

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 Проектирование системы электроснабжения группы цехов предприятия по
производству автокомпонентов

Обучающийся

М.П. Дивин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Консультант

к.пед.н., доцент, Т.С. Якушева

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

Тольятти 2023

Аннотация

В выпускной квалификационной работе разрабатывается ряд мероприятий, направленных на реконструкцию существующей системы внутреннего электроснабжения предприятия по производству автокомпонентов.

На основании имеющихся данных об установленных электроприемниках и их количестве был произведён расчёт ожидаемых максимальных электрических нагрузок. Выбран тип современных энергосберегающих светодиодных светильников для установки внутри помещений производственного корпуса, определено необходимое количество светильников для установки и произведён расчёт суммарной потребляемой системой освещения мощности.

Произведено сравнение двух вариантов установки на трансформаторной подстанции предприятия силовых трансформаторов различной мощности, потерь внутри трансформаторов в различных режимах, определены необходимые мощности устройств компенсации РМ, а также приведённых затрат на эти два варианта.

По значению номинальных и расчётных токов выбраны проводники и коммутационные аппараты, составлена схема для расчёта токов короткого замыкания и на её основе схема замещения, по которым были определены максимальные значения трехфазного тока короткого замыкания и его ударного значения в различных точках внутрицеховой электрической сети.

По полученным значениям токов КЗ проверена коммутационная способность выбранных ранее коммутационных аппаратов.

Выполнен расчёт защитного заземления цеховой трансформаторной подстанции.

Работа состоит из пояснительной записки объёмом 70 страниц, включает в себя 2 графических рисунка и 9 таблиц. Работа дополнена шестью чертежами на формате А1.

Annotation

In the final qualifying work, a number of measures are being developed aimed at the reconstruction of the existing system of internal power supply of an enterprise for the production of auto components.

Based on the available data on the installed electrical receivers and their number, the expected maximum electrical loads were calculated. The type of modern energy-saving LED lamps for installation inside the premises of the production building was selected, the required number of lamps for installation was determined, and the total power consumed by the lighting system was calculated.

A comparison was made of two options for installing power transformers of various capacities at a transformer substation, losses inside transformers in various modes, the required power of PM compensation devices, as well as the reduced costs for these two options, were determined.

According to the value of rated and rated currents, conductors and switching devices were selected, a circuit was drawn up for calculating short-circuit currents and, on its basis, an equivalent circuit, which were used to determine the maximum values of the three-phase short-circuit current and its shock value at various points of the intrashop electrical network.

According to the obtained values of short-circuit currents, the switching capacity of the previously selected switching devices was checked.

The calculation of the protective grounding of the workshop transformer substation was carried out.

The work consists of an explanatory note of 70 pages, includes 2 graphic drawings and 9 tables. The work is supplemented with six drawings in A1 format.

Содержание

Введение.....	5
1 Описание производственной деятельности и установленных на предприятии электроприемников	7
2 Расчёт нагрузок по предприятию от силовых электроприемников	9
3 Расчёт электрических нагрузок от системы искусственного освещения производственного корпуса	15
4 Расчёт числа и установленной мощности трансформаторов на ТП	29
5 Выбор коммутационно-защитных аппаратов и проводников для групповых линий и к отдельным электроприемникам	34
6 Расчёт значений токов коротких замыканий в различных узлах схемы	48
6.1 Расчёт внутренних сопротивлений элементов, представленных на схеме замещения	48
6.2 Определение токов коротких замыканий в намеченных расчётных точках	55
6.3 Проверка коммутационная способность автоматических выключателей	62
7 Расчёт системы заземления, установленной на трансформаторной подстанции	64
Заключение	67
Список используемых источников.....	69

Введение

В электроэнергетике протекает ряд процессов, который коренным образом отличает данную отрасль у других промышленных отраслей:

- процессы генерации электрической энергии, её трансформации, передачи и последующего потребления электроприемниками, практически совпадают по времени и неделимы друг от друга;
- все эти процессы протекают с высокой скоростью, что делает необходимым использование быстродействующих устройств защиты и автоматики и зачастую приводит к невозможности реагирования на аварийные процессы в системе в ручном режиме;
- от работы всей системы электроснабжения и электроэнергетики в целом, зависит работоспособность всех остальных отраслей промышленности, которая не может быть на продолжительное время обеспечена при перерывах в электроснабжении. С другой стороны, и технологический процесс предприятия влияет на систему электроснабжения и происходящие в ней процессы, а через неё и на функционирование других, расположенных рядом электроприемников.

Данные особенности функционирования отрасли и происходящих в ней процессов привели к возникновению характерных технических решений, свойственных именно для электроэнергетики:

- применение в системах электроснабжения большого количества автоматически работающих устройств коммутации, защиты и автоматики, позволяющих обеспечить работоспособность системы как в нормальном режиме, так и при возникновении аварийных ситуаций;
- широту применения различных технических решений, необходимую для обеспечения надёжного электроснабжения в различных условиях эксплуатации широкого спектра различных по мощности,

режиму работы и условиям эксплуатации электроприёмников;

- необходимость гибкой модернизации системы электроснабжения вслед за меняющимся технологическим процессом без её коренного переустройства и с наименьшими дополнительными затратами [1-4].

Целью бакалаврской работы является разработка надёжной и экономичной системы электроснабжения группы цехов предприятия по производству автокомпонентов, удовлетворяющей требованиям безопасности при минимуме затрат как на строительство системы электроснабжения, так и на её последующую эксплуатацию.

Данная цель достигается путём решения ряда поставленных в работе задач, к которым относится определение расчётной электрической нагрузки по группе цехов, определение параметров системы внутреннего электрического освещения, выбор наиболее оптимального варианта устройства комплектной трансформаторной подстанции, выбор системы внутреннего электроснабжения, выполнение расчётов по определению максимальных значений токов короткого замыкания, выбор и проверка электрических аппаратов для системы электроснабжения.

1 Описание производственной деятельности и установленных на предприятии электроприемников

Компания выпускает широкий спектр комплектующих к отечественным и зарубежным автомобилям. Основным направлением деятельности компании является разработка и производство систем выпуска отработавших газов. В данной области у компании накоплен обширный опыт, а её продукция кроме розничных сетей поставляется на сборочные заводы автопроизводителей.

Глушители-резонаторы оснащены свободно выходящим, прямым сквозным перфорированным сердечником и акустическим материалом, обеспечивающим чистый, глубокий тон в отличие от продуктов других производителей. Традиционный звук лошадиных сил от холостого хода до полного открытия дросселя. Длительный срок службы обеспечивает антикоррозийный алюминизированный корпус и отсутствие ухудшения качества звука со временем эксплуатации.

Выхлопные системы, выпускаемые на предприятии рассчитаны на длительное время эксплуатации для тех, кто ищет повышенную производительность и лучшую экономию, системы выхлопных газов обеспечивают ровный глубокий звук, который нужен потребителю, и широкую открытую мощность. Выхлопные системы имеют конструкцию с прямоточным потоком, обеспечивающим неограниченную мощность и крутящий момент для двигателей большой производительности при сохранении эффективности выхлопа. Эти системы представляют собой сбалансированный внутренний и внешний уровни шума и протестированы в соответствии со стандартами SAE j1169. Все трубы изогнутые, готовые к установке. Конструкция из нержавеющей стали марки T409. Увеличенная мощность и крутящий момент [5].

На предприятии используются различные электротехнологические установки, самыми распространёнными электроприемниками являются станки, установки для сварки металла, подъёмные и передвижные установки.

Электроприёмники имеют различную мощность, которая у самых мощных доходит до 130 кВт.

Практически все электроприёмники работают в длительном, продолжительном режиме работы, только подъемно-транспортное оборудование и конвейерные ленты работают в повторно-кратковременном режиме.

По числу фаз на предприятии имеются электроприемники как трехфазного исполнения, так и однофазного.

По надежности электроснабжения основная часть электроприемников относится ко второй категории, так как является электроприемниками обеспечивающими основной технологический процесс, имеются отдельные группы электроприемников, отнесённых к первой категории по надежности электроснабжения. К таким электроприемникам относятся электроприемники системы пожаротушения, вентиляции, их бесперебойная работа необходима для обеспечения безопасных условий труда, эвакуации персонала в случае аварийных ситуаций Производство работ на предприятии осуществляется по трёхсменному графику работы.

На предприятии установлены четыре трансформаторные подстанции с напряжением на высокой стороне 10 кВ, данные по станции получают питание от центрального распределительного пункта предприятия, на стороне низкого напряжения подстанции используется стандартное значение напряжения 380 В.

Выводы по разделу.

Приведена краткая характеристика промышленного предприятия и выпускаемой им продукции, указаны основные конкурентные преимущества, которые позволяют предприятию занимать лидирующие позиции в своей области. Приведён состав электроприемников предприятия, диапазон мощности электроприемников, указаны категории по надежности электроснабжения и режимы работы электроприемников, питание предприятия осуществляется от 4 трансформаторных подстанций.

2 Расчёт нагрузок по предприятию от силовых электроприемников

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

$$P_p = P_n; \quad (1)$$

$$Q_p = Q_n = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n; \quad (2)$$

$$S_p = \frac{P_p}{\cos \varphi_n}; \quad (3)$$

где « P_p , Q_p , S_p — расчетные активная, реактивная, полная мощности ЭП соответственно;

P_n , Q_n , S_n — номинальные (установленные) активная, реактивная, полная мощности ЭП соответственно;

$\cos \varphi_n$, $\operatorname{tg} \varphi_n$ — номинальное значение коэффициента мощности и соответствующий ему коэффициент реактивной мощности ЭП» [6].

«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 $\cos \varphi_n$ 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» [6]:

$$P_o = \frac{P_n}{\eta};$$

где « P_n — номинальная (паспортная) мощность двигателя;

η - коэффициент полезного действия двигателя. При определении расчетных электрических нагрузок пренебрегают, принимая $P_d = P_n$ » [6].

Перед заполнением таблицы с результатами расчёта нагрузок все паспортные мощности должны быть пересчитаны к номинальной с учётом приведения процента включения к 100%:

$$P_H = P_{II} \cdot n \quad (4)$$

где P_{II} - значение паспортной мощности 1 электроприемника, приведённое к 100%;

n - число одинаковых по мощности и режиму работы электроприемников в группе.

Выполним расчёт для группы сварочных установок:

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

Найдём номинальную мощность группы зарядных устройств:

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

Определим показатель силовой сборки в группе путём деления мощности одного самого мощного электроприемника на значение мощности одного самого маломощного электроприемника:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}} \quad (5)$$

где $P_{H.МАКС}$, $P_{H.МИН}$ - номинальные мощности самого мощного и самого маломощного из электроприемников, подключенных к одному узлу питания.

В зависимости от расчётного значения показателя силовой сборки, количества электроприемников в группе и средневзвешенного коэффициента использования, выбирается формула для определения эффективного числа электроприемников.

Для распределительного шинпровода №4/4-1 определяем значение показателя силовой сборки:

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

Активную среднесменную нагрузку определяем путём умножения номинальной групповой мощности на справочное значение коэффициента использования K_H . Реактивное значение среднесменной нагрузки находим путём умножения найденного ранее значения активной среднесменной нагрузки на справочное значение коэффициента мощности $\cos\phi$:

$$P_C = K_H \cdot P_H \quad (6)$$

$$Q_C = P_C \cdot \tan\phi \quad (7)$$

Находим средние за наиболее загруженную смену значения активной и реактивной мощности для группы сварочных установок:

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

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

Произведя таким образом расчёты для каждой группы электроприемников средних значений активной и реактивной мощности за наиболее загруженную смену, переходим к заполнению итоговой строчки по каждому узлу питания.

«В итоговой строке среднесменные значения коэффициента использования и коэффициента мощности находятся по формулам» [7]:

$$K_{И.СР} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{H.\Sigma}}, \quad (8)$$

где « $\sum P_C$ - суммарное значение среднесменных мощностей по группам ЭП;

$\sum P_{H.\Sigma}$ - суммарное значение номинальных мощностей по группам ЭП» [7];

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

$$tg\phi_{cp} = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C}, \quad (9)$$

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

При показателе силовой сборки превышающем 3, среднем значении коэффициента использования за смену $K_{И.СР} \geq 0,2$ и общем числе электроприемников в группе больше 5 в расчётах возможно использование упрощённой формулы для нахождения эффективного числа электроприемников:

$$n_{\mathcal{O}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{H.MAKC}}, \quad (10)$$

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

Округляем полученное расчётное значение числа электроприемников до ближайшего целого значения равного 5, по таблицам в справочной литературе находим значение коэффициента максимума по данным для распределительных шинопроводов:

$$K_M = 1,0$$

Расчётное значение активной нагрузки определяем путём произведения суммарной среднесменной нагрузки на коэффициент максимума [8, 9]:

$$P_P = K_M \cdot P_C, \quad (11)$$

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

Расчётная реактивная нагрузка принимается либо равной среднесменной при эффективном числе электроприемников больше 10, либо как в данном случае умножается на 1,1 при эффективном числе электроприемников меньше 10:

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

Полную расчётную нагрузку определяем, как корень квадратный из суммы квадратов активной и реактивной расчётных мощностей:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}, \quad (12)$$

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

«Значение расчётного тока определяем путём деления полученного расчётного значения полной мощности на корень из 3 и номинальное значение напряжения в узле питания» [7]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (13)$$

где « U_H - номинальное напряжение сети» [7];

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

По приведенной выше методике производим расчёты для каждого из узлов питания производственного корпуса, полученные значения активной и реактивной расчётных мощностей складываем и определяем суммарное значение полной мощности и расчётного тока [10, 11]:

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

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

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

$$I_{p\Sigma} = 4669,86 \text{ А.}$$

Выводы по разделу. Подробно показан расчёт ожидаемых электрических нагрузок от распределительного шинпровода №4-1, определены суммарные расчётные нагрузки электроприемников, получающих питание от трансформаторной подстанции главного корпуса предприятия.

3 Расчёт электрических нагрузок от системы искусственного освещения производственного корпуса

Определение количества светильников, которые необходимо установить внутри производственного помещения производим по методу коэффициента использования [12, 13].

«Перед выполнением основных расчётов находим площадь каждого помещения» [12]:

$$S = a \cdot b, \quad (14)$$

где «a - длина помещения;

b - ширина помещения» [12].

В соответствии с имеющейся информацией о степени загрязнённости внутри помещений, принимаем коэффициент запаса светового потока равный 2.

Для определения коэффициента использования определяем предварительно коэффициенты отражения потолка, стен и пола производственных помещений. В расчётах принимает значения 80% для потолка, 50% для стен и 30% для полов. По данным о коэффициентах отражения ограждающих конструкций и индекса помещения, определяем значение коэффициента использования для выбранного типа светильника.

Определяем число светильников, которые необходимо установить в каждом помещении для обеспечения минимальной требуемой горизонтальной освещённости [13]:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (15)$$

где «E - требуемая горизонтальная освещённость;

S - площадь цеха;

K_3 - коэффициент запаса;
 η - коэффициент использования;
 n - количество ламп в светильнике;
 Φ_L - световой поток одной лампы» [13].

Определяем активную мощность системы освещения в помещении, умножая мощность одной лампы, установленной в светильнике на число ламп и на количество светильников. При использовании светодиодных светильников за P_L принимается мощность одного светильника:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_L, \quad (16)$$

где « P_L - номинальная мощность одной лампы устанавливаемой в светильнике заводом-изготовителем» [13].

Находим реактивную мощность, потребляемую системой освещения, путём умножения активного значения мощности на коэффициент мощности, указанный производителем в паспорте светильника:

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot \operatorname{tg} \phi. \quad (17)$$

Данная методика расчётов используется в программном комплексе для расчёта количества светильников Dialux Light, дальнейшие расчёты системы освещения производим в данной программе, а полученные результаты сводим в таблицу 1.

Складываем полученное значение мощности потребляемой системой освещения во всех производственных помещениях и мощность от силовых электроприемников. Таким образом получаем суммарную мощность, передаваемую через цеховую трансформаторную подстанцию:

$$P_{\Sigma} = P_{P\Sigma} + P_{осв}; \quad (18)$$

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

$$Q_{\Sigma} = Q_{P\Sigma} + Q_{осв}; \quad (19)$$

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

Таблица 1 – Расчётная мощность системы освещения для каждого из производственных помещений

Название производственного помещения	$P_{осв}, \text{ кВт}$	$Q_{осв}, \text{ квар}$
Помещение трансформаторной подстанции	1,73	0,83
1й цех сварки	65,60	31,49
2й цех сварки	13,6	6,53
Помещение вентиляционной 5, 6	2×3,6	2×1,73
Санузел	2×0,864	2×0,41
Помещение персонала	0,864	0,41
Зарядная для аккумуляторов 2	1,6	0,77
Склад материалов	3,6	1,73
Ремонтный цех	6,4	3,07
Участок упаковки изделий	4,8	2,30
Производственный цех	32,8	16,13
Склад готовой продукции	32,4	15,55
Приёмная директора производства	0,144	0,069
Переговорная	0,144	0,07
Кабинет директора производства	0,108	0,052
Помещения для телекоммуникационных установок	0,072	0,03
Кабинет заместителя директора производства	0,144	0,07
1й складской комплекс	3,6	1,73
2й складской комплекс	3,6	1,73
Кабинет ИТР	0,288	0,14
Итого по производственным помещениям	180,42	86,6

Расчётные данные полученные в ходе определения ожидаемых нагрузок по узлам питания внутри рассматриваемого цеха заносим в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение расчётных нагрузок по распределительному шинопроводу, распредпункту и в целом по производственному цеху

Номер на генплане	Технологический электроприемник	$n, шт$	$P_H, кВт$	$P_{H\Sigma}, кВт$	m	K_H	$\cos\varphi / \tan\varphi$	$P_C, кВт$	$Q_C, квар$	n_{Σ}	K_M	$P_P, кВт$	$Q_P, квар$	$S_P, кВА$	$I_P, А$
120 - 127	Машины точечной сварки	8	10,1	80,8	-	0,21	$\frac{0,41}{2,28}$	16,2	36,5	-	-	-	-	-	-
34 - 39	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	6	1,2	7,2	-	1	$\frac{0,9}{0,48}$	7,2	3,5	-	-	-	-	-	-
			8,5	50,5	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	10,1	23,1	-	-	-	-	-	-
213 - 215	Вентиляционный агрегат	3	1,5	4,5	-	0,75	$\frac{0,8}{0,76}$	3,4	2,5	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/1-1		17	21,3	162,2	> 3	0,262	$\frac{0,491}{1,758}$	36,9	65,6	4	1,19	43,6	72,3	84,4	128,3
70 - 92	Машина контактной точечной сварки TCC MTP-10	23	24	552	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	110,4	252,8	-	-	-	-	-	-
230 - 232	Вентиляционный агрегат	3	1,2	3,6	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	3,2	2,5	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/1-2		26	25,2	555,6	> 3	0,21	$\frac{0,411}{2,259}$	112,6	254,7	2	2,7	303,6	280	413,1	627,7
172 - 176	Портально-сварочная установка МН-1800	5	15	75	-	0,2	$\frac{0,5}{1,73}$	15	26	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генплане	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\frac{\cos\varphi}{\tan\varphi}$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
233 - 235, 245 - 247	Вентиляционный агрегат	6	1,1	6,6	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	5	3,7	-	-	-	-	-	-
208		1	2,2	2,2	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	1,7	1,24	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/2-3		27	35,6	213,7	> 3	0,27	$\frac{0,521}{1,641}$	55,2	90,6	6	0,96	53,1	99,7	113	171,6
56 - 58	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	3	1,2	3,6	-	1	$\frac{0,9}{0,48}$	3,6	1,73	-	-	-	-	-	-
			8,4	25,2	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	5	11,5	-	-	-	-	-	-
203	Транспортер ленточный ТЛ 300	1	2,2	2,2	-	0,55	$\frac{0,75}{0,9}$	1,2	1,1	-	-	-	-	-	-
158 - 167	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	10	7,6	76	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	15,2	34,8	-	-	-	-	-	-
248 - 251	Вентиляционный агрегат	4	1,1	4,4	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	3,3	2,5	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/2-4		18	20,7	111,42	> 3	0,26	$\frac{0,481}{1,81}$	28,3	51,6	3	1,8	51	56,8	76,3	116
1 - 11	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	11	1,2	13,2	-	1	$\frac{0,9}{0,48}$	13,2	6,4	-	-	-	-	-	-
			8,4	92,4	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	18,5	42,3	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генпла- не	Технологический электроприемник	<i>n</i> , <i>шт</i>	<i>P_н</i> , <i>кВт</i>	<i>P_{нΣ}</i> , <i>кВт</i>	<i>m</i>	<i>K_н</i>	<i>cosφ</i> <i>/tgφ</i>	<i>P_с</i> , <i>кВт</i>	<i>Q_с</i> , <i>квар</i>	<i>n_э</i>	<i>K_м</i>	<i>P_р</i> , <i>кВт</i>	<i>Q_р</i> , <i>квар</i>	<i>S_р</i> , <i>кВА</i>	<i>I_р</i> , <i>А</i>
59	Сварочный аппарат для ручной дуговой сварки (ММА)	1	22	22	-	0,2	$\frac{0,75}{0,88}$	4,4	3,9	-	-	-	-	-	-
61 - 64	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-10	4	24	96	-	0,2	$\frac{0,4}{2,3}$	19,2	44	-	-	-	-	-	-
209 - 211	Вентиляционный агрегат	3	1,5	4,5	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	3,4	2,5	-	-	-	-	-	-
218		1	1,1	1,1	-	0,75	$\frac{0,8}{0,75}$	0,83	0,6	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/4-1		20	58,1	229,3	-	0,27	$\frac{0,512}{1,69}$	59,6	99,5	5	1	59,5	109,6	124,7	189,5
60	Сварочный аппарат для ручной дуговой сварки (ММА)	1	22	22	-	0,21	$\frac{0,74}{0,87}$	4,39	3,86	-	-	-	-	-	-
204	Вентиляционный агрегат	1	2,2	2,2	-	0,74	$\frac{0,8}{0,75}$	1,63	1,23	-	-	-	-	-	-
219 – 221		3	1,1	3,3	-	0,74	$\frac{0,8}{0,75}$	2,468	1,85	-	-	-	-	-	-
12 – 17	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	6	1,2	7,2	-	1	$\frac{0,91}{0,47}$	7,21	3,455	-	-	-	-	-	-
			8,4	50,4	-	0,2	$\frac{0,41}{2,28}$	10,07	23,06	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генплане	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\cos\varphi$ $/\tan\varphi$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
65 – 67	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-10	3	24	72	-	0,21	0,41/ 2,28	14,6	32,96	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/4-2		14	58,9	157,1	> 3	0,258	0,51/ 1,67	40,18	66,46	4	1,19	47,84	73,13	87,39	132,77
18 – 29	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	12	1,2	14,4	-	1	0,91/ 0,47	14,3	6,908	-	-	-	-	-	-
			8,41	101,4	-	0,2	0,41/ 2,28	20,16	46,15	-	-	-	-	-	-
222 – 225	Вентиляционный агрегат	4	1,1	4,4	-	0,74	0,81/ 0,745	3,25	2,473	-	-	-	-	-	-
68 – 69	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-10	2	24	48	-	0,2	0,41/ 2,285	9,56	21,94	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/4-3		18	34,7	167,7	> 3	0,281	0,51/ 1,64	47,48	77,52	3	1,42	67,391	85,28	108,69	165,14
40 – 44	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	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 аргодуговой сварки неплавящимся электродом	6	7,6	45,6	> 3	0,2	0,4/ 2,29	9,12	20,88	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генплане	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\cos\varphi$ / $\tan\varphi$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
289	Привод распашных ворот twist 200 E	1	0,55	0,55	-	0,4	0,74/ 0,89	0,23	0,2	-	-	-	-	-	-
-	Низковольтный РП №6	5	13,9	32,8	-	0,35	0,61/ 1,32	11,37	15,14	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/9-1		21	53,9	207,15	> 3	0,26	0,55/ 1,54	54,4	84,41 9	4	1,2	64,94	92,85 1	113,32	172,18
282 – 283	Машина контактной точечной сварки TCC MTP-10	2	24	48	-	0,2	0,41/ 2,28	9,61	21,98 3	-	-	-	-	-	-
259 - 262	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	4	1,2	4,8	-	1	0,91/ 0,47	4,83	2,312	-	-	-	-	-	-
			8,4	33,6	-	0,2	0,41/ 2,28	6,71	15,29	-	-	-	-	-	-
279	Сварочная установка "Тройной газ" RE17 AMS 5/10 35403 ROTHENBERGER	1	37,2	37,2	-	0,21	0,41/ 2,28	7,43	17,02 57	-	-	-	-	-	-
269 - 270	Пресс гидравлический на 30 тонн с ножным приводом, SD0824	2	6,4	12,8	-	0,18	0,66/ 1,16	2,168	2,535 9	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генпла- не	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\cos\varphi$ $/\operatorname{tg}\varphi$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
280 - 281	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	2	56,2	112,4	-	0,21	0,41/ 2,28	22,52	51,46 82	-	-	-	-	-	-
290 - 291	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	2	22	44	-	0,76	0,81/ 0,74	33,2	24,69	-	-	-	-	-	-
292 - 295		4	5,5	22	-	0,76	0,81/ 0,74	16,72	12,35 7	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/9-2		17	160, 9	314,8	> 3	0,34	0,56/ 1,45	102,6 8	147,9 1	6	0,95	97,61	162,5 9	189,72	288,17 8
103 - 104	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	2	12,5	25	-	0,21	0,51/ 1,72	5,2	8,64	-	-	-	-	-	-
205	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	1	2,2	2,2	-	0,76	0,81/ 0,74	1,67	1,23	-	-	-	-	-	-
212		1	1,5	1,5	-	0,76	0,81/ 0,74	1,127	0,83	-	-	-	-	-	-
226 - 227		2	1,1	2,2	-	0,76	0,81/ 0,74	1,67	1,23	-	-	-	-	-	-
93 - 100	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-10	8	48	384	-	0,2	0,41/ 2,28	76,7	175,8 9	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генплане	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\cos\varphi$ $/\tan\varphi$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
Σ по распределительному шинопроводу №4/10-1		14	65,3	414,9	> 3	0,22	0,41/ 2,19	86,21 8	187,7 5	2	2,68	231,88	206,5 9	310,58	471,87
112 - 119	Установка для сварки шаровых кранов DN 700- 1400	8	10	80	-	0,205	0,41/ 2,28	16,2	36,63	-	-	-	-	-	-
30 - 33	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	4	1,2	4,8	-	1	0,91/ 0,47	4,83	2,312	-	-	-	-	-	-
			8,4	33,6	-	0,2	0,4/ 2,29	6,71	15,37	-	-	-	-	-	-
105 - 106	Промышленный робот для сварки серии RH08A2 GSK	2	12,5	25	-	0,2	0,5/ 1,73	4,95	8,64	-	-	-	-	-	-
228 - 229	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	2	1,1	2,2	-	0,75	0,8/ 0,75	1,66	1,23	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/10-2		16	33,2	145,6	> 3	0,23	0,47/ 1,88	34,18	64,23	4	1,46	49,89	70,64	86,48	131,39 6
177 - 190	Подзарядные устройства	14	7,2	100,8	-	0,5	0,7/ 1,02	50,37 5	51,39 7	-	-	-	-	-	-
252	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	1	7,5	7,5	-	0,75	0,8/ 0,75	5,628	4,221	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному шинопроводу №4/11-1		15	14,7	108,3	> 3	0,52	0,71/ 0,99	56,01 8	55,64 1	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генпла- не	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\cos\varphi$ $/\tan\varphi$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
193 - 194	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	2	75	150	-	0,71	0,81/ 0,74	106,5	78,77	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному пункту №1		2	75	150	< 3	0,71	0,81/ 0,74	106,5	78,77	2	1	105	86,61 8	136,09	206,80 8
195 - 196	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	2	75	150	-	0,71	0,81/ 0,74	106,5	78,77	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному пункту №2		2	75	150	< 3	0,71	0,81/ 0,74	106,5	78,77	2	1	105	86,62 3	136,07	206,80 6
-	Низковольтный РП №1	2	75	150	-	0,71	0,81/ 0,74	106,5	78,77	-	-	-	-	-	-
240 - 241	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	2	1,1	2,2	-	0,75	0,81/ 0,74	1,65	1,24	-	-	-	-	-	-
191	Привод распашных ворот twist 200 E	1	0,55	0,55	-	0,4	0,74/ 0,89	0,22	0,194	-	-	-	-	-	-
192	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	1	11	11	-	0,65	0,84/ 0,63	7,15	4,433	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному пункту №3		6	87,6 5	163,75	> 3	0,7	0,81/ 0,75	114,0 2	84,61	2	1	114,02	93,06 3	147,17 8	223,61 7
-	Низковольтный РП №2	2	75	150		0,7	0,81/ 0,75	105	78,75	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генплане	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\cos\varphi$ / $\tan\varphi$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
197 - 200	Универсальный токарный станок PROMA SPB- 550/400	4	1	4		0,13	0,4/ 2,29	0,52	1,19	-	-	-	-	-	-
201	Сварочный комплекс Горизонт-2	1	5,2	5,2		0,2	0,4/ 2,29	1,04	2,38	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному пункту №4		7	81,2	159,2	> 3	0,67	0,79/ 0,77	106,5 6	82,32	2	1	106,56	90,55	139,84	212,46 4
286 - 288	Привод распашных ворот twist 200 E	3	0,55	1,65	-	0,4	0,75/ -0,88	0,66	0,580 8	-	-	-	-	-	-
296 - 297	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 3	2	30	60	-	0,7	0,8/ 0,75	42	31,5	-	-	-	-	-	-
298 - 299	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 1	2	11	22	-	0,65	0,85/ 0,62	14,3	8,866	-	-	-	-	-	-
277 - 278	Тельфер электрический TF- 500	2	0,55	1,1	-	0,4	0,75/ 0,88	0,44	0,387	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному пункту №5		9	42,1	84,75	> 3	0,68	0,81/ 0,72	57,4	41,33 4	3	1	57,4	45,46 7	73,226	111,25 5
263 - 266	Диагностическая линия VTEQ-3000- 40	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	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генплане	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\cos\varphi$ $/\tan\varphi$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
284	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	1	7,6	7,6	-	0,2	0,4/ 2,29	1,52	3,481	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному пункту №6		5	13,9	32,8	> 3	0,35	0,6/ 1,33	11,36	15,15 4	3	1,42	16,13	16,67	23,197	35,244
305 - 307	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 1	3	11	33	-	0,65	0,85/ 0,62	21,45	13,29 9	-	-	-	-	-	-
310	Разрезной станок для разборных моделей TR.87.00. Омес	1	4	4	-	0,13	0,4/ 2,29	0,52	1,190 8	-	-	-	-	-	-
311	Гильотина гидравлическая по металлу НГ12Г.01	1	3	3	-	0,13	0,4/ 2,29	0,39	0,893 1	-	-	-	-	-	-
312	Опτικο- волоконная установка лазерной резки Mitsubishi ML3015GX-F100	1	15	15	-	0,13	0,4/ 2,29	1,95	4,465 5	-	-	-	-	-	-
313	Шлифовальная установка 3791M	1	1	1	-	0,13	0,4/ 2,29	0,13	0,297 7	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 2

Номер на генпла- не	Технологический электроприемник	n , <i>шт</i>	P_H , <i>кВт</i>	$P_{H\Sigma}$, <i>кВт</i>	m	K_H	$\cos\varphi$ $/\tan\varphi$	P_C , <i>кВт</i>	Q_C , <i>квар</i>	n_{Σ}	K_M	P_P , <i>кВт</i>	Q_P , <i>квар</i>	S_P , <i>кВА</i>	I_P , <i>А</i>
314	Переносной сварочный аппарат FoxWeld Master 202	1	5,2	5,2	-	0,2	0,4/ 2,29	1,04	2,381 6	-	-	-	-	-	-
317 - 320	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3- 0,1	4	1,1	4,4	-	0,75	0,8/ 0,75	3,3	2,475	-	-	-	-	-	-
300 - 302	Привод распашных ворот twist 200 E	3	0,55	1,65	-	0,4	0,75/ 0,88	0,66	0,580 8	-	-	-	-	-	-
Σ по распределительному пункту №7		15	40,8 5	67,25	> 3	0,44	0,75/ 0,87	29,44	25,58 3	4	1,06	31,206	28,14	42,021	63,845
Всего по силовым ЭП		330	131 7,35	3978,4	> 3	0,32	0,57/ 1,45	1262, 084	1826, 322	14	0,85	1821,7	2180	2873,5	4365,8
Мощность электроприемников системы искусственного освещения		-	-	-	-	-	0,9/ 0,48	-	-	-	-	180,42	86,6	200,13	304,06
Суммарные значения по узлам питания		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2007,1	2266	3073,6	4669,9

«Зная активную и реактивную мощность, находим значение полной мощности как корень из суммы квадратов активной и реактивной мощности» [12]:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}; \quad (20)$$
$$S_{\Sigma} = \sqrt{2002,11^2 + 2242,5^2} = 3053,72 \text{ кВА}.$$

Суммарное значение тока получаем путём деления итогового значения полной мощности на корень из трех и номинальное значение напряжения на шинах низкого напряжения трансформаторной подстанции:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_H}; \quad (21)$$
$$I_{\Sigma} = \frac{3053,72}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 4639,7 \text{ А}.$$

Выводы по разделу.

По методу коэффициента использования светового потока произведён расчёт системы освещения внутренних помещений производственного корпуса, показана методика выполнения ручных расчётов, а также использования программы Dialux Light в которой была произведена основная часть вычислений.

4 Расчёт числа и установленной мощности трансформаторов на ТП

Поскольку среди производственных электроприемников большую долю составляют электроприемники второй категории и имеются отдельные электроприемники и системы, отнесенные к первой категории, то выбираем для установки на подстанции предприятия два трансформатора, получающих питание от различных секций главной понизительной подстанции [14, 15]:

$$S_{H.T.} \geq \frac{P_{p\Sigma}}{K_3 \cdot N_T}; \quad (22)$$

где « K_3 - коэффициент загрузки,

$P_{p\Sigma}$ - суммарная расчетная нагрузка;

N_T - число трансформаторов на ТП» [15];

$$S_{H.T.} \geq \frac{2002,1}{0,8 \cdot 2} = 1251,32 \text{ кВА}$$

По полученному расчетному значению принимаем к установке следующую по шкале номинальных стандартно выпускаемых мощностей сухих силовых трансформаторов ТСЗ - S_n – 1600 кВА. На сайте производителя указаны следующие краткие характеристики выбранного трансформатора: величина потерь активной мощности при работе трансформатора на холостом ходу P_{xx} составляет 3,2 кВт, величина потерь активной мощности при работе трансформатора в режиме короткого замыкания $P_{кз}$ составляет 12,8 кВт, значение напряжения короткого замыкания $U_{кз}$ равно 6%, протекающий через трансформатор ток в режиме без нагрузки i_0 составляет 0,7%.

В таблице 3 представлены результаты распределения нагрузок от силовых электроприемников корпуса по секциям сборных шин трансформаторной подстанции с максимально возможной равномерностью.

Таблица 3 – Результаты распределения нагрузок от силовых электроприемников корпуса по секциям сборных шин трансформаторной подстанции с максимально возможной равномерностью

№ распределительного шинопровода или пункта	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{кВар}$	$S_p, \text{кВА}$	$I_p, \text{А}$
Первая секция сборных шин ТП				
1	347,3	352,4	497,6	755,9
2	222,9	306,7	380,9	578,7
3	98,7	47,4	109,5	166,4
4	174,7	268	320,8	487,4
5	114	93,1	147,2	223,6
6	60,4	48,1	77,4	117,6
Итого по первой секции	1018,1	1115,7	1533,4	2329,7
Вторая секция сборных шин ТП				
7	81,7	39,2	90,6	137,7
8	224,6	381,7	443,9	674,5
9	219,8	301	376,2	571,5
10	281,8	277,3	397,1	603,4
11	69,5	61,2	92,6	140,7
12	106,6	90,6	139,8	212,5
Итого по второй секции	984	1150,9	1540,3	2340,2

Суммарная величина потерь мощности в трансформаторе при его работе определяется с учетом коэффициента загрузки в нормальном режиме работы:

$$\Delta P_T = P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}; \quad (23)$$

$$\Delta P_T = (3,2 + 0,8^2 \cdot 12,8) = 11,39 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = (i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_H}{100}, \quad (24)$$

$$\Delta Q_T = (0,7 + 0,8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1600}{100} = 72,64 \text{ квар.}$$

Определяем значение мощности на стороне высокого напряжения трансформатора №1 подстанции с учетом величины потерь в нем:

$$P_{P1} = P_{P\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma}; \quad (25)$$

$$P_{P1} = 1018,07 + 11,39 = 1029,46 \text{ кВт};$$

$$Q_{P1} = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma}; \quad (26)$$

$$Q_{P1} = 115,68 + 72,64 = 1188,32 \text{ квар.}$$

Определяем значение мощности на стороне высокого напряжения трансформатора №2 подстанции с учетом величины потерь в нем:

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

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

Находим величину реактивной мощности, которую необходимо скомпенсировать на первом трансформаторе исходя из первого условия компенсации реактивной мощности:

$$Q_{K\text{Умп}1} = Q_P - Q_1 \quad (27)$$

$$Q_{\text{ку.мп}1} = 1188,32 - 760,66 = 427,66 \text{ квар}$$

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_{н.м.})^2 - P_P^2} \quad (28)$$

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

Находим величину реактивной мощности, которую необходимо скомпенсировать на первом трансформаторе исходя из второго условия компенсации реактивной мощности:

$$Q_{K\text{Умп}2} = Q_P - Q_{\text{э}}, \quad (29)$$

где « $Q_{\text{э}}$ – часть реактивной мощности, потребляемой в часы максимальных нагрузок энергосистемы данной ТП, квар» [16];

$$Q_{\text{ку.мп}2} = 1188,32 - 205,89 = 982,43 \text{ квар}$$

$$Q_{\text{э}} = \text{tg} \phi_{\text{э}} \cdot P_P, \quad (30)$$

где « $tg\phi_3$ - эффективное значение коэффициента мощности» [16];

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

Сопоставляя два полученных расчетных значения, выбираем наибольшее из них для последующих вычислений.

Для компенсации расчетного значения реактивной мощности выбираем для установки на стороне низкого напряжения 1го трансформатора одну конденсаторную установку КРМ-0,4-800-4УЗ с величиной мощности компенсации 800 квар.

Для второго трансформатора расчеты по определению мощности компенсирующих устройств производим аналогично:

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

$$Q_{\text{ку.тп1}} = 1223,53 - 804,69 = 418,85 \text{ квар}$$

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

$$Q_{\text{ку.тп2}} = 1223,53 - 199,08 = 1024,46 \text{ квар}$$

Для компенсации расчетного значения реактивной мощности выбираем для установки на стороне низкого напряжения 2го трансформатора две конденсаторные установки КРМ-0,4-600-4УЗ и КРМ-0,4-450-4УЗ с величиной мощности компенсации 600 и 450 квар соответственно.

Выводы. Выполнены расчёты по определению количества и номинальной мощности силовых трансформаторов на цеховой подстанции, выбрано два силовых трансформатора с номинальной мощностью по 1600 кВА каждый. На стороне низкого напряжения первого трансформатора к установке принята конденсаторная установка мощностью 800 квар, а на стороне низкого напряжения 2 трансформатора к сборным шинам подключается две конденсаторные установки мощностью 600 и 450 квар.

5 Выбор коммутационно-защитных аппаратов и проводников для групповых линий и к отдельным электроприемникам

Для преобразования напряжения с 10 кВ на напряжение питания электроприемников 0,4 кВ выбираем промышленную трансформаторную подстанцию 2КТП-СЭЩ-П-1600/10/0,4-0,3-УЗ выпускаемую ОАО «Электроцит».

Расчётное значение тока для групповых линий определяется по следующей формуле:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (31)$$

Для линий к отдельным электроприемникам выбираем кабель типа АВВГнг.

При известных значениях номинальной активной мощности и коэффициента мощности для каждого отдельного электроприемника находим значение номинального тока:

$$I_p = \frac{\sqrt{P_H^2 + (P_H \cdot \operatorname{tg} \phi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad (32)$$

Поскольку в сетях напряжением до 1000 В выбор проводников осуществляется по нагреву, то основным условием выбора сечения проводника является:

$$I_p \leq I_{\text{дон}},$$

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

0,92 – поправочный коэффициент для четырехжильного кабеля» [16].

$$I_p \leq I_{дон} \cdot 0,92, \quad (33)$$

В таблицу 4 сводим результаты определения расчетных значений токов для групповых линий, выбранные сечения проводников и длительно допустимые токи для них. Для прокладки групповых линий к распределительным пунктам и к распределительным шинопроводам выбираем кабель марки АВВГнг.

Таблица 4 – Результаты определения расчетных значений токов для групповых линий, выбранные сечения проводников и длительно допустимые токи для них

№ распределительного пункта или шинопровода	I_p, A	$I_{дон}, A$	$0,92 \cdot I_{дон}, A$	Количество жил и их сечение
РП №1	206,82	235,1	216,3	3×150 + 1×120
РП №2	206,82	235,1	216,3	3×150 + 1×120
РП №3	223,63	270,1	248,5	3×185 + 1×150
РП №4	212,47	235,1	216,3	3×150 + 1×120
РП №5	111,27	140,2	128,9	3×70 + 1×50
РП №6	35,25	42,1	38,65	4 × 10
РП №7	63,85	75,3	69,1	3×25 + 1×16
РП №8	53,79	60,2	55,3	4 × 16
Шинопровод распределительный №1-1	128,28	140	128,9	3×70+ 1×50
Шинопровод распределительный №8-1	479,04	499	459,2	3×240+ 1×185*
Шинопровод распределительный №8-2	195,45	235	216,2	3×150+ 1×120
Шинопровод распределительный №2-1	100,28	140	128,8	3×70+ 1×50

Продолжение таблицы 4

№ распределительного пункта или шинопровода	I_p, A	$I_{дон}, A$	$0,92 \cdot I_{дон}, A$	Количество жил и их сечение
Шинопровод распределительный №2-2	190,82	235	216,2	3×150+ 1×120
Шинопровод распределительный №2-3	171,62	200	184	3×120+ 1×95
Шинопровод распределительный №2-4	115,99	140	128,8	3×70+ 1×50
Шинопровод распределительный №9-1	172,09	200	184	3×120+ 1×95
Шинопровод распределительный №10-2	131,40	170	156,4	3×95+ 1×70
Шинопровод распределительный №4-1	189,47	235	216,2	3×150 + 1×120
Шинопровод распределительный №4-2	132,77	170	156,4	3×95+ 1×70
Шинопровод распределительный №4-3	165,15	200	184	3×120+ 1×95
Шинопровод распределительный №11-1	140,65	170	156,4	3×95+ 1×70
Шинопровод распределительный №9-2	288,18	321	295,3	3×120+ 1×95*

* Для данных линий выбираем кабель типа ВВГнг виду слишком больших расчётных токов

Для отдельных питающих линий при большой величине тока выбираем сдвоенный питающий кабель:

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

Так, для распределительного шинопровода №1-2 с величиной

расчётного тока 627,28 А:

$$(627,28 / 2) \leq 0,92 \cdot 370 \cdot 1,$$

$$313,64 \leq 340,4.$$

По величине расчётного тока выбираем два кабеля ВВГнг–3×150+1×120.

А для распределительного шинопровода №10-1 с величиной расчётного тока 471,96 А:

$$(471,96 / 2) \leq 0,92 \cdot 274 \cdot 1,$$

$$235,98 \leq 252,08.$$

По величине расчётного тока выбираем два кабеля ВВГнг–3×95+1×70.

В таблицу 5 заносим результаты выбора кабельных линий к отдельным электроприемникам, при доступности данных только для 3х жильных кабелей их длительно допустимые токи пересчитывая в токи для 4х жильных кабелей с учетом поправочного коэффициента $I_p \leq I_{дон} \cdot 0,92$.

Таблица 5 – Результаты выбора кабельных линий ВВГнг к отдельным ЭП

Номер на генплане	Технологический электроприемник	I_p, A	$I_{дон}, A$	$0,92 \cdot I_{дон}, A$	Количество жил и их сечение
1 - 58	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	34	37	34,04	4×4
59, 60	Сварочный аппарат для ручной дуговой сварки (ММА)	44,6	49	45,08	4×10
61 - 92	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-10	91,3	115	105,8	4×25
93 - 100	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-20	183	226,1	208,1	3×70+1×50
101, 102	Пресс гидравлический на 30 тонн с ножным приводом, SD0824	11	21	19,32	4×1,5
103 - 108	Промышленный робот для сварки серии RH08A5 GSK	38	49	45,08	4×10

Продолжение таблицы 5

Номер на генплане	Технологический электроприемник	I_p, A	I_{don}, A	$0,92 \cdot I_{don}, A$	Количество жил и их сечение
109	Сварочная установка "Тройной газ" RE17 AMS 5/10 35403 ROTHENBERGER	141	177	162,8	3×50+1×35
110, 111	Сварочная машина с шестью головками с компьютерным управлением Q6 - Soenen Hendrik	334	370	340,4	3×150+1×120
112 - 127	Установка для сварки шаровых кранов DN 700-1400	38	49	45,08	4×10
128, 129	Диагностическая линия VTEQ-3000-40 - Гардиа	20,8	28	25,76	4×2,5
130	Сварочный агрегат Уралтермосвар АДЦ-4004М	35,3	49	45,08	4×10
131, 132	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	73	87	80,04	4×16
133 - 144	Установка для сварки в углекислом газе ДельтаСвар	31,9	37	34,04	4×4
145 - 167	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом SQT-7	28,9	37	34,04	4×4
168 - 176	Портально-сварочная установка МН-1800	45,6	66	60,73	4×10
177 - 190	Подзарядные устройства	15,6	21	19,33	4×1,5
191	Привод распашных ворот twist 200 E	1,12	21	19,33	4×1,5
192	Вентиляционный агрегат	19,7	28	25,76	4×2,5
193 - 196	Вентиляционный агрегат	143	177	162,8	3×50+1×35
197 - 200	Универсальный токарный станок PROMA SPB-550/400	3,8	21	19,32	4×1,5
201	Сварочный комплекс Горизонт-2	19,8	28	25,76	4×2,5
202, 203	Транспортер ленточный ТЛ 300	4,46	21	19,33	4×1,5
204 - 208	Вентиляционный агрегат	4,18	21	19,33	4×1,5
209 - 217		2,85	21	19,33	4×1,5
218 - 251		2,09	21	19,33	4×1,5
252		14,3	21	19,33	4×1,5
253 - 262	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	33,91	37	34,05	4×4
263 - 268	Диагностическая линия VTEQ-3000-40	20,75	28	25,77	4×2,5
269, 270	Пресс гидравлический на 30 тонн с ножным приводом, SD0824	14,97	21	19,33	4×1,5
271 - 276	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	48,58	66	60,73	4×10

Продолжение таблицы 5

Номер на генплане	Технологический электроприемник	I_p, A	$I_{доп}, A$	$0,92 \cdot I_{доп}, A$	Количество жил и их сечение
277, 278	Тельфер электрический TF-500	1,11	21	19,32	4×1,5
279	Сварочная установка "Тройной газ" RE17 AMS 5/10 35403 ROTHENBERGER	141,2	177	162,8	3×50+1×35
280, 281	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	213,4	274	252,2	3×95+1×70
282, 283	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-10	91,12	115	105,8	4×25
284, 285	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	28,85	37	34,05	4×4
286 - 289	Привод распашных ворот twist 200 E	1,11	21	19,32	4×1,5
290, 291	Вентиляционный агрегат НОВА 1-7-3	41,8	49	45,09	4×10
292 - 295		10,45	21	19,33	4×1,5
296, 297	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3-3	57,0	66	60,73	4×10
298, 299	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3-1	19,66	28	25,77	4×2,5
300 - 304	Привод распашных ворот twist 200 E	1,113	21	19,33	4×1,5
305 - 309	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3-1	19,66	28	25,77	4×2,5
310	Разрезной станок для разборных моделей TR.87.00. Омес	15,2	21	19,33	4×1,5
311	Гильотина гидравлическая по металлу НГ12Г.01	11,4	21	19,33	4×1,5
312	Опτικο-волоконная установка лазерной резки Mitsubishi ML3015GX-F100	57,0	66	60,72	4×10
313	Шлифовальная установка 3791M	3,8	21	19,32	4×1,5
314	Переносной сварочный аппарат FoxWeld Master 202	19,7	28	25,76	4×2,5
315, 316	Тельфер Denzel TF-500	1,113	21	19,32	4×1,5
317 - 326	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3-0,1	2,089	21	19,32	4×1,5
327 - 330	ЭП кабинета охранников	4,213	21	19,32	4×1,5

В таблицу 6 заносим результаты выбора шинопроводов, для выбора шинопроводов используем тоже условие, что номинальный ток выбираемого шинопровода должен быть больше расчётного тока в линии. Все

шинопроводы выбираем типа ШРА4, кроме шинопроводов №1 и №8, для них выбираем шинопровод ШМА4.

Таблица 6 – Расчётные значения токов и номинальные токи выбранных распределительных и магистральных шинопроводов

№ шинопровода	I_p, A	I_n, A	Тип шинопровода
Шинопровод распределительный №1-1	128,27	250	250-32
Шинопровод распределительный №1-2	627,28	630	630-32
Шинопровод распределительный №8-1	479,03	630	630-32
Шинопровод распределительный №8-2	195,45	250	250-32
Шинопровод распределительный №2-1	100,28	250	250-32
Шинопровод распределительный №2-2	190,82	250	250-32
Шинопровод распределительный №2-3	171,62	250	250-32
Шинопровод распределительный №2-4	115,99	250	250-32
Шинопровод распределительный №9-1	172,09	250	250-32
Шинопровод распределительный №9-2	288,18	400	400-32
Шинопровод распределительный №10-1	471,96	630	630-32
Шинопровод распределительный №10-2	131,40	250	250-32
Шинопровод распределительный №4-1	189,47	250	250-32
Шинопровод распределительный №4-2	132,77	250	250-32
Шинопровод распределительный №4-3	165,15	250	250-32
Шинопровод распределительный №11-1	140,65	250	250-32
Шинопровод магистральный №1	75594	1250	1250-44
Шинопровод магистральный №8	674,47	1250	1250-44
Шинопровод магистральный №2	578,71	630	630-32
Шинопровод магистральный №9	57,5	630	630-32
Шинопровод магистральный №10	603,35	630	630-32
Шинопровод магистральный №4	487,40	630	630-32

При выборе тока расцепителя и номинального тока автоматического выключателя опираемся на полученные расчётные значения, таким образом ток расцепителя выбираемого автоматического выключателя должен быть ближайшим большим расчётного значения тока в линии. Автоматические

выключатели принимаем типа ВА-СЭЩ производства Самарского завода Электрощит. На отходящие линии к магистральным шинопроводам от трансформаторной подстанции устанавливаем либо шинные трансформаторы тока ТШЛ-0,66, либо опорные ТОП-0,66 в зависимости от протекающих через них номинальных токов. В таблице 7 представлены результаты выбора автоматических выключателей, установленных для защиты отходящих линий к магистральным шинопроводам от подстанции.

Таблица 7 – Результаты выбора автоматов, установленных для защиты отходящих линий к магистральным шинопроводам от подстанции

Ячейка	I_p, A	Тип автомата и токи		Измерительный ТТ
		I_n, A	$I_{нт}, A$	
Ввод	4669,86	<i>AH – 50 G</i>		5000/5
		5000	5000	
№1	755,94	<i>BTS800</i>		800/5
		800	800	
№8	674,47	<i>BTS800</i>		800/5
		800	800	
№3	166,37	<i>BTS160</i>		150/5
		160	125	
№2	578,717	<i>BTS630</i>		600/5
		630	600	
№9	571,53	<i>BTS630</i>		600/5
		630	600	
№10	603,353	<i>BTS630</i>		800/5
		630	630	
№4	487,406	<i>BTS630</i>		600/5
		630	500	
№11	140,66	<i>BTS160</i>		150/5
		160	150	
№12	212,46	<i>BTS250</i>		300/5
		250	250	

Продолжение таблицы 7

Ячейка	I_p, A	Тип автомата и токи		Измерительный ТТ
		I_n, A	$I_{нт}, A$	
№5	223,62	BTS250		300/5
		250	250	
№7	137,7	BTS160		150/5
		160	150	
№6	117,62	BTS160		150/5
		160	125	
Между секциями	2192,8	АН 25Е		2500/5
		2500	2500	

В таблице 8 приведены результаты выбора автоматических выключателей, устанавливаемых в ответвительных коробках на магистральных шинопроводах для защиты линий к распределительным пунктам и распределительным шинопроводам.

Таблица 8 – Результаты выбора автоматических выключателей, устанавливаемых в ответвительных коробках на магистральных шинопроводах для защиты линий к распределительным пунктам и распределительным шинопроводам

Линия к	I_p, A	Автомат серии	
		I_n, A	$I_{нт}, A$
Распределительному пункту 1	206,81	51-35	
		250	250
Распределительному пункту 2	206,81	51-35	
		250	250
Распределительному пункту 3	223,62	51-35	
		250	250
Распределительному пункту 4	212,46	51-35	
		250	250
Распределительному пункту 5	111,26	51-33	
		160	125
Распределительному пункту 6	35,24	51-29	
		63	40

Продолжение таблицы 8

Линия к	I_p, A	Автомат серии	
		I_n, A	$I_{нт}, A$
Распределительному пункту 7	63,84	51-31	
		100	80
Распределительному пункту 8	53,78	51-29	
		63	63
Распределительному шинопроводу №1-1	128,27	51-33	
		160	160
Распределительному шинопроводу №1-2	627,68	51-39	
		630	630
Распределительному шинопроводу №8-1	479,03	51-39	
		630	500
Распределительному шинопроводу №8-2	195,45	51-35	
		250	200
Распределительному шинопроводу №2-1	100,28	51-33	
		160	125
Распределительному шинопроводу №2-2	190,82	51-35	
		250	200
Распределительному шинопроводу №2-3	171,62	51-35	
		250	200
Распределительному шинопроводу №2-4	115,99	51-33	
		160	125
Распределительному шинопроводу №9-1	172,09	51-35	
		250	200
Распределительному шинопроводу №9-2	288,18	51-37	
		400	320
Распределительному шинопроводу №10-1	471,96	51-39	
		630	500
Распределительному шинопроводу №10-2	131,40	51-33	
		160	160
Распределительному шинопроводу №4-1	189,47	51-35	
		250	200
Распределительному шинопроводу №4-2	132,77	51-33	
		160	160
Распределительному шинопроводу №4-3	165,15	51-35	
		250	200
Распределительному шинопроводу №11-1	140,65	51-33	
		160	160

В таблицу 9 заносятся результаты выбора автоматических выключателей для защиты линий, отходящих от распредпунктов или распределительных шин к отдельным электроприемникам.

Таблица 9 – Результаты выбора автоматических выключателей ВА для защиты линий, отходящих от распредпунктов или распределительных шин к отдельным электроприемникам

Номер на генплане	Линия к	I_p, A	Автомат серии	
			I_n, A	I_{nt}, A
1 - 58	Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	34	51-29	
			63	40
59, 60	Сварочный аппарат для ручной дуговой сварки (ММА)	44,6	51-29	
			63	50
61 - 92	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-10	91,3	51-31	
			100	100
93 - 100	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-20	183	51-35	
			250	200
101, 102	Пресс гидравлический на 30 тонн с ножным приводом, SD0824	11	51-25	
			25	12,5
103 - 108	Промышленный робот для сварки серии RH08A5 GSK	38	51-29	
			63	63
109	Сварочная установка "Тройной газ" RE17 AMS 5/10 35403 ROTHENBERGER	141	51-33	
			160	160
110, 111	Сварочная машина с шестью головками с компьютерным управлением Q6 - Soenen Hendrik	334	TS400	
			400	400
112 - 127	Установка для сварки шаровых кранов DN 700-1400	38	51-29	
			63	40
128, 129	Диагностическая линия VTEQ-3000-40 - Гардиа	20,8	51-25	
			25	25
130	Сварочный агрегат Уралтермосвар АДД-4004М	35,3	51-29	
			63	40
131, 132	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	73	51-31	
			100	80
133 - 144	Установка для сварки в углекислом газе ДельтаСвар	31,9	51-29	
			63	40
145 - 167	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом SQT-7	28,9	51-29	
			63	31,5

Продолжение таблицы 9

Номер на генплане	Линия к	<i>I_p, А</i>	Автомат серии		
			<i>I_n, А</i>	<i>I_{нт}, А</i>	
168 - 176	Портально-сварочная установка МН-1800	45,6	51-29		
			63	50	
177 - 190	Подзарядные устройства	15,6	51-25		
			25	20	
191	Привод распашных ворот twist 200 E	1,12	51-25		
			25	6,3	
192	Вентиляционный агрегат	19,7	51-25		
			25	25	
193 - 196	Вентиляционный агрегат	143	51-33		
			160	160	
197 - 200	Универсальный токарный станок PROMA SPB-550/400	3,8	51-25		
			25	6,3	
201	Сварочный комплекс Горизонт-2	19,8	51-25		
			25	25	
202, 203	Транспортер ленточный ТЛ 300	4,46	51-25		
			25	6,3	
204 - 208	Вентиляционный агрегат	4,18	51-25		
			25	6,3	
209 - 217		2,85	51-25		
			25	6,3	
218 - 251		2,09	51-25		
			25	6,3	
252		14,3	51-25		
			25	16	
253 - 262		Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	33,91	51-29	
				63	40
263 - 268		Диагностическая линия VTEQ-3000-40	20,75	51-25	
				25	25
269, 270		Пресс гидравлический на 30 тонн с ножным приводом, SD0824	14,97	51-25	
				25	16
271 - 276		Промышленный робот для сварки серии RH06A3 GSK	48,58	51-29	
				63	50
277, 278		Тельфер электрический TF-500	1,11	51-25	
				25	6,3
279	Сварочная установка "Тройной газ" RE17 AMS 5/10 35403 ROTHENBERGER	141,2	51-33		
			160	160	

Продолжение таблицы 9

Номер на генплане	Линия к	I_p, A	Автомат серии	
			I_n, A	$I_{нт}, A$
280, 281	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	213,4	51-35	
			250	250
282, 283	Машина контактной точечной сварки ТСС МТР-10	91,12	51-31	
			100	100
284, 285	Установка аргонодуговой сварки неплавящимся вольфрамовым электродом	28,85	51-29	
			63	31,5
286 - 289	Привод распашных ворот twist 200 E	1,11	51-25	
			25	6,3
290, 291	Вентиляционный агрегат НОВА 1-7-3	41,8	51-29	
			63	50
292 - 295		10,45	51-25	
			25	16
296, 297	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3-3	57,0	51-29	
			63	63
298, 299	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3-1	19,66	51-25	
			25	25
300 - 304	Привод распашных ворот twist 200 E	1,11	51-25	
			25	6,3
305 - 309	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3-1	19,66	51-25	
			25	25
310	Разрезной станок для разборных моделей TR.87.00. Омес	15,2	51-25	
			25	20
311	Гильотина гидравлическая по металлу НГ12Г.01	11,4	51-25	
			25	16
312	Опτικο-волоконная установка лазерной резки Mitsubishi ML3015GX-F100	57,0	51-29	
			63	63
313	Шлифовальная установка 3791M	3,8	51-25	
			25	6,3
314	Переносной сварочный аппарат FoxWeld Master 202	19,7	51-25	
			25	25
315, 316	Тельфер Denzel TF-500	1,113	51-25	
			25	6,3
317 - 326	Вентиляционный агрегат НОВА 2-3-0,1	2,089	51-25	
			25	6,3
327 - 330	ЭП кабинета охранников	4,213	51-25	
			25	6,3

Выводы по разделу.

Для преобразования напряжения с 10 кВ на напряжение питания электроприемников 0,4 кВ выбрана промышленная трансформаторная подстанция 2КТП-СЭЩ-П-1600/10/0,4-0,3-УЗ, выпускаемая ОАО «Электрощит».

Определены номинальные токи линий к отдельным электроприемникам и расчётные значения токов в линиях к распределительным пунктам и распределительным шинопроводам, выбран тип используемых во внутрицеховых сетях кабелей, определено количество жил и сечение. Выбранные проводники проверены на не превышение длительно допустимых токов. Расчёты проводились как для групповых линий, так и для линий к отдельным электроприемникам. Автоматические выключатели принимаем типа ВА-СЭЩ производства Самарского завода Электрощит. Определены номинальные значения токов и токов расцепителей для автоматических выключателей, устанавливаемых на трансформаторной подстанции для защиты групповых отходящих линий и устанавливаемых в распредпунктах и ответвительных коробках шинопроводов для защиты линий к отдельным электроприемникам.

6 Расчёт значений токов коротких замыканий в различных узлах схемы

Для последующей проверки выбранных ранее автоматических выключателей определяем точки в узлах системы внутрицехового электроснабжения, в которых токи короткого замыкания будут иметь максимальное значение на каждом уровне распределения электрической энергии. Составляем электрическую схему выбранного участка сети (приведена на рисунке 1) и её схему замещения, в которой все реальные элементы представляем в виде собственных активных и индуктивных сопротивлений (приведена на рисунке 2).

6.1 Расчёт внутренних сопротивлений элементов, представленных на схеме замещения

Определение активного и индуктивного внутренних сопротивлений, выбранного для установки на цеховой трансформаторной подстанции силового трансформатора мощностью 1600 кВА [17, 18]:

$$\begin{aligned} S_n &= 1600 \text{ кВА}; \\ U_{H BH} &= 10 \text{ кВ}; \quad U_{H HH} = 0,4 \text{ кВ}; \\ U_K &= 6 \%; \\ R_T &= \frac{P_{кз} \cdot U_{H.HH}^2}{S_n^2} \cdot 10^6; \end{aligned} \quad (34)$$

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{12,8 \cdot 0,4^2}{1600^2} 10^6 = 0,8 \text{ МОм}; \\ Z_T &= \frac{U_K \cdot U_{H.HH}^2}{S_n} \cdot 10^4; \end{aligned} \quad (35)$$

$$Z_T = \frac{6 \cdot 0,4^2}{1600} 10^4 = 6 \text{ МОм};$$

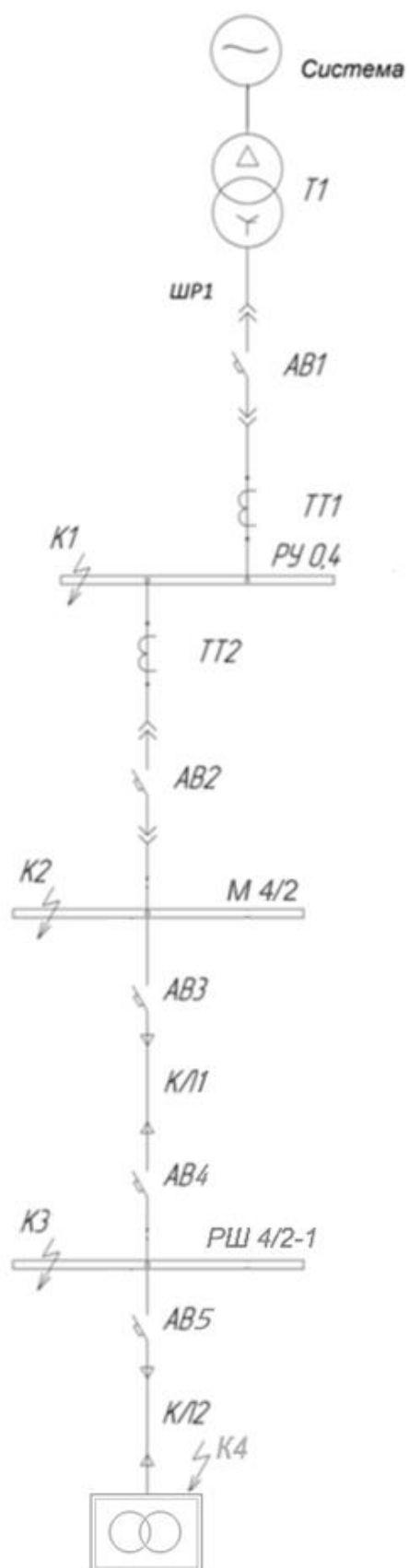


Рисунок 1 – Электрическая схема выбранного участка сети

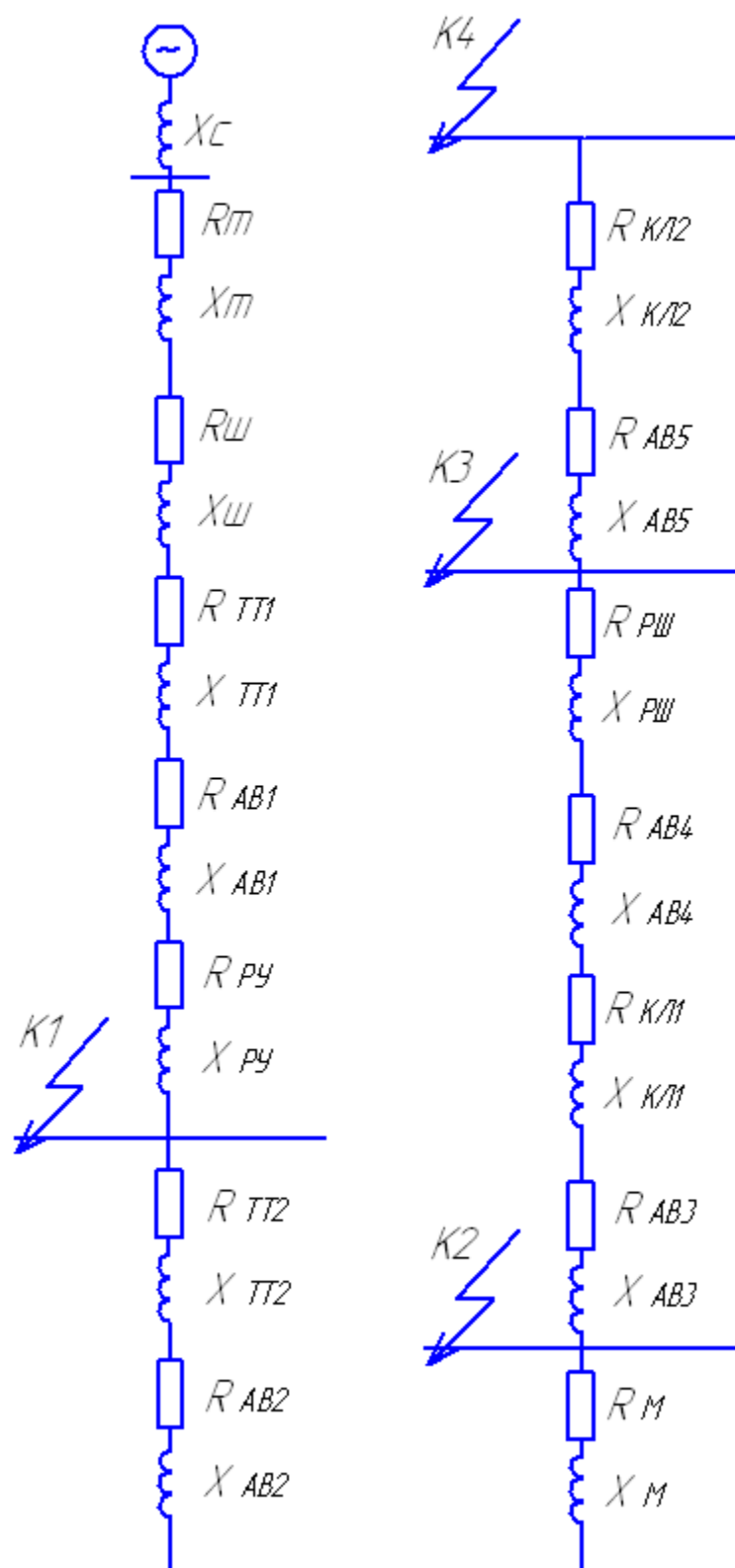


Рисунок 2 – Схема замещения, в которой все реальные элементы представлены в виде собственных активных и индуктивных сопротивлений

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

Определяем сопротивление участка шин от силового трансформатора подстанции до вводного выключателя:

$$R_{III} = 0,009 \text{ мОм};$$

$$X_{III} = 0,004 \text{ мОм}.$$

Внутренние сопротивления измерительного трансформатора тока, устанавливаемого в вводной ячейке:

$$\text{ТШЛ-0,66-5000/5}$$

$$R_{TT1} = 0,001 \text{ мОм};$$

$$X_{TT1} = 0,001 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель, устанавливаемый в вводной ячейке:

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

$$R_{AB1} = 0,13 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0,07 \text{ мОм}.$$

Сопротивление участка сборных шин распреустройства низкого напряжения, по которому протекает ток короткого замыкания:

$$R_{PY} = 0,009 \text{ мОм};$$

$$X_{PY} = 0,004 \text{ мОм}.$$

Внутренние сопротивления измерительного трансформатора тока, устанавливаемого в ячейке к отходящей линии:

$$\text{ТТОШТ-0,66-1000 УЗ}$$

$$R_{TT2} = 0,02 \text{ мОм};$$

$$X_{TT2} = 0,03 \text{ мОм}.$$

Активное индуктивное сопротивление контактов автоматического выключателя, устанавливаемого в ячейке к отходящей линии:

$$\text{ВА-СЭЩ BTS800, } I_H = 800 \text{ А};$$

$$R_{AB2} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$X_{AB2} = 0,1 \text{ мОм}.$$

Погонные активное и индуктивное сопротивления и общее сопротивление расчётного участка магистрального шинпровода №8:

$$\text{ШМА4-1250-44-1У3, } l = 20 \text{ м};$$

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

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

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

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

Активное индуктивное сопротивление контактов автоматического выключателя, устанавливаемого в ответвительной коробке магистрального шинпровода к распределительному шинпроводу:

$$\text{ВА-СЭЩ BTS630, } I_H = 630 \text{ А};$$

$$R_{AB3} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{AB3} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Погонные активное и индуктивное сопротивления и общее значение

сопротивления участка кабельной линии от магистрального шинопровода до распределительного шинопровода:

$$\text{ВВГ} - 3 \times 240 + 1 \times 185;$$

$$l = 6 \text{ м};$$

$$R_{y\text{д}} = 0,09 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$X_{y\text{д}} = 0,03 \text{ мОм} / \text{м};$$

$$R_{\text{кл1}} = 6 \cdot 0,09 = 0,54 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кл1}} = 6 \cdot 0,03 = 0,18 \text{ мОм}.$$

Активное индуктивное сопротивление контактов автоматического выключателя, устанавливаемого для защиты распределительного шинопровода:

$$\text{ВА-СЭЩ BTS630}, I_H = 630 \text{ А};$$

$$R_{\text{AB4}} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{AB4}} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Погонные активное и индуктивное сопротивления и общее сопротивление расчётного участка распределительного шинопровода №8-1:

$$\text{ШРА4-630-32-1У3}, l = 18 \text{ м};$$

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

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

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

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

Активное индуктивное сопротивление контактов автоматического выключателя, устанавливаемого в ответвительной коробке

распределительного шинопровода к электрориемнику:

$$\text{BA-CЭЩ BTS400, } I_H = 400 \text{ A};$$

$$R_{AB5} = 0,65 \text{ мОм};$$

$$X_{AB5} = 0,17 \text{ мОм}.$$

Погонные активное и индуктивное сопротивления и общее значение сопротивления участка кабельной линии от распределительного шинопровода до электроприемника:

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

$$R_{уд} = 0,15 \text{ мОм / м};$$

$$X_{уд} = 0,033 \text{ мОм / м};$$

$$R_{KL2} = 5 \cdot 0,15 = 0,75 \text{ мОм};$$

$$X_{KL4} = 5 \cdot 0,033 = 0,165 \text{ мОм}.$$

Определяем значение индуктивного сопротивления внешней системы:

$$X_c = \frac{U_B}{S_{кз.сис}} \cdot 10^3; \quad (36)$$

где « U_B - базисное напряжение;

$S_{кз.сис}$ - мощность КЗ со стороны системы» [3];

$$X_c = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм};$$

Далее произведем расчет токов КЗ.

6.2 Определение токов коротких замыканий в намеченных расчётных точках

Находим значения трёхфазного тока короткого замыкания в первой расчётной точке.

«Найдем ток трехфазного металлического короткого замыкания» [3]:

$$I_{\text{км}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad (37)$$

где « Z_{Σ} - суммарное значение полного сопротивления до точки КЗ» [3]

«Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания» [3]:

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

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

«Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания» [3]:

$$Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2}; \quad (38)$$

$$Z_{\Sigma R1} = 7,69 \text{ мОм}.$$

«Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания» [3]:

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

По справочным кривым в зависимости от полного сопротивления участка цепи до точки короткого замыкания, определяем снижающие коэффициенты для нахождения тока дугового короткого замыкания в начальный момент времени и в последующие промежутки:

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

Находим значение тока дугового короткого замыкания путём умножения тока металлического короткого замыкания на снижающий коэффициент, соответствующий выбранному моменту времени:

$$I_{\kappa\partial}^{(3)} = I_{\kappa\mu}^{(3)} \cdot K_c; \quad (39)$$

$$I_{\kappa\partial}^{(3)} = 28,57 \cdot 0,83 = 23,7 \text{ кА при } t_{\kappa\partial} \leq 0 \text{ с.};$$

$$I_{\kappa\partial}^{(3)} = 28,57 \cdot 0,74 = 21,14 \text{ кА при } t_{\kappa\partial} \geq 0,05 \text{ с.}$$

Мгновенное значение ударного тока короткого замыкания находим путём умножения металлического тока КЗ на ударный коэффициент и на корень из 2:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{\kappa\partial}; \quad (40)$$

Исходя из соотношения суммарного индуктивного сопротивления до точки короткого замыкания к суммарному активному сопротивлению

$$\frac{X_\Sigma}{R_\Sigma} = \frac{7,629}{0,949} = 8,03, \text{ находим по справочному графику значение ударного}$$

коэффициента $\kappa_y = 1,7$:

$$i_{y\kappa1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 28,57 = 68,5 \text{ кА.}$$

Находим значения трёхфазного тока короткого замыкания во второй

расчётной точке.

«Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания» [3]:

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

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

«Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания» [3]:

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

«Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания» [3]:

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

По справочным кривым в зависимости от полного сопротивления участка цепи до точки короткого замыкания, определяем снижающие коэффициенты для нахождения тока дугового короткого замыкания в начальный момент времени и в последующие промежутки:

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

Находим значение тока дугового короткого замыкания путём умножения тока металлического короткого замыкания на снижающий коэффициент, соответствующий выбранному моменту времени:

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

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

Исходя из соотношения суммарного индуктивного сопротивления до точки короткого замыкания к суммарному активному сопротивлению, находим по справочному графику значение ударного коэффициента:

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

Мгновенное значение ударного тока короткого замыкания находим путём умножения металлического тока КЗ на ударный коэффициент и на корень из 2:

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

Находим значения трёхфазного тока короткого замыкания в третьей расчётной точке.

«Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания» [3]:

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

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

«Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания» [3]:

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

«Определим значение тока трехфазного металлического короткого замыкания» [3]:

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

По справочным кривым в зависимости от полного сопротивления участка цепи до точки короткого замыкания, определяем снижающие коэффициенты для нахождения тока дугового короткого замыкания в начальный момент времени и в последующие промежутки:

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

Находим значение тока дугового короткого замыкания путём умножения тока металлического короткого замыкания на снижающий коэффициент, соответствующий выбранному моменту времени:

$$I_{K\partial}^{(3)} = 18,3 \cdot 0,87 = 15,9 \text{ кА при } t_{K3} \leq 0 \text{ с.};$$

$$I_{K\partial}^{(3)} = 18,3 \cdot 0,76 = 13,9 \text{ кА при } t_{K3} \geq 0,05 \text{ с.}$$

Исходя из соотношения суммарного индуктивного сопротивления до точки короткого замыкания к суммарному активному сопротивлению, находим по справочному графику значение ударного коэффициента:

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

Мгновенное значение ударного тока короткого замыкания находим путём умножения металлического тока КЗ на ударный коэффициент и на корень из 2:

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

Находим значения трёхфазного тока короткого замыкания в четвертой расчётной точке.

«Определим суммарное значение активного и реактивного сопротивлений до точки короткого замыкания» [3]:

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

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

«Найдем значение полного суммарного сопротивления до точки короткого замыкания» [3]:

$$Z_{\Sigma K4} = \sqrt{R_{\Sigma K4}^2 + X_{\Sigma K4}^2} = 12,9 \text{ мОм};$$

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

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K4}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 11,6} = 16,9 \text{ кА};$$

По справочным кривым в зависимости от полного сопротивления участка цепи до точки короткого замыкания, определяем снижающие

коэффициенты для нахождения тока дугового короткого замыкания в начальный момент времени и в последующие промежутки:

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

Находим значение тока дугового короткого замыкания путём умножения тока металлического короткого замыкания на снижающий коэффициент, соответствующий выбранному моменту времени:

$$I_{\kappa\partial}^{(3)} = 16,9 \cdot 0,88 = 14,8 \text{ кА при } t_{\kappa\partial} \leq 0 \text{ с.};$$

$$I_{\kappa\partial}^{(3)} = 16,9 \cdot 0,78 = 13,2 \text{ кА при } t_{\kappa\partial} \geq 0,05 \text{ с.}$$

Исходя из соотношения суммарного индуктивного сопротивления до точки короткого замыкания к суммарному активному сопротивлению, находим по справочному графику значение ударного коэффициента:

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

Мгновенное значение ударного тока короткого замыкания находим путём умножения металлического тока КЗ на ударный коэффициент и на корень из 2:

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

Расчётные значения токов короткого замыкания, определённые в четырёх точках, используем для проверки коммутационной способности выбранных ранее автоматических выключателей.

6.3 Проверка коммутационная способность автоматических выключателей

Проверим выбранные коммутационные аппараты на способность выдержать электродинамическое воздействие ударного значения тока короткого замыкания.

Ток короткого замыкания, возникающего в первой расчётной точке будет протекать через 2 коммутационных аппарата, которыми являются ВА 75-47 и ВА-СЭЩ В TS800(H), с предельными значениями по электродинамической устойчивости, указанными в справочных данных заводами изготовителями 70 кА и 100 кА для каждого из них:

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

Максимальное значение ударного тока короткого замыкания не превышает предельного значения, установленного для выбранного выключателя, что подтверждает правильность сделанного выбора.

Ток короткого замыкания, возникающего во второй расчётной точке будет протекать через 2 коммутационных аппарата, которыми являются ВА-СЭЩ В TS800 и ВА-СЭЩ В TS630, с предельными значениями по электродинамической устойчивости, указанными в справочных данных заводами изготовителями 100 кА и 85 кА для каждого из них:

$$i_{yK2} = 52,3 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 100 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 85 \text{ кА}.$$

Максимальное значение ударного тока короткого замыкания не превышает предельного значения, установленного для выбранного выключателя, что подтверждает правильность сделанного выбора.

Ток короткого замыкания, возникающего в третьей расчётной точке будет протекать через 2 коммутационных аппарата, которыми являются ВА-СЭЩ В TS630 и ВА-СЭЩ В TS400, с предельными значениями по

электродинамической устойчивости, указанными в справочных данных заводами изготовителями 85 кА и 65 кА для каждого из них:

$$i_{yK3} = 30,9 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 85 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА}.$$

Максимальное значение ударного тока короткого замыкания не превышает предельного значения, установленного для выбранного выключателя, что подтверждает правильность сделанного выбора.

Ток короткого замыкания, возникающего в четвертой расчётной точке будет протекать через коммутационный аппарат, которым является ВА-СЭЩ В TS400, с предельным значением по электродинамической устойчивости, указанным в справочных данных заводом изготовителем 65 кА:

$$i_{yK4} = 30,9 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА}.$$

Максимальное значение ударного тока короткого замыкания не превышает предельного значения, установленного для выбранного выключателя, что подтверждает правильность сделанного выбора.

Выводы по разделу.

Составлена электрическая схема выбранного участка сети и её схема замещения, в которой все реальные элементы представлены в виде собственных активных и индуктивных сопротивлений.

Выполнены расчёты активных и индуктивных внутренних сопротивлений всех элементов, входящих в схему замещения.

В намеченных расчётных точках определены значения трехфазного металлического тока короткого замыкания, дугового тока КЗ в начальный момент времени и ударного значения тока короткого замыкания.

По найденным значениям ударных токов короткого замыкания проверены на электродинамическую устойчивость выбранные ранее автоматические выключатели, все выбранные коммутационные аппараты прошли проверку.

7 Расчёт системы заземления, установленной на трансформаторной подстанции

Исходными данными, необходимыми для расчёта системы заземления являются: длина стержней - $l = 5 \text{ м}$; диаметр - $d = 0,012 \text{ м}$; расстояние между смежными стержнями - $a = 10 \text{ м}$; нормируемое значение сопротивления - $R_z = 0,5 \text{ Ом}$; глубина заложения - $t = 0,7$; удельное сопротивление грунта в месте установки заземлителя по результатам геологических изысканий $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

«Расчетное сопротивление грунта» [20]:

$$\rho_{расч} = \rho_{гр} \cdot K_c; \quad (41)$$

где « $\rho_{гр}$ - удельное сопротивление грунта, Ом·м,
 $K_c = 1,25$ - коэффициент сезонности» [20].

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

«Определяем величину активного сопротивления для одного вертикального заземляющего устройства» [20]:

$$R_c = \frac{0,366 \cdot \rho_{расч}}{l} \cdot \left[\lg\left(\frac{2 \cdot l}{d}\right) + \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot t' + l}{4 \cdot t' - l}\right) \right], \quad (42)$$

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

$t_0 = 0,7$ - глубина заложения вершины вертикального заземлителя,
 l - длина стержня» [20].

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

«Число вертикальных заземлителей» [20]:

$$N_c = \frac{R_c}{R_3 \cdot n_c}, \quad (43)$$

где « $n_c = 0,78$ - коэффициент использования вертикальных заземлителей, расположенных по контуру» [20];

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

«Сопротивление соединительной полосы» [20]:

$$R_{II} = \frac{0,366 \cdot \rho_{\text{расч.г}}}{L} \cdot \lg \left(\frac{L^2}{b \cdot t} \right), \quad (44)$$

где « L - периметр ПС» [20];

$$R_{II} = \frac{0,366 \cdot 125}{48} \cdot \lg \left(\frac{48^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 4,7 \text{ Ом},$$

«Сопротивление контура заземления» [20]:

$$R_{ПК} = \frac{R_{II}}{n_{II}}, \quad (45)$$

где « n_{II} - справочное значение для коэффициента использования горизонтального заземлителя в виде металлической полосы»;

$$R_{ПК} = \frac{4,7}{0,26} = 18 \text{ Ом.}$$

Уточнённое значение сопротивления системы заземления с учётом

горизонтальных соединительных полос:

$$R = \frac{R_{\text{ПК}} \cdot R_3}{R_{\text{ПК}} + R_3}, \quad (46)$$

$$R = \frac{18 \cdot 0,5}{18 + 0,5} = 0,48 \text{ Ом.}$$

Уточнённое по результатам расчётов количество вертикальных заземлителей необходимых для установки в контуре заземления:

$$N_c' = \frac{R_c}{R \cdot n_c}; \quad (47)$$

$$N_c' = \frac{28,36}{0,48 \cdot 0,78} = 75,7 \approx 76 \text{ шт.}$$

Вывод по разделу.

Выполненные расчёты показали, что для обеспечения требуемого сопротивления заземляющего устройства по периметру подстанции необходимо установить 76 вертикальных заземлителей с принятыми геометрическими размерами. Отдельные заземлители соединяются между собой в единый контур при помощи металлической полосы.

Заключение

Цель выпускной квалификационной работы заключалась в разработке надёжной и экономичной системы электроснабжения группы цехов предприятия по производству автокомпонентов, удовлетворяющей требованиям безопасности при минимуме затрат как на строительство системы электроснабжения, так и на её последующую эксплуатацию.

Приведена краткая характеристика промышленного предприятия и выпускаемой им продукции, указаны основные конкурентные преимущества, которые позволяют предприятию занимать лидирующие позиции в своей области. Приведён состав электроприемников предприятия, диапазон мощности электроприемников, указаны категории по надёжности электроснабжения и режимы работы электроприемников, питание предприятия осуществляется от 4 трансформаторных подстанций.

Подробно показан расчёт ожидаемых электрических нагрузок от распределительного шинопровода №4-1, определены суммарные расчётные нагрузки электроприемников, получающих питание от трансформаторной подстанции главного корпуса предприятия

По методу коэффициента использования светового потока произведён расчёт системы освещения внутренних помещений производственного корпуса, показана методика выполнения ручных расчётов, а также использования программы Dialux Light в которой была произведена основная часть вычислений.

Выполнены расчёты по определению количества и номинальной мощности силовых трансформаторов на цеховой подстанции, выбрано два силовых трансформатора с номинальной мощностью по 1600 кВА каждый. На стороне низкого напряжения первого трансформатора к установке принята конденсаторная установка мощностью 800 квар, а на стороне низкого напряжения 2 трансформатора к сборным шинам подключается две конденсаторные установки мощностью 600 и 450 квар. Для преобразования

напряжения с 10 кВ на напряжение питания электроприемников 0,4 кВ выбрана промышленная трансформаторная подстанция 2КТП-СЭЩ-П-1600/10/0,4-0,3-У3, выпускаемая ОАО «Электрощит».

Определены номинальные токи линий к отдельным электроприемникам и расчётные значения токов в линиях к распределительным пунктам и распределительным шинопроводам, выбран тип используемых во внутрицеховых сетях кабелей, определено количество жил и сечение. Выбранные проводники проверены на не превышение длительно допустимых токов. Расчёты проводились как для групповых линий, так и для линий к отдельным электроприемникам. Автоматические выключатели принимаем типа ВА-СЭЩ производства Самарского завода Электрощит. Определены номинальные значения токов и токов расцепителей для автоматических выключателей, устанавливаемых на трансформаторной подстанции для защиты групповых отходящих линий и устанавливаемых в распредпунктах и ответвительных коробках шинопроводов для защиты линий к отдельным электроприемникам.

Составлена электрическая схема выбранного участка сети и её схема замещения, в которой все реальные элементы представлены в виде собственных активных и индуктивных сопротивлений.

Выполнены расчёты активных и индуктивных внутренних сопротивлений всех элементов, входящих в схему замещения.

В намеченных расчётных точках определены значения трехфазного металлического тока короткого замыкания, дугового тока КЗ в начальный момент времени и ударного значения тока короткого замыкания. По найденным значениям ударных токов короткого замыкания проверены на электродинамическую устойчивость выбранные ранее автоматические выключатели, все выбранные коммутационные аппараты прошли проверку.

По результатам расчётов было определено, что в контуре заземления подстанции необходимо установить 76 вертикальных заземлителей, что позволяет обеспечить требуемое значение сопротивления контура заземления.

Список используемых источников

1. Абрамова Е.Я., Алешина С.К., Чиндяскин В.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебное пособие по курсу ЭПП. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2015. 103 с.
2. Алиев И.И. Электротехника и электрооборудование: учебное пособие для вузов. Саратов: Вузовское образование, 2014. 1199 с.
3. 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: 27.11.2022).
4. 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: 02.02.2023).
5. Дьяков А.Ф. Электромагнитная совместимость и молниезащита в электроэнергетике: учебник для вузов. Москва : Издательский дом МЭИ, 2016. 543 с.
6. Кудрин Б.И. Электроснабжение: учебник. М.: Феникс, 2018. 382 с.
7. Мельников М.А. Электроснабжение промышленных предприятий: Учеб. пособие. Томск: Изд. ТПУ, 2001. 140 с.
8. Михайлов В.Е. Современная электросеть. СПб. : Наука и Техника, 2013. 256 с.
9. Правила устройства электроустановок ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2018. 462 с.
10. Савоськин В. С. Электроснабжение. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2018. 256 с.

11. 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: 15.01.2023).
12. 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: 09.12.2022).
13. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения: учеб. пособие. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. 127 с.
14. Щербаков Е. Ф., Александров Д. С. Электрические аппараты: учебник. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2015. 304 с.
15. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях: учебное пособие. М.: Форум, 2019. 496 с.
16. Bobby Rauf S. Electrical Engineering for Non-electrical Engineers. Lulu Press. Inc, 2015. 235 p.
17. IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems. IEEE Std 551. NY: IEEE, 2013. 300 p.
18. Khan S., Khan S., Ahmed G. Industrial power systems. Boca Raton: CRC Press, 2016. 488 p.
19. 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.
20. 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.