,57 \cdot 0,83 = 23,7 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \leq 0 \text{ с};$$

$$I_{кз}^{(1)} = 28,57 \cdot 0,74 = 21,14 \text{ кА при } t_{кз} \geq 0,05 \text{ с.}$$

Найдем значение ударного тока в точке КЗ:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{КЗ}; \quad (7.5)$$

для соотношения $\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{7,629}{0,949} = 8,03$ ударный коэффициент равен

$$k_y = 1,7.$$

Тогда:

$$i_{y К1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 28,57 = 68,5.$$

Определим значения токов КЗ в точке К2.

Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания:

$$R_{\Sigma} = 0,8 + 0,009 + 0,001 + 0,13 + 0,009 + 0,02 + 0,25 + 0,68 = 1,9 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma} = 1,6 + 5,95 + 0,004 + 0,001 + 0,07 + 0,004 + 0,03 + 0,1 + 0,32 = 8,08 \text{ мОм}.$$

Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания:

$$Z_{\Sigma R2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} = 8,3 \text{ мОм};$$

Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 8,3} = 26,5 \text{ кА};$$

При помощи метода снижающих коэффициентов определим значение трехфазного дугового короткого замыкания.

Снижающие коэффициенты:

$$K_{c1} = 0,84; K_{c2} = 0,75.$$

Тогда значение тока трехфазного дугового КЗ:

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 26,5 \cdot 0,84 = 22,3 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \leq 0 \text{ с.};$$

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 26,5 \cdot 0,75 = 19,87 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \geq 0,05 \text{ с.}$$

Исходя из отношения сопротивлений найдем ударный коэффициент:

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 4,2 \Rightarrow K_{yK2} = 1,4;$$

Найдем значение ударного тока в точке КЗ:

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{yK2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 52,3 \text{ кА}.$$

Определим значения токов КЗ в точке КЗ.

Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания:

$$R_{\Sigma} = 0,8 + 0,009 + 0,001 + 0,13 + 0,009 + 0,02 + 0,25 + 0,68 + 0,41 + 0,54 + 0,41 + 1,8 = 5,06 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma} = 1,6 + 5,95 + 0,004 + 0,001 + 0,07 + 0,004 + 0,03 + 0,1 + 0,32 + \\ + 0,13 + 0,18 + 0,13 + 2,34 = 10,86 \text{ мОм};$$

Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания:

$$Z_{\Sigma R3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = 11,98 \text{ мОм};$$

Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания:

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{H \text{ HH}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 11,98} = 18,3 \text{ кА};$$

При помощи метода снижающих коэффициентов определим значение трехфазного дугового короткого замыкания.

Снижающие коэффициенты:

$$K_{c1} = 0,87; K_{c2} = 0,76.$$

Тогда значение тока трехфазного дугового КЗ:

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 18,3 \cdot 0,87 = 15,9 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \leq 0 \text{ с};$$

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 18,3 \cdot 0,76 = 13,9 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \geq 0,05 \text{ с}.$$

Исходя из отношения сопротивлений найдем ударный коэффициент:

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 2,1 \Rightarrow K_{y K3} = 1,2;$$

Найдем значение ударного тока в точке КЗ:

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 30,9 \text{ кА.}$$

Определим значения токов КЗ в точке К4.

Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания:

$$R_{\Sigma} = 0,8 + 0,009 + 0,001 + 0,13 + 0,009 + 0,02 + 0,25 + 0,68 + 0,41 + 0,54 + 0,41 + 1,8 + 0,65 + 0,75 = 6,46 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma} = 1,6 + 5,95 + 0,004 + 0,001 + 0,07 + 0,004 + 0,03 + 0,1 + 0,32 + 0,13 + 0,18 + 0,13 + 2,34 + 0,17 + 0,165 = 11,2 \text{ мОм};$$

Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания:

$$Z_{\Sigma R4} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = 12,9 \text{ мОм};$$

Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания [19, 20]:

$$I_{K3}^{(4)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 11,6} = 16,9 \text{ кА};$$

При помощи метода снижающих коэффициентов определим значение трехфазного дугового короткого замыкания.

Снижающие коэффициенты:

$$K_{c1} = 0,88; K_{c2} = 0,78.$$

Тогда значение тока трехфазного дугового КЗ:

$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 16,9 \cdot 0,88 = 14,8 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \leq 0 \text{ с.};$$
$$I_{\kappa\delta}^{(3)} = 16,9 \cdot 0,78 = 13,2 \text{ кА при } t_{\kappa\delta} \geq 0,05 \text{ с.}$$

Исходя из отношения сопротивлений найдем ударный коэффициент:

$$\frac{X_{\Sigma K4}}{R_{\Sigma K4}} = 1,7 \Rightarrow K_{yK3} = 1,1;$$

Найдем значение ударного тока в точке КЗ:

$$i_{yK4} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3}^{(4)} = 26,2 \text{ кА.}$$

По полученным в результате расчётов значениям ударных токов к.з. в выбранных четырёх точках необходимо проверить пригодность автоматических выключателей.

7.3 Проверка коммутационных аппаратов

Результаты расчета токов КЗ используем для проверки выбранных автоматических выключателей на электродинамическую стойкость.

Ток КЗ в точке К1 будет протекать через АВ типа ВА 75-47 и ВА-СЭЩ В TS800(Н), электродинамическая стойкость которых составляет 70 и 100 кА соответственно:

$$i_{yK1} = 68,5 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 70 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 100 \text{ кА.}$$

Условие проверки выполняется.

Ток КЗ в точке К2 будет протекать через АВ типа ВА-СЭЩ В TS800 и ВА-СЭЩ В TS630, электродинамическая стойкость которых составляет 100 кА и 85 кА соответственно:

$$i_{y_{K2}} = 52,3 \text{ кА} \leq i_{y_{BA}} = 100 \text{ кА} \leq i_{y_{BA}} = 85 \text{ кА}.$$

Условие проверки выполняется.

Ток КЗ в точке К3 будет протекать через АВ типа ВА-СЭЩ В TS630 и ВА-СЭЩ В TS400, электродинамическая стойкость которых составляет 85 и 65 кА соответственно:

$$i_{y_{K3}} = 30,9 \text{ кА} \leq i_{y_{BA}} = 85 \text{ кА} \leq i_{y_{BA}} = 65 \text{ кА}.$$

Условие проверки выполняется.

Ток КЗ в точке К4 будет протекать через АВ типа ВА-СЭЩ В TS400, электродинамическая стойкость которого составляет 65 кА, тогда условие проверки:

$$i_{y_{K4}} = 30,9 \text{ кА} \leq i_{y_{BA}} = 65 \text{ кА}.$$

Вывод: условие проверки выполняется, а, следовательно, выбранные коммутационные аппараты прошли проверку.

8 Определение параметров системы заземления КТП

Для расчета заземления подстанции используются следующие исходные параметры помещения, грунта и расположения заземлителей:

$$l = 5 \text{ м}; d = 0,012 \text{ м}; a = 10 \text{ м}; R_3 = 0,5 \text{ Ом}; t = 0,7; \rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

«Расчетное сопротивление грунта» [21]:

$$\rho_{\text{расч}} = \rho_{\text{гр}} \cdot K_c = 100 \cdot 1,25 = 125 \text{ Ом}$$

«Сопротивление одного вертикального заземлителя» [21]:

$$R_c = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч}}}{l} \cdot \left[\lg\left(\frac{2 \cdot l}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot t' + l}{4 \cdot t' - l}\right) \right], \quad (8.1)$$

где: $t' = t_0 + \frac{1}{2} \cdot l = 0,7 + \frac{1}{2} \cdot 5 = 3,2 \text{ м};$

$$R_c = \frac{0,366 \cdot 125}{5} \cdot \left[\lg\left(\frac{10}{0,012}\right) + \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot 3,2 + 5}{4 \cdot 3,2 - 5}\right) \right] = 28,36 \text{ Ом}.$$

«Число вертикальных заземлителей» [21]:

$$N_c = \frac{R_c}{R_3 \cdot n_c}, \quad (8.2)$$

$$N_c = \frac{28,36}{0,5 \cdot 0,78} = 72,7 \approx 73 \text{ шт}.$$

«Сопротивление соединительной полосы» [21]:

$$R_{II} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.г}}}{L} \cdot \lg\left(\frac{L^2}{b \cdot t}\right) = \frac{0,366 \cdot 125}{48} \cdot \lg\left(\frac{48^2}{0,04 \cdot 0,7}\right) = 4,7 \text{ Ом}, \quad (8.3)$$

Сопротивление контура заземления:

$$R_{ПК} = \frac{R_{II}}{n_{II}} = \frac{4,7}{0,26} = 18 \text{ Ом.} \quad (8.4)$$

Окончательное сопротивление вертикальных стержней:

$$R = \frac{R_{ПК} \cdot R_3}{R_{ПК} + R_3} = \frac{18 \cdot 0,5}{18 + 0,5} = 0,48 \text{ Ом.} \quad (8.5)$$

Скорректированное число стержней:

$$N_c' = \frac{R_c}{R \cdot n_c} = \frac{28,36}{0,48 \cdot 0,78} = 75,7 \approx 76 \text{ шт.} \quad (8.6)$$

Вывод: окончательно принимаем к установке 76 стержней.

Заключение

Цель работы заключалась в создании надежной системы электроснабжения группы цехов предприятия по производству выхлопных систем. Для этого были определены расчетные электрические нагрузки от электроприемников предприятия.

Расчеты освещения выполнялись в программном комплексе светотехнических расчетов DIALux Light. Суммарная полная расчетная нагрузка предприятия превысила 3 МВА.

Выбраны число и мощность трансформаторов на КТП предприятия, а также мощность компенсирующих устройств.

Для обеспечения электрической энергией электроприемников цеха в работе выбрана магистральная схема электроснабжения. В качестве комплектной трансформаторной подстанции выбрана 2КТП – СЭЩ–П–1600/10/0,4 – 0,3 – У3 производства завода Электроцит г. Самара.

Для питания отдельных электроприемников используем кабели АВВГнг и ВВГнг различного сечения.

Выбраны шинопроводы, автоматические выключатели, трансформаторы тока.

Произведен расчёт токов короткого замыкания.

Выбранные АВ проверены на электродинамическую стойкость. Для КТП выполнен расчет системы заземления.

Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с.
2. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.
3. Михайлов В.Е. Современная электросеть. СПб. : Наука и Техника, 2013. 256 с.
4. Usman M., Coppo M., Bignucolo F., Turri R., Cerretti, A. A novel methodology for the management of distribution network based on neutral losses allocation factors // International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2019. №1. pp. 613-622.
5. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. 78 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2976/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 25.04.2020).
6. Bobby Rauf S. Electrical Engineering for Non-electrical Engineers. Lulu Press. Inc, 2015. 235 p.
7. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
8. Вахнина В.В., Черненко А.Н. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: электронное учеб.-метод. пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. 46 с. URL: https://dspace.tltsu.ru/bitstream/123456789/2943/1/Vahnina%20Chernenko_EUMI_Z.pdf (дата обращения: 03.05.2020).
9. Савоськин В. С. Электроснабжение. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2018. 256 с.

10. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения : учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.
11. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
12. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий [Электронный ресурс]: учебник. 5-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2019. 405 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/1003810> (дата обращения: 18.04.2020).
13. Khan S., Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016. 488 p.
14. Мельников М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2001. 140 с.
15. Zhang Q., Tang W., Zaccour G., Zhang J. Should a manufacturer give up pricing power in a vertical information-sharing channel // European Journal of Operational Research. 2019. №276, pp. 910-928.
16. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Централизованное и автономное электроснабжение объектов, цехов, промыслов, предприятий и промышленных комплексов [Электронный ресурс] : учеб. пособие. Вологда : "Инфра-Инженерия", 2016. 928 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/95768> (дата обращения: 05.04.2020).
17. Абрамова Е.Я., Алешина С.К., Чиндяскин В.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие по курсу ЭПП. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2015. 103 с.
18. IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 551. NY: IEEE, 2013. 300 p.
19. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование : учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.

20. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.

21. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.