

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе произведено проектирование электроснабжения предприятия по производству систем выпуска отработавших газов. Проведено технико-экономическое обоснование выбранной схемы электроснабжения, расчёт её при характерных режимах и выбор основного и вспомогательного оборудования, в т.ч. трансформаторов, шинопроводов, кабелей и автоматических выключателей. Произведён расчёт токов короткого замыкания, проверено оборудование на устойчивость к токам короткого замыкания.

Выпускная квалификационная работа содержит 61 лист, 2 рисунка и 10 таблиц, графическая часть представляет собой шесть чертежей формата А1.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта проектирования.....	8
2 Расчёт электрических нагрузок	10
3 Расчёт освещения	15
4 Выбор числа и мощности трансформаторов внутрицеховой трансформаторной подстанции	27
5 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения	31
6 Выбор оборудования внутрицеховой сети	34
7 Расчёт токов короткого замыкания	47
8 Расчёт защитного заземления ТП 10/0,4 кВ	57
Заключение	59
Список использованных источников	60

Введение

Совокупность электроустановок для производства и передачи электрической энергии в системе электроснабжения предприятия может быть собственностью предприятия, принадлежать другому предприятию или объединению [1-3, 8].

Собственная электростанция обеспечивает электрической энергией все технологические процессы предприятия, передает электрическую энергию по электрическим сетям, принадлежащим предприятию. Предприятия также могут получать электрическую энергию от электростанций и подстанций, принадлежащих энергетической системе или промышленному предприятию, расположенному по соседству.

Наибольшее распространение получила схема, по которой предприятия получают электрическую энергию от электрических сетей региональной энергосистемы, входящей в единую энергосистему. Электроэнергия производится на электростанциях энергосистемы и передается к месту потребления по ее сетям на высоком напряжении (110-220 кВ). Предприятие имеет понижающую трансформаторную подстанцию, на которой происходит ее преобразование до напряжения распределительных сетей предприятия (6-20 кВ), где электроэнергия распределяется по потребительским подстанциям, а от них - к низковольтным распределительным пунктам и электроприемникам.

Большинство электроприемников технологических установок, предприятия, населенного пункта предназначены для эксплуатации при напряжении до 1 кВ. Понижение напряжения происходит на подстанциях потребителей, а распределение электроэнергии выполняется по внутрицеховым электрическим сетям при напряжении 0,4-1 кВ. Наиболее распространенной является схема электроснабжения предприятий от энергосистемы, представленной ТЭЦ или ГЭС.

Систему электроснабжения (СЭС) можно разделить на три системы: систему внешнего электроснабжения предприятия; систему внутреннего

электроснабжения; систему внутрицехового электроснабжения и электропотребления. Вместе с тем, СЭС предприятия является подсистемой общей энергосистемы и подсистемой технологической системы производства самого промышленного предприятия. Электроэнергию, которая передается по электрическим сетям в систему электроснабжения предприятия, можно рассматривать как составляющую производственного процесса предприятия наравне с сырьем, используемыми материалами и затраченными трудозатратами.

К системе внешнего электроснабжения предприятия относятся электроустановки и устройства между узловым распределительным пунктом энергосистемы (УРП) и главной понизительной подстанцией (ГПП) или подстанцией глубокого ввода (ПГВ) предприятия. В качестве номинальных напряжений в системе внешнего электроснабжения промышленного предприятия применяются напряжения 35, 110, 220 кВ.

Внутренняя система электроснабжения предприятий характеризуется большой разветвленностью и протяженностью распределительной сети, включающей воздушные линии и кабельные, распределительные пункты (РП), трансформаторные подстанции (ТП), коммутационные аппараты. Распределение электрической энергии в системе внутреннего электроснабжения предприятия выполняется при $U = 6, 10, 20$ кВ.

Система внутрицехового электроснабжения включает цеховые сети (кабели, провода и шинопроводы с коммутационными и защитными аппаратами) от распределительного щита цеховой трансформаторной подстанции (ТП) или преобразовательной подстанции (ПП) до приемников электрической энергии. Распределение электрической энергии в системе внутрицехового электроснабжения выполняется при номинальных напряжениях 380/220, 660, 1140 В переменного тока от ТП и при напряжениях 110, 220, 440, 825, 1200 В постоянного тока от ПП. Для отдельных технологических процессов применяются нестандартные значения напряжений. В системе внутрицехового электроснабжения промышленных предприятий в

основном используются электрические сети с глухозаземленной (380/220 В) и с изолированной (660, 1140 В) нейтралью. К основному достоинству использования напряжения 380/220В относится возможность одновременного питания силовых электроприемников и осветительных сетей. Распределение электроэнергии в сетях напряжением до 1 кВ к электроприемникам осуществляется от щитов и пунктов распределительных (ПР) или от магистральных (ШМ) и распределительных (ШР) шинопроводов.

Целью данной бакалаврской работы является создание эффективной, экономически обоснованной и качественной системы электроснабжения предприятия по производству систем выпуска отработавших газов.

Задачами проекта являются:

– аргументированный выбор числа и мощности трансформаторов внутрицеховой трансформаторной подстанции, питающей главный корпус, в котором расположены: Цех производства глушителей, Цех сварки сидений, Цех оперативного ремонта, Цех напольного транспорта (Зарядная станция №2), совместное производство (СП), Блок складов;

- выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения;
- выбор оборудования внутрицеховой сети;
- расчет токов короткого замыкания.

1 Характеристика объекта проектирования

Предприятие является одним из поставщиков комплектующих на конвейера крупных автомобильных заводов, а именно: сидений, систем выпуска газов (глушители), каталитических нейтрализаторов отработавших газов. Также налажено производство трубок тормозной и топливной систем, изделий из проволоки и катанки, всего более 400 наименований.

В настоящее время на территории промплощадки располагается и ведет производственную деятельность целый ряд дочерних предприятий.

В состав оборудования предприятия входят различные металлообрабатывающие станки, сварочные установки, грузоподъемное оборудование, вытяжные вентиляторы и т.д. Мощность электроприёмников завода находится в пределах от 0,5 до 130 кВт. Электроприёмники работают в длительном (металлообрабатывающие станки, вентиляторы) и в повторно-кратковременном режимах (грузоподъемное оборудование и сварочные установки). Электрооборудование завода работает как на переменном 3-х фазном токе (металлообрабатывающие станки, вентиляторы, грузоподъемное оборудование, сварочные установки), так и на однофазном токе (освещение). Электроприёмники завода относятся ко второй и третьей категории по требуемой степени надёжности электроснабжения. Завод работает 3 смены по 8 часов, 5 дней в неделю. Общая площадь предприятия составляет 240 тыс. м².

Питание внутрицехового электрооборудования осуществляется четырьмя внутрицеховыми подстанциями ТП 1÷4 10/0,4 кВ через центральный распределительный пункт, который в свою очередь, получает питание от ГПП 110/10 кВ.

Трансформаторная подстанция ТП-4 осуществляет электроснабжение следующих цехов: Цех производства глушителей, Цех сварки сидений, Цех оперативного ремонта, Цех напольного транспорта (Зарядная станция №2), Цех совместного производства, Блок складов. Условно по принадлежности к филиалам, а также назначению, данные цеха разделяются на три категории:

1. Главный корпус – цеха, непосредственно принадлежащие предприятию, а именно: Цех сварки глушителей, Цех сварки каркасов сидений, Цех оперативного ремонта, Цех напольного транспорта (Зарядная станция №2);

2. Совместное производство – цех производства глушителей, филиал немецкой компании, занимающейся производством независимых отопителей для автотранспорта и спецтехники, а также автомобильных выхлопных систем;

3. Блок складов – совокупность сооружений, предназначенных для хранения сырья и производимой на предприятии продукции.

2 Расчёт электрических нагрузок

В ходе выполнения расчета электрических нагрузок предприятия составляется схема электроснабжения [2].

Схема электроснабжения предприятия может содержать несколько узлов нагрузки со сборными шинами различных классов напряжения от 0,4 до 220 кВ.

При расчете электрических нагрузок в системе электроснабжения предприятия можно выделить шесть уровней.

1. Отдельные электроприемники (станки, сварочные установки, выпрямительные установки и т. п.), агрегаты с многодвигательным приводом при напряжении до 1 кВ. Расчетная нагрузка отдельного электроприемника используется для выбора сечения жилы провода или кабеля от распределительного пункта или шинпровода к электроприемнику, и выбора коммутационного аппарата для присоединения электроприемника к ПР или ШР.

2. Щиты и пункты распределительные, распределительные шинпровода напряжением до 1 кВ. По расчетной нагрузке обусловленной группой электроприемников выбирают сечение провода или кабеля при использовании радиальной линии или распределительного шинпровода от которого запитана данная группа электроприемников, и коммутационного аппарата через который присоединяется группа приемников электрической энергии к распределительному щиту или устройству низкого напряжения трансформаторной подстанции или питающей магистрали в схеме «блок трансформатор-магистраль» (БТМ).

3. Щит низкого напряжения цеховой трансформаторной подстанции, питающая магистраль в системе БТМ. Расчетная нагрузка используется для выбора числа и мощности цеховых трансформаторов, сечения шин для цеховой ТП, питающей магистрали в схеме БТМ и коммутационных аппаратов на стороне низкого напряжения силового трансформатора.

4. Шины распределительного пункта внутреннего электроснабжения

предприятия. Расчетная нагрузка, создаваемая отдельными приемниками и трансформаторами с учетом потерь в них, используется для выбора сечения проводов и кабелей отходящих от РП линий, к отдельным приемникам и цеховым ТП, и отключающих аппаратов на этих линиях. Расчетная нагрузка на шинах каждой секции РП определяется для выбора сечения и материала шин, а также линий, питающих секцию РП и отключающих аппаратов, устанавливаемых на этих линиях.

5. Шины распределительного устройства главной понизительной подстанции. Определение расчетной нагрузки выполняется для выбора числа, мощности и типа силовых трансформаторов, сечения шин распределительного устройства ГПП, отключающих аппаратов на стороне низкого напряжения трансформатора.

6. Граница раздела предприятия и энергосистемы. Расчетную нагрузку на стороне ВН находят с учетом потерь в силовом трансформаторе, с учетом расчетной нагрузки на обмотке среднего напряжения или расщепленной обмотке, если трансформатор недвухобмоточный. Эта нагрузка используется для выбора сечения питающих линий и коммутационных аппаратов для присоединения трансформатора ГПП к энергосистеме.

Для обоснованного выбора схемы электроснабжения промышленного предприятия и определения нагрузок принимают во внимание будущую модернизацию технологии производства и рост электрических нагрузок предприятия на 10 лет вперед.

Все электроприёмники приведены к ПВ=100%, поэтому суммарная активная мощность подгруппы электроприёмников в силовой сборке будет равной:

$$P_H = P_{II} \cdot n \quad (2.1)$$

Например, для машин точечной сварки МТ-60 номинальная мощность:

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

для зарядных устройств $P_H = 7,2 \cdot 14 = 100,8$ кВт и т.д.

Коэффициент силовой сборки определяется по формуле:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}} \quad (2.2)$$

Этот коэффициент необходим для определения эффективного числа электроприёмников в силовой сборке в том случае, если фактическое число электроприёмников 4 и более.

Для РШ 4/4-1 коэффициент силовой сборки равен:

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

Для определения средней нагрузки выписываем соответствующие коэффициент использования (k_u) и коэффициент мощности ($\cos\varphi$). Далее расчёт ведётся по следующим формулам:

$$P_C = K_{И} \cdot P_H \quad (2.3)$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (2.4)$$

Для машин точечной сварки МТ-60 средняя нагрузка будет равной:

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

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

Аналогично производим расчёты для каждой группы ЭП, затем находим общую номинальную и среднюю нагрузку по цеху как сумму этих значений для каждой группы ЭП.

Определяем средний коэффициент использования и среднее значение $\operatorname{tg}\varphi_{cp}$ и $\cos\varphi_{cp}$ (расчёт для РШ4/4 - 1):

$$K_{И.СР} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{H.\Sigma}}, \quad (2.5)$$

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

$$\operatorname{tg}\varphi_{cp} = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C}, \quad (2.6)$$

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

При $m > 3$ и $K_{И.СР} \geq 0,2$ эффективное число электроприёмников будет равным:

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^n P_{Hi}}{P_{H.MAKC}}, \quad (2.7)$$

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

По справочникам определяем коэффициент максимума:

$$K_M = 1,0$$

Определяем расчётные активную и реактивную нагрузки трёхфазных электроприёмников:

$$P_P = K_M \cdot P_C, \quad (2.9)$$

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

Расчётная реактивная мощность будет равна средней, если $n_{\text{Э}} \geq 10$. Если $n_{\text{Э}} \leq 10$, то $Q_P = 1,1 \cdot Q_C$. Поэтому для РЩ4/7 - 1:

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

Определяем полную расчётную нагрузку:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2}, \quad (2.10)$$

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

Определяем расчётный ток для электроприёмников рассчитываемого узла нагрузки:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.11)$$

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

Аналогичным образом находятся значения расчётной нагрузки для каждой группы электроприёмников. Их сумма будет общей расчётной

нагрузкой:

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

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

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

$$I_{P\Sigma} = 4669,86 \text{ А}.$$

3 Расчёт освещения

Светотехнический расчет является необходимым этапом проектирования осветительной установки (ОУ), позволяющий от нормируемых количественных и качественных показателей освещения перейти к определению мощности, типа, числа и взаимного расположению СП с ИС [3]. Цели и задачи светотехнического расчета: 1. По нормируемой освещенности $E_{\text{норм}}$ найти необходимое число СП - это прямой расчет. 2. Определение освещенности от СП, используемых в ОУ, - это задача обратная или поверочный расчет. Если результаты решения не соответствуют требованиям действующих норм, то выполняется корректировка светотехнического проекта. При расчете мощности ОУ и проведении поверочных расчетов на соответствие нормируемой освещенности используются два метода: 1. Точечный метод, в котором исходными параметрами служат сила света излучателя в направлении расчетной точки, его положение относительно этой точки и ориентация в пространстве плоскости, в которой находится освещенность. 2. Метод коэффициента использования светового потока, в котором средняя освещенность определяется как отношение светового потока, установившегося на расчетной плоскости, к площади этой поверхности. Метод коэффициента использования применяется обычно при решении прямой задачи, когда распределение светового потока по освещаемой поверхности близко к равномерному. Поверочные расчеты освещенности выполняются, как правило, методом расчета по силе света. При расчете ОУ требуются, в общем случае, расчет распределения светового потока, подающего от светильников на рабочую поверхность (плоскость, на которой нормируется освещенность), потолок и стены, и расчет множества отражений этих световых потоков между поверхностями в рассматриваемом помещении.

Для освещения помещений высотой 3,6 метра на проектируемом участке будут использоваться светильники марки АОТ.PRS 236 и АОТ.PRS 136 с призматическим рассеивателем из прозрачного ПММА, поставляемые

компанией «Световые технологии».

Основные производственные помещения высотой 7 метров на проектируемом предприятии будут освещаться светильниками марки НВА ЕL 400Н (Н – металлогалогенная лампа МГЛ), также поставляемые компанией «Световые технологии».

Расчет освещения ведётся по методу коэффициента использования светового потока для каждого из помещений цеха обработки деталей в отдельности.

Определяем площадь помещения:

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

Определяем коэффициент запаса: $K_3 = 2$.

Определяем коэффициенты отражения потолка - 80 %, стен - 47 % и пола - 27 % для чистых и рабочих помещений:

Определяем требуемое количество светильников:

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

Определяем расчётные активную и реактивную осветительные нагрузки:

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

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

Для упрощения расчетов при проектировании освещения была применена программа DIALux 4.7 Light. Результаты расчетов для каждого из помещений цеха обработки деталей сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Осветительная нагрузка

Помещение	Р _{осв} , кВт	Q _{осв} , вар
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Главный корпус		
Трансформаторная подстанция	1,73	0,83

Продолжение таблицы 1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Цех сварки глушителей	65,60	31,49
Цех сварки каркасов сидений	13,6	6,53
Венткамера № 5 и 6	2×3,6	2×1,73
Сан. узел	2×0,864	2×0,41
Место для отдыха	0,864	0,41
Зарядная станция №2	1,6	0,77
Цех оперативного ремонта	6,4	3,07
СП		
Цех	32,8	16,13
Приёмная	0,144	0,069
Кабинет директора	0,108	0,052
Кабинет зам. директора	0,144	0,07
Кабинет ИТР	0,288	0,14
Серверная	0,072	0,03
Переговорная	0,144	0,07
Блок складов		
Склад готовой продукции глушителей	32,4	15,55
Участок ремонта тары	4,8	2,30
Склад ОГМ	3,6	1,73
Склад ОГЭ	3,6	1,73
Склад комплектующих	3,6	1,73
Итого:	180,42	86,6

Определяем суммарные активную и реактивную мощности:

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

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

Определяем полную суммарную нагрузку:

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

Определяем суммарный ток:

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

Наименования электроприёмников, их количество и паспортные данные, а также результаты всех расчётов по приведённым выше формулам сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Определение расчётной электрической нагрузки

№	Наименование ЭП	<i>n</i> , <i>шт</i>	Установленная мощность, приведённая к ПВ=100%		<i>m</i>	<i>K_И</i>	<i>cosφ</i> / <i>tgφ</i>	Средняя нагрузка		<i>n_Э</i>	<i>K_М</i>	Расчётная нагрузка			<i>I_Р</i> , <i>A</i>
			<i>P_н</i> , <i>кВт</i>	<i>P_н</i> , <i>кВт</i>				<i>P_С</i> , <i>кВт</i>	<i>Q_С</i> , <i>квар</i>			<i>P_Р</i> , <i>кВт</i>	<i>Q_Р</i> , <i>квар</i>	<i>S_Р</i> , <i>кВА</i>	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РШ 4/1-1															
120..127	Подвесные сварочные машины	8	10	80		0,2	0,4/ 2,29	16	36,64						
34..39	Сварочный пост	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	Вытяжные вентагрегаты	3	1,5	4,5		0,75	0,8/ 0,75	3,375	2,53						
Итого по РШ 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
РШ 4/1-2															
70..92	Машина точечной сварки МТ-60	23	24	552		0,2	0,4/ 2,29	110,4	252,82						
230..232	Вытяжные вентагрегаты	3	1,1	3,3		0,75	0,8/ 0,75	3,3	2,475						
Итого по РШ 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 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
172..176	Сварочная установка "Descam"	5	15	75		0,2	0,5/ 1,73	15	25,95						
233..235, 245..247	Вытяжные вентагрегаты	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						
ИТОГО по РШ 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
РШ 4/2-4															
56..58	Сварочный пост	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	Конвейер	1	2,2	2,2		0,55	0,75/ 0,88	1,21	1,0648						
158..167	Полуавтомат для сварки в среде Ar	10	7,6	76		0,2	0,4/ 2,29	15,2	34,81						
248..251	Вытяжные вентагрегаты	4	1,1	4,4		0,75	0,8/ 0,75	3,3	2,475						
ИТОГО по РШ 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
РШ 4/4-1															
1..11	Сварочный пост	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.	Установка дуговой сварки	1	22	22		0,2	0,75/ 0,88	4,4	3,87						
61..64	Машина точечной сварки МТ-60	4	24	96		0,2	0,4/ 2,29	19,2	43,97						
209..211	Вытяжные вентагрегаты	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						
Итого по РШ 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 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РШ 4/4-2															
60	Установка дуговой сварки	1	22	22		0,2	0,75/ 0,88	4,4	3,87						
204	Вытяжные вентагрегаты	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 пост	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	Машина точечной сварки МТ-60	3	24	72		0,2	0,4/ 2,29	14,4	32,98						
Итого по РШ 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
РШ 4/4-3															
18..29	Сварочный пост	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	Вытяжные вентагрегаты	4	1,1	4,4		0,75	0,8/ 0,75	3,3	2,475						
68..69	Машина точечной сварки МТ-60	2	24	48		0,2	0,4/ 2,29	9,6	21,98						
Итого по РШ 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
РШ 4/8-2															
40..44	Сварочный пост	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	Полуавтомат для сварки в среде Ar	6	7,6	45,6	> 3	0,2	0,4/ 2,29	9,12	20,88						

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
289	Электропривод ворот	1	0,55	0,55		0,4	0,75/ 0,88	0,22	0,19						
	РП-6	5	13,9	32,8		0,35	0,6/ 1,33	11,36	15,15						
ИТОГО по РШ 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
РШ 4/9-2															
282, 283	Машина точечной сварки МТ-60	2	24	48		0,2	0,4/ 2,29	9,6	21,984						
259..262	Сварочный пост	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	Машина для сварки внутреннего узла глушителя	1	37,2	37,2		0,2	0,4/ 2,29	7,44	17,037 6						
269, 270	Пресс	2	6,4	12,8		0,17	0,65/ 1,17	2,176	2,5459 2						
280, 281	Установка аргонно-дуговой сварки УДГ-140	2	56,2	112,4		0,2	0,4/ 2,29	22,48	51,479 2						
290, 291	Вытяжные вентагрегаты	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						
ИТОГО по РШ 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
РШ 4/10-1															
103, 104	Сварочная станция (робот)	2	12,5	25		0,2	0,5/ 1,73	5	8,65						
205	Вытяжные вентагрегаты	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 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
93..100	Машина точечной сварки МТ-120	8	48	384		0,2	0,4/ 2,29	76,8	175,87						
Итого по РШ 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
РШ 4/10-2															
112..119	Подвесные сварочные машины	8	10	80		0,2	0,4/ 2,29	16	36,64						
30..33	Сварочный пост	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	Сварочная станция (робот)	2	12,5	25		0,2	0,5/ 1,73	5	8,65						
228, 229	Вытяжные вентагрегаты	2	1,1	2,2		0,75	0,8/ 0,75	1,65	1,24						
Итого по РШ 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
РШ 4/11-1															
177..190	Зарядные устройства	14	7,2	100,8		0,5	0,7/ 1,02	50,4	51,408						
252	Вытяжные вентагрегаты	1	7,5	7,5		0,75	0,8/ 0,75	5,625	4,219						
ИТОГО по РШ 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
РП-1															
193, 194	Приточные вентагрегаты	2	75	150		0,7	0,8/ 0,75	105	78,75						
ИТОГО по РП-1		2	75	150	< 3	0,7	0,8/ 0,75	105	78,75	2	1	105	86,625	136,12	206,814
РП-2															
195, 196	Приточные вентагрегаты	2	75	150		0,7	0,8/ 0,75	105	78,75						
ИТОГО по РП-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 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РП-3															
	РП-1	2	75	150		0,7	0,8/ 0,75	105	78,75						
240, 241	Вытяжные вентагрегаты	2	1,1	2,2		0,75	0,8/ 0,75	1,65	1,24						
191	Электропривод ворот	1	0,55	0,55		0,4	0,75/ 0,88	0,22	0,194						
192	Вентагрегаты тепловых завес ворот	1	11	11		0,65	0,85/ 0,62	7,15	4,433						
ИТОГО по РП-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
РП-4															
	РП-2	2	75	150		0,7	0,8/ 0,75	105	78,75						
197..200	Токарное оборудование	4	1	4		0,13	0,4/ 2,29	0,52	1,19						
201	Сварочный аппарат	1	5,2	5,2		0,2	0,4/ 2,29	1,04	2,38						
ИТОГО по РП-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
РП-5															
286..288	Электропривод ворот	3	0,55	1,65		0,4	0,75/ 0,88	0,66	0,5808						
296, 297	Приточные вентагрегаты	2	30	60		0,7	0,8/ 0,75	42	31,5						
298, 299	Вентагрегаты тепловых завес ворот	2	11	22		0,65	0,85/ 0,62	14,3	8,866						
277, 278	Рампа	2	0,55	1,1		0,4	0,75/ 0,88	0,44	0,387						
ИТОГО по РП-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 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
РП-6															
263..266	Стенд доработки дефектов	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	Полуавтомат для сварки в среде Ar	1	7,6	7,6		0,2	0,4/ 2,29	1,52	3,481						
ИТОГО по РП-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
РП-7															
305..307	Вентагрегаты тепловых завес ворот	3	11	33		0,65	0,85/ 0,62	21,45	13,299						
310	Ленточнопильный станок	1	4	4		0,13	0,4/ 2,29	0,52	1,1908						
311	Пресс-ножницы	1	3	3		0,13	0,4/ 2,29	0,39	0,8931						
312	Металлорежущий станок	1	15	15		0,13	0,4/ 2,29	1,95	4,4655						
313	Шлифовальный станок	1	1	1		0,13	0,4/ 2,29	0,13	0,2977						
314	Сварочный аппарат	1	5,2	5,2		0,2	0,4/ 2,29	1,04	2,3816						
317..320	Вытяжные вентагрегаты	4	1,1	4,4		0,75	0,8/ 0,75	3,3	2,475						
300..302	Электропривод ворот	3	0,55	1,65		0,4	0,75/ 0,88	0,66	0,5808						
Итого по РП-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 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Итого по оборудованию		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
Осветительная нагрузка							0,9/ 0,48					180,42	86,601 6	200,128	304,06
Общая нагрузка												2002,10	2266,5	3073,60	4669,86

4 Выбор числа и мощности трансформаторов внутрицеховой трансформаторной подстанции

4.1 Предварительный расчёт мощности и числа трансформаторов

Схемы цеховых трансформаторных подстанций определяются характеристикой электроприемников и схемами межцехового и внутрицехового распределения электроэнергии [1]. Цеховые подстанции, как правило, выполняются комплектными (КТП), их поставляют заводы-изготовители в разобранном виде, готовыми для быстрого монтажа на месте установки. По конструктивному исполнению КТП изготавливаются для внутренней и наружной установки, они могут быть закрытыми и открытыми. Основным конструктивным исполнением КТП является модульная шкафовая компоновка его основных элементов с передним обслуживанием трансформаторов, шкафов ВН и НН, имеющих металлические или полимерные защитные кожухи.

Как правило, габаритные размеры КТП меньше подстанций сопоставимых мощностей, что позволяет при установке располагать их в центре электрических нагрузок. Такое расположение КТП значительно упрощает и удешевляет распределительные сети и дает возможность выполнить их рациональными в конструктивном отношении.

Цеховые КТП выполняются напряжением 6-10/0,4-0,23 кВ с одним или двумя трансформаторами мощностью до 2500 кВ А включительно.

Питание трансформаторной подстанции осуществляется приходящими с ЦРП-10 кВ двумя кабелями 10 кВ, производим выбор двух трансформаторов мощностью:

$$S_{н.т.} \geq \frac{P_{P\Sigma}}{K_3 \cdot N_T} = \frac{2002,1}{0,8 \cdot 2} = 1251,32 \text{ кВА} \quad 4.1.1$$

Потребители цеха относятся ко II категории надежности электроснабжения, работают в нормальной окружающей среде.

Предполагаем следующий вариант установки цеховых трансформаторов: два трансформатора ТСЗ-1600/10.

Таблица 3 – Технические характеристики трансформатора

Трансформатор	Номинальная мощность, кВА	Потери ХХ, Вт	Потери КЗ, Вт	напряжение к.з. при 75°С, %	Уровень звуковой мощности, дБ
ТСЗ-1600	1600	3200	12800	6,0	76

4.2 Расчёт компенсации реактивной мощности

Распределение нагрузки по секциям представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Распределение нагрузки по секциям

№ магистрали	P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА	I_p , А
<i>I секция шин 0,4 кВ</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
Итого:	1018,07	1115,68	1533,35	2329,69
<i>II секция шин 0,4 кВ</i>				
7	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
Итого:	984,03	1150,90	1540,25	2340,17

Требуемая мощность конденсаторной установки определяется двумя условиями:

- пропускной способностью трансформаторов КТП
- обеспечением заданного коэффициента мощности на шинах КТП для выполнения баланса реактивной мощности в целом по предприятию.

Технические данные трансформатора ТСЗ-1600/10:

$P_{xx} = 3,2$ кВт; $P_{кз} = 12,8$ кВт; $K_3 = 0,8$; $U_{кз} = 6$ %; $S_H = 1600$ кВА; $i_0 = 0,7$ %.

Потери в трансформаторе:

$$\Delta P_T = P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз} = (3,2 + 0,8^2 \cdot 12,8) = 11,39 \text{ кВт}; \quad 4.2.1$$

$$\Delta Q_T = i_0 + K_3^2 \cdot U_{кз} \cdot \frac{S_H}{100} = (0,7 + 0,8^2 \cdot 6) \cdot \frac{1600}{100} = 72,64 \text{ квар}, \quad 4.2.2$$

Определяем расчётную нагрузку с учётом потерь в трансформаторах для первой секции шин:

$$P_{P1} = P_{P\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma} = 1018,07 + 11,39 = 1029,46 \text{ кВт}; \quad 4.2.3$$

$$Q_{P1} = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma} = 115,68 + 72,64 = 1188,32 \text{ квар}. \quad 4.2.4$$

Определяем расчётную нагрузку с учётом потерь в трансформаторах для первой секции шин:

$$P_{P1} = P_{P\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma} = 984,03 + 11,39 = 995,43 \text{ кВт};$$

$$Q_{P1} = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma} = 1150,90 + 72,64 = 1223,53 \text{ квар}.$$

Требуемая мощность конденсаторных батарей для одной секции шин по первому условию равна:

$$Q_{КВМР1} = Q_P - Q_1 \quad 4.2.5$$

$$Q_1 = \sqrt{(K_3 \cdot S_{н.м.})^2 - P_P^2} \quad 4.2.6$$

Требуемая мощность конденсаторных батарей для одной секции шин по второму условию равна:

$$Q_{КВМР2} = Q_P - Q_\phi, \quad 4.2.7$$

$$Q_\phi = \text{tg} \phi_\phi \cdot P_P, \quad 4.2.8$$

Для выполнения баланса реактивной мощности по заводу значение коэффициента мощности на шинах данной КТП принимаем равным $\text{tg} \phi_\phi = 0,2$.

Из двух значений требуемой мощности выбирается большее.

Для первой секции шин:

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

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

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

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

Т.к. $Q_{\text{КУ мр}} > 100 \text{ квар}$, то установка компенсирующих устройств на стороне до 1 кВ целесообразна. Выбираем 1 установку КРМ-0,4-600-4УЗ и 1 установку КРМ-0,4-450-4УЗ общей установленной мощностью 1050 квар.

Для второй секции шин:

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

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

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

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

Т.к. $Q_{\text{КУ мр}} > 100 \text{ квар}$, то установка компенсирующих устройств на стороне до 1 кВ целесообразна. Выбираем 1 установку КРМ-0,4-600-4УЗ и 1 установку КРМ-0,4-450-4УЗ общей установленной мощностью 1050 квар.

5 Выбор и обоснование схемы внутрицехового электроснабжения

Внутрицеховые сети по своему назначению подразделяются на питающие сети и распределительные [2]. Питающие сети – это сети, которые отходят от источника питания (чаще всего источником питания является цеховая ТП) к ВРУ или распределительному пункту. В настоящее время широко используют комплектные трансформаторные подстанции (КТП), которые обеспечивают распределение электроэнергии к распределительным пунктам и шинопроводам внутри цеха или пунктам распределительным 0,4 кВ (ПР), находящимся в близлежащих цехах. Распределительные сети – это сети от РУ КТП или ПР до электроприемников.

Внутрицеховые электрические сети до 1 кВ могут иметь радиальную, магистральную или смешанную схему.

В радиальных схемах, выполняемых кабелями, электрические линии отходят от КТП к отдельным мощным электроприемникам или к ПР, питающим группу ЭП.

Радиальные схемы применяются для электроснабжения групп сосредоточенных нагрузок, неравномерно распределенных по площади цеха и расположенных в разных направлениях от центра питания, для электроснабжения электроприемников в пожароопасных цехах и взрывоопасных цехах и со средой агрессивно воздействующей на электроаппараты и изоляцию проводников.

Радиальные схемы обеспечивают более высокую надежность электроснабжения по сравнению с магистральными схемами и удобство эксплуатации для персонала. При оперативном или аварийном отключении отходящей линии отключается только электроприемник, запитанный по этой линии. Другие электроприемники внутри цеха продолжают нормально работать. Радиальные схемы позволяют построить систему технического учета электроэнергии для одиночных электроприемников или агрегатов.

Недостатком радиальных схем является их высокая стоимость, связанная

с увеличением протяженности линий, повышенным расходом проводников и затратами на монтаж. Увеличивается общее количество коммутационно-защитных аппаратов.

Магистральные схемы применяются для электроснабжения электроприемников одного технологического агрегата или для большого количества электроприемников сравнительно небольшой мощности, не связанных между собой единым технологическим процессом, но размещенным равномерно на одной территории.

При электроснабжении электроприемников по магистральной схеме применяются питающие линии в виде магистральных шинопроводов и распределительные линии в виде распределительных шинопроводов.

Магистральные схемы часто применяются в виде блока трансформатор-магистраль. Подключение к силовому трансформатору магистрального шинопровода выполняется с помощью шкафа с установленным автоматическим выключателем. К магистральному шинопроводу подключаются отдельные крупные электроприемники и распределительные шинопроводы.

Магистральные схемы позволяют снизить трудоемкость и увеличить скорость монтажа. Магистральные сети, выполненные с использованием шинопроводов, являются наиболее гибкими и позволяют перемещать электроприемники при обновлении технологического процесса. Они позволяют в будущем развивать сеть или сокращать количество присоединений.

Недостатком магистральных сетей является их меньшая надежность по сравнению с радиальными схемами, из-за того, что при повреждении магистрали от нее отключаются все подключенные электроприемники.

Для повышения надежности при использовании магистральных схем применяют взаимное резервирование отдельных магистралей через выключатели.

Резервирование питания с помощью резервных перемычек между КТП применяется и при электроснабжении электроприемников от однострансформаторных подстанций.

Практически в цехах очень редко встречаются радиальные или только магистральные схемы в чистом виде. Наибольшее распространение получили смешанные схемы, которые сочетают в себе элементы радиальных и магистральных схем.

От распределительного устройства низкого напряжения (РУНН) подстанции отдельными линиями питаются крупные ЭП или ПР, питающие группы отдельно расположенных ЭП, а от ШР питаются равномерно распределенные по площади цеха электроприемники или ЭП одного технологического агрегата.

Для питания основного электрооборудования выбираем магистральную схему с использованием шинопроводов.

6 Выбор оборудования внутрицеховой сети

6.1 Выбор КТП

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) применяют для приема, распределения и преобразования электрической энергии трехфазного тока частотой 50 Гц. По числу трансформаторов КТП могут быть однотрансформаторными, двухтрансформаторными и трехтрансформаторными.

КТП обеспечивают защиту присоединений от перегрузок и коротких замыканий и используются для электроснабжения объектов промышленности, предприятий и других объектов.

Трансформаторная подстанция ТП-4 является внутрицеховой, её здание находится в Главном корпусе. Учитывая это, выбираем КТП с сухими трансформаторами.

По известной мощности трансформаторов, количеству трансформаторов, а также климатическим условиям выбирается КТП от производителя ЗАО «ГК «Электроцит»-ТМ Самара»: 2КТП – СЭЦ-П-1600/10/0,4 – 0,3 – УЗ.

КТП представляет собой комплекс, конструктивно состоящий из следующих элементов:

- 1) шкаф ввода высокого напряжения (ШВВ);
- 2) силовой сухой трансформатор (СТ);
- 3) распределительное устройство низкого напряжения (РУНН), в состав которого в свою очередь входят:
 - шкаф ввода (ШНВ);
 - шкаф отходящих линий (ШНЛ);
 - шкаф секционного выключателя (ШНС)
- 4) токопровод высокого напряжения (ВВ), соединяющий ШВВ и СТ по стороне В;.
- 5) токопровод низкого напряжения (НВ), соединяющий СТ и РУНН

(ШНВ) по стороне НН.

2КТП – СЭЩ–П–1600/10/0,4 – 0,3 – У3 соответствуют ГОСТ 12.2.007.0, ГОСТ 12.2.007.4.

В качестве приборов учёта электрической энергии предусмотрено использование следующих счетчиков: Альфа 1700, Альфа 1800, Меркурий 230АМ, Меркурий 230АР и др. Измерение напряжения и тока на КТП осуществляется вольтметрами типа Ц42704 и амперметрами типа Э42704.

В вводных и секционирующей ячейках устанавливаются выключатели типа ВА-СЭЩ АН на номинальные токи 5000 А и 2500 А соответственно с регулируемой уставкой по току с селективной защитой, с защитой от перегрузки и короткого замыкания, контактом аварийного отключения, дополнительными блок-контактами, контактами положения выключателя в корзине и уплотнительной рамкой на двери, трансформаторы тока ТШЛ-0,66.

В отходящих ячейках РУ для данной КТП устанавливаются автоматические выключатели серии ВА-СЭЩ-В, трансформаторы тока серий ТШЛ-0,66 У3 и ТОП-0,66 У3.

Устанавливаемые трансформаторы: ТСЗ-СЭЩ-1600/10 кВА – ЗАО «ГК «Электроцит»-ТМ Самара».

6.2 Выбор шинпроводов и кабелей

Выбор кабелей для РП и ШР осуществляется по расчетному току для отдельной группы ЭП и рассчитывается по формуле:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad 6.2.1$$

Для запитки электрооборудования цеха от РП и от шинпровода выбираем кабели марки АВВГ одножильные и четырехжильные.

Для каждого типа ЭП, исходя из данных таблицы 3 данного проекта, находим номинальный рабочий ток:

$$I_P = \frac{\sqrt{P_H^2 + (P_H \cdot \operatorname{tg}\phi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H}. \quad 6.2.2$$

Сечение кабелей цеховых сетей напряжением до 1кВ выбирается сравнением расчетного тока линии с допустимым длительным током принятых марок кабелей.

Должно выполняться условие:

$$I_p \leq I_{дон},$$

$$I_p \leq I_{дон} \cdot 0,92, \quad 6.2.3$$

где $I_{дон}$ - допустимый табличный ток для трехжильных кабелей, А;

0,92 – коэффициент, учитывающий ток для четырехжильных кабелей;

Результаты расчёта токов, по которым будет производиться выбор кабелей для групп ЭП, представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Выбор кабеля для распределительных пунктов и шинопроводов.

Обозначение	Наименование оборудования	I_p , А	$I_{дон}$, А	$0,92 \cdot$ $I_{дон}$, А	Кабель
1	2	3	4	5	6
<i>РП – 1</i>	РП	206,81	235	216,2	<i>АВВГ –</i> 3×150+ 1×120
<i>РП – 2</i>	РП	206,81	235	216,2	<i>АВВГ –</i> 3×150+ 1×120
<i>РП – 3</i>	РП	223,62	270	248,4	<i>АВВГ –</i> 3×185+ 1×150
<i>РП – 4</i>	РП	212,46	235	216,2	<i>АВВГ –</i> 3×150+ 1×120
<i>РП – 5</i>	РП	111,26	140	128,8	<i>АВВГ –</i> 3×70+ 1×50
<i>РП – 6</i>	РП	35,24	42	38,64	<i>АВВГ –</i> 4×10
<i>РП – 7</i>	РП	63,84	75	69	<i>АВВГ –</i> 3×25+1×16
<i>РП – 8</i>	РП	53,78	60	55,2	<i>АВВГ –</i> 4×16
<i>РШ 4/1–1</i>	ШР	128,27	140	128,8	<i>АВВГ –</i> 3×70+ 1×50
<i>РШ 4/8–1</i>	ШР	479,03	499	459,1	<i>ВВГ –</i> 3×240+ 1×185
<i>РШ 4/8–2</i>	ШР	195,45	235	216,2	<i>АВВГ –</i> 3×150+ 1×120
<i>РШ 4/2–1</i>	ШР	100,28	140	128,8	<i>АВВГ –</i> 3×70+ 1×50

Продолжение таблицы 5

<i>РШ</i> 4/2-2	ШР	190,82	235	216,2	<i>АВВГ</i> – 3×150+ 1×120
<i>РШ</i> 4/2-3	ШР	171,62	200	184	<i>АВВГ</i> – 3×120+ 1×95
<i>РШ</i> 4/2-4	ШР	115,99	140	128,8	<i>АВВГ</i> – 3×70+ 1×50
<i>РШ</i> 4/9-1	ШР	172,09	200	184	<i>АВВГ</i> – 3×120+ 1×95
<i>РШ</i> 4/10-2	ШР	131,40	170	156,4	<i>АВВГ</i> – 3×95+ 1×70
<i>РШ</i> 4/4-1	ШР	189,47	235	216,2	<i>АВВГ</i> – 3×150 + 1×120
<i>РШ</i> 4/4-2	ШР	132,77	170	156,4	<i>АВВГ</i> – 3×95+ 1×70
<i>РШ</i> 4/4-3	ШР	165,15	200	184	<i>АВВГ</i> – 3×120+ 1×95
<i>РШ</i> 4/11-1	ШР	140,65	170	156,4	<i>АВВГ</i> – 3×95+ 1×70
<i>РШ</i> 4/9-2	ШР	288,18	321	295,3	<i>ВВГ</i> – 3×120+ 1×95

Значения расчётного тока *РШ* 4/1-2 ($I_p = 627,28$ А) и *РШ* 4/10-1 ($I_p = 471,96$ А) не позволяют выбрать один четырёхжильный кабель. Их подключение будет производиться двумя параллельно идущими кабелями. Для выбора кабеля необходимо учесть условие совместной прокладки кабелей, поэтому расчёт будет производиться по формуле:

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

где $K_{сн}$ – коэффициент снижения для кабелей, прокладываемых совместно в коробках. По [1., с. 22, таблица 7] $K_{сн} = 1$.

Расчётный ток для одного кабеля будет равным половине расчётного тока выбранной группы ЭП (шинопровода). Поэтому для *РШ* 4/1-2:

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

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

Выбираем 2 кабеля ВВГ – 3×150 + 1×120.

Для *РШ* 4/10-1: $(471,96 / 2) \leq 0,92 \cdot 274 \cdot 1$

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

Выбираем 2 кабеля ВВГ – 3×95 + 1×70.

Используя формулу $I_p \leq I_{дон} \cdot 0,92$, произведём выбор кабеля для отдельных электроприёмников. Результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Выбор кабеля для подключения отдельных электроприёмников

№ ЭП	Наименование оборудования	$I_p,$ A	$I_{дон},$ A	$0,92 \cdot$ $I_{дон},$ A	Кабель
1	2	3	4	5	6
Главный корпус					
1..58	Сварочный пост	34	37	34,04	ВВГ – 4×4
59, 60	Установка дуговой сварки	44,6	49	45,08	ВВГ – 4×10
61..92	Машина точечной сварки МТ-60	91,3	115	105,8	ВВГ – 4×25
93..100	Машина точечной сварки МТ-120	183	226	207,9	ВВГ – 3×70+1×50
101, 102	Пресс однокривошипный	11	21	19,32	ВВГ – 4×1,5
103..108	Сварочная станция (робот)	38	49	45,08	ВВГ – 4×10
109	Машина для сварки внутреннего узла глушителя	141	177	162,8	ВВГ – 3×50+1×35
110, 111	Автоматическая линия сварки глушителей	334	370	340,4	ВВГ – 3×150+1×120
112..127	Подвесные сварочные машины	38	49	45,08	ВВГ – 4×10
128, 129	Стенд доработки дефектов	20,8	28	25,76	ВВГ – 4×2,5
130	Сварочная машина "Kuka"	35,3	49	45,08	ВВГ – 4×10
131, 132	Установка аргонно-дуговой сварки УДГ-48	73	87	80,04	ВВГ – 4×16
133..144	Полуавтомат для сварки в среде СО2	31,9	37	34,04	ВВГ – 4×4
145..167	Полуавтомат для сварки в среде Ar	28,9	37	34,04	ВВГ – 4×4
168..176	Сварочная установка "Descam"	45,6	66	60,72	ВВГ – 4×10
177..190	Зарядные устройства	15,6	21	19,32	ВВГ – 4×1,5
191	Электропривод ворот	1,12	21	19,32	ВВГ – 4×1,5
192	Вентагрегаты тепловых завес ворот	19,7	28	25,76	ВВГ – 4×2,5
193..196	Приточные вентагрегаты	143	177	162,8	ВВГ – 3×50+1×35

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4	5	6
197..200	Токарное оборудование	3,8	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
201	Сварочный аппарат	19,8	28	25,76	<i>ВВГ</i> – 4×2,5
202, 203	Конвейер	4,46	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
204..208	Вытяжные вентагрегаты	4,18	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
209..217		2,85	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
218..251		2,09	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
252		14,3	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
СП					
253..262	Сварочный пост	33,91	37	34,04	<i>ВВГ</i> – 4×4
263..268	Стенд доработки дефектов	20,75	28	25,76	<i>ВВГ</i> – 4×2,5
269, 270	Пресс	14,97	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
271..276	Сварочный робот NC-129	48,58	66	60,72	<i>ВВГ</i> – 4×10
277, 278	Рампа	1,11	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
279	Машина для сварки внутреннего узла глушителя	141,2	177	162,8	<i>ВВГ</i> – 3×50+1×35
280, 281	Установка аргоно-дуговой сварки УДГ-140	213,4	274	252,1	<i>ВВГ</i> – 3×95+1×70
282, 283	Машина точечной сварки МТ-60	91,12	115	105,8	<i>ВВГ</i> – 4×25
284, 285	Полуавтомат для сварки в среде Ar	28,85	37	34,04	<i>ВВГ</i> – 4×4
286..289	Электропривод ворот	1,11	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
290, 291	Вытяжные вентагрегаты	41,8	49	45,08	<i>ВВГ</i> – 4×10
292..295		10,45	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
296, 297	Приточные вентагрегаты	57,0	66	60,72	<i>ВВГ</i> – 4×10
298, 299	Вентагрегаты тепловых завес ворот	19,66	28	25,76	<i>ВВГ</i> – 4×2,5
Блок складов					
300..304	Электропривод ворот	1,113	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
305..309	Вентагрегаты тепловых завес ворот	19,66	28	25,76	<i>ВВГ</i> – 4×2,5
310	Ленточнопильный станок	15,2	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
311	Пресс-ножницы	11,4	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
312	Металлорежущий станок	57,0	66	60,72	<i>ВВГ</i> – 4×10
313	Шлифовальный станок	3,8	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
314	Сварочный аппарат	19,7	28	25,76	<i>ВВГ</i> – 4×2,5
315, 316	Рампа	1,113	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
317..326	Вытяжные вентагрегаты	2,089	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5
327..330	Будка сторожа (кладовщицы)	4,213	21	19,32	<i>ВВГ</i> – 4×1,5

Магистральные линия конструктивно будут выполнены не кабелями, а

шинопроводами в силу высокой устойчивости к токам КЗ, быстрого монтажа и перемонтажа, а также относительно невысокой стоимости.

Выбор шинопроводов производим по значению расчётного тока. Результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Выбор шинопроводов

Обозначение	Наименование оборудования	Ip, А	In, А	Тип шинопровода
1	2	3	4	5
РШ 4/1-1	ШРА	128,27	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/1-2	ШРА	627,28	630	ШРА4-630-32-1У3
РШ 4/8-1	ШРА	479,03	630	ШРА4-630-32-1У3
РШ 4/8-2	ШРА	195,45	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/2-1	ШРА	100,28	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/2-2	ШРА	190,82	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/2-3	ШРА	171,62	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/2-4	ШРА	115,99	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/9-1	ШРА	172,09	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/9-2	ШРА	288,18	400	ШРА4-400-32-1У3
РШ 4/10-1	ШРА	471,96	630	ШРА4-630-32-1У3
РШ 4/10-2	ШРА	131,40	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/4-1	ШРА	189,47	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/4-2	ШРА	132,77	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/4-3	ШРА	165,15	250	ШРА4-250-32-1У3
РШ 4/11-1	ШРА	140,65	250	ШРА4-250-32-1У3
М 4/1	ШМА	75594	1250	ШМА4-1250-44-1У3
М 4/8	ШМА	674,47	1250	ШМА4-1250-44-1У3
М 4/2	ШМА	578,71	630	ШРА4-630-32-1У3
М 4/9	ШМА	57,5	630	ШРА4-630-32-1У3
М 4/10	ШМА	603,35	630	ШРА4-630-32-1У3
М 4/4	ШМА	487,40	630	ШРА4-630-32-1У3

6.3 Выбор защитной аппаратуры

Выбираем номинальный ток расцепителя по величине расчётного тока. Выбор автоматических выключателей и трансформаторов тока для отходящих фидеров в РУ-0,4 кВ КТП представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор выключателей и трансформаторов тока в РУ-0,4 кВ

Наим.	I_p, A	Выключатель		ТТ
		I_n, A	$I_{нт}, A$	
1	2	3	4	5
Ввод № 1(2)	4669,86	<i>ВА – СЭЩ АН – 50 G</i>		ТШЛ-0,66-5000/5
		5000	5000	
М 4/1	755,94	<i>ВА – СЭЩ BTS800</i>		ТШЛ-0,66-800 У3
		800	800	
М 4/8	674,47	<i>ВА – СЭЩ BTS800</i>		ТШЛ-0,66-800 У3
		800	800	
М 4/3	166,37	<i>ВА – СЭЩ BTS160</i>		ТОП-0,66-150 У3
		160	125	
М 4/2	578,717	<i>ВА – СЭЩ BTS630</i>		ТШЛ -0,66-600 У3
		630	600	
М 4/9	571,53	<i>ВА – СЭЩ BTS630</i>		ТШЛ -0,66-600 У3
		630	600	
М 4/10	603,353	<i>ВА – СЭЩ BTS630</i>		ТШЛ -0,66-800 У3
		630	630	
М 4/4	487,406	<i>ВА – СЭЩ BTS630</i>		ТШЛ -0,66-600 У3
		630	500	
М 4/11	140,66	<i>ВА – СЭЩ BTS160</i>		ТОП-0,66-150 У3
		160	150	

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5
М 4/12	212,46	<i>ВА – СЭЦ BTS250</i>		ТШЛ -0,66-300 У3
		250	250	
М 4/5	223,62	<i>ВА – СЭЦ BTS250</i>		ТШЛ -0,66-300 У3
		250	250	
М 4/7	137,7	<i>ВА – СЭЦ BTS160</i>		ТОП-0,66-150 У3
		160	150	
М 4/6	117,62	<i>ВА – СЭЦ BTS160</i>		ТОП-0,66-150 У3
		160	125	
САВ	2192,8	<i>ВА – СЭЦ – В АН 25Е</i>		ТШЛ-0,66-2500/5
		2500	2500	

И_н, И_{нт} – номинальный ток и ток теплового расцепителя;

САВ – секционный автоматический выключатель.

Также необходимо выбрать выключатели, соединяющие магистральные шинопроводы с распределительными.

Таблица 9 – Выбор выключателей для шинопроводов и распределительных пунктов

Обозначение	Наименование оборудования	<i>I_p, А</i>	Выключатель	
			<i>I_н, А</i>	<i>I_{нт}, А</i>
1	2	3	4	5
РП -1	РП	206,81	<i>ВА 51 – 35</i>	
			250	250
РП -2	РП	206,81	<i>ВА 51 – 35</i>	
			250	250
РП - 3	РП	223,62	<i>ВА 51 – 35</i>	
			250	250
РП - 4	РП	212,46	<i>ВА 51 – 35</i>	
			250	250
РП - 5	РП	111,26	<i>ВА 51 – 33</i>	
			160	125

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
РП - 6	РП	35,24	BA 51 – 29	
			63	40
РП - 7	РП	63,84	BA 51 – 31	
			100	80
РП - 8	РП	53,78	BA 51 – 29	
			63	63
РШ 4/1-1	ШР	128,27	BA 51 – 33	
			160	160
РШ 4/1-2	ШР	627,68	BA 51 – 39	
			630	630
РШ 4/8-1	ШР	479,03	BA 51 – 39	
			630	500
РШ 4/8-2	ШР	195,45	BA 51 – 35	
			250	200
РШ 4/2-1	ШР	100,28	BA 51 – 33	
			160	125
РШ 4/2-2	ШР	190,82	BA 51 – 35	
			250	200
РШ 4/2-3	ШР	171,62	BA 51 – 35	
			250	200
РШ 4/2-4	ШР	115,99	BA 51 – 33	
			160	125
РШ 4/9-1	ШР	172,09	BA 51 – 35	
			250	200
РШ 4/9-2	ШР	288,18	BA 51 – 37	
			400	320
РШ 4/10-1	ШР	471,96	BA 51 – 39	
			630	500
РШ 4/10-2	ШР	131,40	BA 51 – 33	
			160	160
РШ 4/4-1	ШР	189,47	BA 51 – 35	
			250	200
РШ 4/4-2	ШР	132,77	BA 51 – 33	
			160	160
РШ 4/4-3	ШР	165,15	BA 51 – 35	
			250	200
РШ 4/11-1	ШР	140,65	BA 51 – 33	
			160	160

Выбор автоматических выключателей, питающих индивидуально каждый электроприёмники, представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор выключателя для подключения отдельных ЭП

№ ЭП	Наименование оборудования	I_p, A	Выключатель	
			I_n, A	$I_{нт}, A$
Главный корпус				
1	2	3	4	5
1..58	Сварочный пост	34	ВА 51 – 29	
			63	40
59, 60	Установка дуговой сварки	44,6	ВА 51 – 29	
			63	50
61..92	Машина точечной сварки МТ-60	91,3	ВА 51 – 31	
			100	100
93..100	Машина точечной сварки МТ-120	183	ВА 51 – 35	
			250	200
101, 102	Пресс однокривошипный	11	ВА 51 – 25	
			25	12,5
103..108	Сварочная станция (робот)	38	ВА 51 – 29	
			63	63
109	Машина для сварки внутреннего узла глушителя	141	ВА 51 – 33	
			160	160
110, 111	Автоматическая линия сварки глушителей	334	ВА-СЭЦ В TS400	
			400	400
112..127	Подвесные сварочные машины	38	ВА 51 – 29	
			63	40
128, 129	Стенд доработки дефектов	20,8	ВА 51 – 25	
			25	25
130	Сварочная машина "Kuka"	35,3	ВА 51 – 29	
			63	40
131, 132	Установка аргонно-дуговой сварки УДГ-48	73	ВА 51 – 31	
			100	80
133..144	Полуавтомат для сварки в среде CO ₂	31,9	ВА 51 – 29	
			63	40
145..167	Полуавтомат для сварки в среде Ar	28,9	ВА 51 – 29	
			63	31,5
168..176	Сварочная установка "Descam"	45,6	ВА 51 – 29	
			63	50
177..190	Зарядные устройства	15,6	ВА 51 – 25	
			25	20

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5
191	Электропривод ворот	1,12	BA 51 – 25	
			25	6,3
192	Вентагрегаты тепловых завес ворот	19,7	BA 51 – 25	
			25	25
193..196	Приточные вентагрегаты	143	BA 51 – 33	
			160	160
197..200	Токарное оборудование	3,8	BA 51 – 25	
			25	6,3
201	Сварочный аппарат	19,8	BA 51 – 25	
			25	25
202, 203	Конвейер	4,46	BA 51 – 25	
			25	6,3
204..208	Вытяжные вентагрегаты	4,18	BA 51 – 25	
			25	6,3
209..217		2,85	BA 51 – 25	
			25	6,3
218..251		2,09	BA 51 – 25	
			25	6,3
252	14,3	BA 51 – 25		
		25	16	
СП				
253..262	Сварочный пост	33,91	BA 51 – 29	
			63	40
263.. 268	Стенд доработки дефектов	20,75	BA 51 – 25	
			25	25
269, 270	Пресс	14,97	BA 51 – 25	
			25	16
271..276	Сварочный робот NC-129	48,58	BA 51 – 29	
			63	50
277, 278	Рампа	1,11	BA 51 – 25	
			25	6,3
279	Машина для сварки внутреннего узла глушителя	141,2	BA 51 – 33	
			160	160
280, 281	Установка аргонно-дуговой сварки УДГ-140	213,4	BA 51 – 35	
			250	250
282, 283	Машина точечной сварки МТ-60	91,12	BA 51 – 31	
			100	100
284, 285	Полуавтомат для сварки в среде Ar	28,85	BA 51 – 29	
			63	31,5

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4	5
286..289	Электропривод ворот	1,11	BA 51 – 25	
			25	6,3
290, 291	Вытяжные вентагрегаты	41,8	BA 51 – 29	
			63	50
292..295		10,45	BA 51 – 25	
			25	16
296, 297	Приточные вентагрегаты	57,0	BA 51 – 29	
			63	63
298, 299	Вентагрегаты тепловых завес ворот	19,66	BA 51 – 25	
			25	25
Блок складов				
300..304	Электропривод ворот	1,11	BA 51 – 25	
			25	6,3
305..309	Вентагрегаты тепловых завес ворот	19,66	BA 51 – 25	
			25	25
310	Ленточнопильный станок	15,2	BA 51 – 25	
			25	20
311	Пресс-ножницы	11,4	BA 51 – 25	
			25	16
312	Металлорежущий станок	57,0	BA 51 – 29	
			63	63
313	Шлифовальный станок	3,8	BA 51 – 25	
			25	6,3
314	Сварочный аппарат	19,7	BA 51 – 25	
			25	25
315, 316	Рампа	1,113	BA 51 – 25	
			25	6,3
317..326	Вытяжные вентагрегаты	2,089	BA 51 – 25	
			25	6,3
327..330	Будка сторожа (кладовщицы)	4,213	BA 51 – 25	
			25	6,3

Подключение магистральных линий (фидеров) осуществляется автоматическими выключателями типов BA-CЭЩ В TD и BA-CЭЩ В TS, имеющими систему электронной настройки номинального тока расцепителя. Подключение электроприёмников осуществляется выключателями серии BA-51 в ответвительных коробках типа У2032У3 и У2033У3

7 Расчёт токов короткого замыкания

В системах электроснабжения промышленных предприятий и непромышленных объектов могут появляться короткие замыкания (КЗ), которые вызывают резкое и значительное увеличение токов [1]. Все основное электрооборудование системы внутреннего электроснабжения предприятия или объекта должно быть выбрано и проверено с учетом воздействия этих токов.

Одними из главных причин возникновения КЗ являются нарушения изоляции в частях электроустановок, неправильные или ошибочные действия обслуживающего персонала, перекрытия изоляции вследствие возникновения перенапряжений в системе электроснабжения. Короткие замыкания приводят к нарушению нормального электроснабжения потребителей, подключенных к поврежденным участкам электросети, из-за понижения на них напряжения ниже допустимого порога и нарушения работы части энергосистемы. Поэтому короткие замыкания должны быть устранены устройствами защиты в минимальные сроки.

Все элементы системы электроснабжения должны удовлетворять расчетным условиям их работы. Под расчетными условиями в общем случае понимаются наиболее тяжелые условия, в которых могут оказаться электрические аппараты и проводники.

Проверка выбранных элементов системы электроснабжения проводится по аварийному режиму работы. Аварийный режим - это режим, вызванный внезапным нарушением нормального режима вследствие КЗ. Аварийные режимы необходимо быстро ликвидировать, при этом все элементы системы электроснабжения должны быть термически и динамически стойкими.

Для того чтобы проверить выбранные электрические аппараты и проводники по условиям КЗ, необходимо выполнить четыре расчетных условия КЗ:

- составить расчетную схему системы электроснабжения;
- определить расчетный вид короткого замыкания;

- наметить расчетные точки короткого замыкания;
- определить расчетное время протекания тока КЗ.

В качестве расчетной схемы используют однолинейную схему с нанесением всех элементов с их параметрами, влияющими на ток короткого замыкания и которые необходимо учесть при проведении расчетов. По расчетной схеме составляется схема замещения.

Короткие замыкания рассчитываются в трёх точках согласно расчётной электрической схеме и схеме замещения, изображённых на рисунках 2 и 3:

К1 –на контактах РУ 0,4кВ;

К2 –на контактах РП-3;

К3 –для самого мощного и самого близкого к ТП электроприёмника;

7.1 Параметры расчётной схемы

Трансформатор Т1:

ТСЗ – 1600/10; схема соединения обмоток Δ/Y_0 ;

$$S_n = 100 \text{ кВА};$$

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

$$U_K = 6 \%;$$

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

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

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

Шинный мост от Т1 до АВ1 (ШР1):

$$R_{ш} = 0,009 \text{ мОм};$$

$$X_{ш} = 0,004 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ1:

ТШЛ-0,66-5000/5

$$R_{TT1} = 0,001 \text{ мОм};$$

$$X_{TT1} = 0,001 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ1:

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

$$R_{AB1} = 0,13 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 0,07 \text{ мОм}.$$

Шины РУ-0,4 кВ:

$$R_{PY} = 0,009 \text{ мОм};$$

$$X_{PY} = 0,004 \text{ мОм}.$$

Трансформатор тока ТТ2:

ТТОШТ-0,66-1000 У3

$$R_{TT2} = 0,02 \text{ мОм};$$

$$X_{TT2} = 0,03 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ2:

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

$$R_{AB2} = 0,25 \text{ мОм};$$

$$X_{AB2} = 0,1 \text{ мОм}.$$

Шинопровод магистральный М 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:

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

$$R_{AB3} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{AB3} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ1:

ВВГ – 3×240+ 1×185;

$l = 6 \text{ м};$

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

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

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

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

Автоматический выключатель АВ4:

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

$R_{АВ4} = 0,41 \text{ мОм};$

$X_{АВ4} = 0,13 \text{ мОм}.$

Шинопровод распределительный РШ 4/8-1:

ШРА4-630-32-1У3, $l = 18 \text{ м};$

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

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

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

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

Автоматический выключатель АВ5:

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

$R_{АВ5} = 0,65 \text{ мОм};$

$X_{АВ5} = 0,17 \text{ мОм}.$

Кабельная линия КЛ2:

ВВГ – 3×150+1×120, $l = 5 \text{ м};$

$R_{уд} = 0,15 \text{ мОм} / \text{м};$

$X_{уд} = 0,033 \text{ мОм} / \text{м};$

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

$X_{КЛ2} = 5 \cdot 0,033 = 0,165 \text{ мОм}.$

Приведённые выше параметры нужны для расчёта значений токов КЗ в точках К1, К2, К3 и К4.

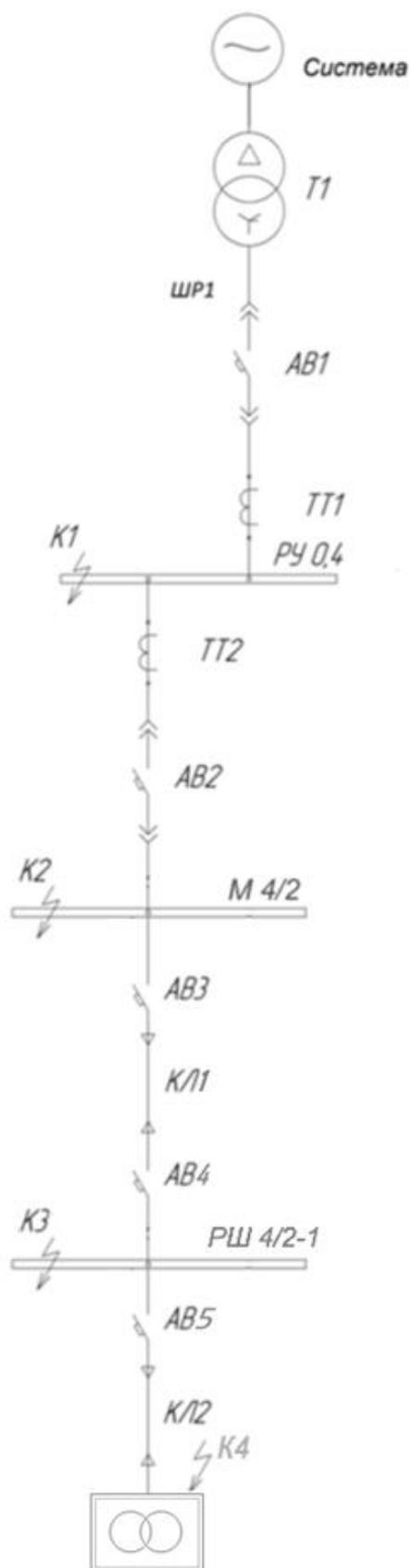


Рисунок 1 – Расчетная электрическая схема

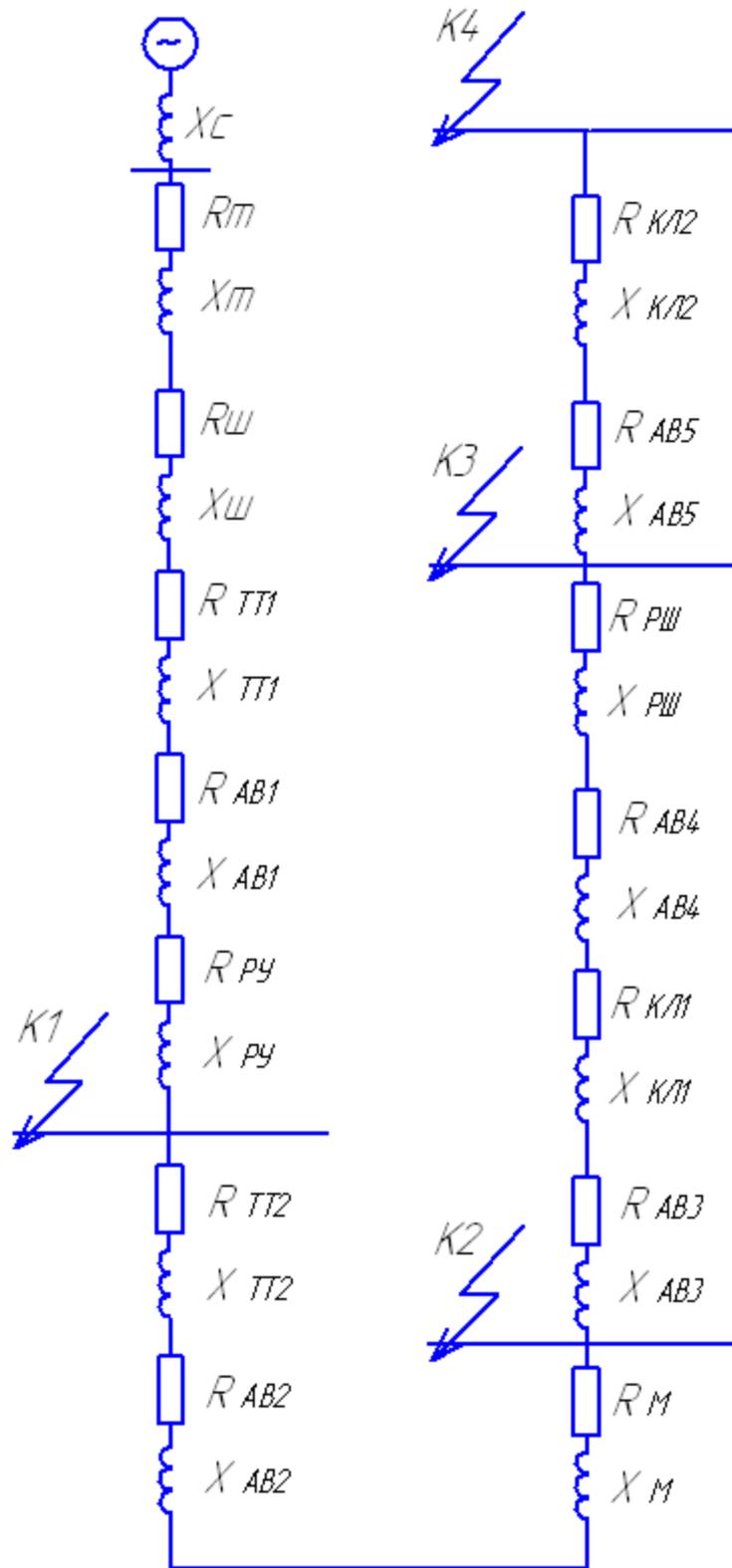


Рисунок 2 – Схема замещения

7.2 Расчёт токов КЗ

$$X_C = \frac{U_B}{S_{кз.сис}} \cdot 10^3 = \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^3 = 1,6 \text{ мОм}; \quad 7.2.1$$

Для КЗ в точке К1:

Трёхфазное металлическое к.з.

Ток металлического трёхфазного КЗ $I_{км(3)}$ в точке К1 определяется по формуле:

$$I_{км}^{(3)} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(3)}} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad 7.2.2$$

По схеме замещения суммарные сопротивления R_{Σ} и X_{Σ} определяются арифметическим суммированием до точки к.з.

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

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

Полное суммарное сопротивление до точки к.з.:

$$Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 7,69 \text{ мОм}. \quad 7.2.3$$

Ток трёхфазного металлического к.з.:

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

Трёхфазное дуговое к.з.

Ток трёхфазного дугового к.з. определяется с использованием снижающего коэффициента K_c . Для начального момента к.з. (K_{c1}) и установившегося КЗ (K_{c2}):

$$\text{При } Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 7,69$$

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

Ток трёхфазного дугового к.з. определяется по формуле:

$$I_{кд}^1 = I_{км}^1 \cdot K_c; \quad 7.2.4$$

$$I_{кд}^1 = 28,57 \cdot 0,83 = 23,7 \text{ кА при } t_{кз} \leq 0 \text{ с};$$

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

Ударный ток к.з. определяется по формуле:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K3}, ; \quad 7.2.5 ,$$

$$\frac{X_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{7,629}{0,949} = 8,03. \text{ Этому значению соответствует } \kappa_y = 1,7.$$

$$\text{Определяем } i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot 1,7 \cdot 28,57 = 68,5.$$

Для к.з. в точке К2:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для к.з. в точке К3:

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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 2,1 \Rightarrow K_{yK3} = 1,2;$$

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

Для к.з. в точке К4:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7.3 Проверка оборудования

По расчётным ударным токам к.з. в выбранных четырёх точках проверяем пригодность автоматических выключателей.

По ударным токам к.з. точки К1 проверяем выключатель ВА 75-47 и ВА-

СЭЩ В TS800(Н). Автоматические выключатели данных типов рассчитаны на ударные токи до 70 и 100 кА соответственно, следовательно, выбраны верно:

$$K1: i_{yK1} = 68,5 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 70 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 100 \text{ кА}.$$

По ударным токам к.з. точки К2 проверяем выключатели серии ВА-СЭЩ В TS800 и ВА-СЭЩ В TS630. Автоматические выключатели данных типов при исполнении с высокой коммутационной способностью (категория «Н») рассчитаны на ударные токи до 100 кА и 85 кА соответственно, следовательно, выбраны верно:

$$K2: i_{yK2} = 52,3 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 100 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 85 \text{ кА}.$$

По ударным токам к.з. точки К3 проверяем выключатели серии ВА-СЭЩ В TS630 категории исполнения «Н» и ВА-СЭЩ В TS400, рассчитанные на ударные токи 85 и 65 кА соответственно:

$$K3: i_{yK3} = 30,9 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 85 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА}.$$

По ударным токам к.з. точки К4 проверяем выключатель серии ВА-СЭЩ В TS400:

$$K4: i_{yK4} = 30,9 \text{ кА} \leq i_{yBA} = 65 \text{ кА}.$$

Автоматические выключатели этого типа рассчитаны на ударные токи до 65 кА и, следовательно, выбраны верно.

8 Расчёт защитного заземления ТП 10/0,4 кВ

Все металлические части электроустановок, нормально не находящихся под напряжением, должны заземляться. Для заземления используются естественные и искусственные заземлители (металлические конструкции зданий, арматура и т.д.).

Для подстанции принимаем:

- длина стержней $l = 5$ м;
- диаметр стержней $d = 0,012$ м;
- расстояние между стержнями $a = 10$ м;
- сопротивление заземления $R_3 = 0,5$ Ом;
- глубина заложения полосы $t = 0,7$;
- удельное сопротивление грунта $\rho = 100$ Ом·м.

Определяем расчетное сопротивление грунта:

$$\rho_{расч} = \rho_{гр} \cdot K_c = 100 \cdot 1.25 = 125 \text{ Ом}$$

где: $\rho_{гр}$ - удельное сопротивление грунта, Ом·м,

$K_c = 1.25$ - коэффициент сезонности.

Определяем сопротивление одного вертикального стержня:

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

где: $t' = t_0 + \frac{1}{2} \cdot l = 0.7 + \frac{1}{2} \cdot 5 = 3.2$ м;

$t_0 = 0,7$ - глубина заложения вершины вертикального заземлителя, м,

l - длина стержня, м.

$$R_c = \frac{0,366 \cdot 125}{5} \cdot \left[\lg\left(\frac{10}{0,012}\right) + \frac{1}{2} \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot 3.2 + 5}{4 \cdot 3.2 - 5}\right) \right] = 28.36 \text{ Ом.}$$

Определяем необходимое количество вертикальных стержней:

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

где: $n_c = 0,78$ - коэффициент использования вертикальных заземлителей, расположенных по контуру.

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

Определяем сопротивление заземляющей полосы:

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

где: $L = (A+B) \cdot 2 = (6+18) \cdot 2 = 48$ м - периметр подстанции.

Определяем сопротивление заземляющей полосы в контуре:

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

где: $n_{\Pi} = 0,26$ - коэффициент использования горизонтального полосового заземлителя.

Определяем необходимое сопротивление вертикальных заземлений:

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

Определяем уточнённое количество стержней :

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

Принимаем 76 стержней.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была рассчитана электрическая нагрузка освещения и оборудования предприятия по производству систем выпуска отработавших газов. Суммарный расчётный ток получился равным $I_p = 4669,86 \text{ A}$. Выбор числа и мощности трансформаторов производился на основе расчетной нагрузки, а также требований к категории надежности электроснабжения. Экономически выгодным вариантом оказался выбор двух силовых трансформаторов марки ТСЗ-СЭЩ-1600/10.

В работе была принята смешанная схема внутрицехового электроснабжения. Питание ТП от ЦРП завода производится кабелем. По известной мощности трансформаторов, количеству трансформаторов, а также климатическим условиям была выбрана комплектная трансформаторная подстанция производства ЗАО «Самарский электроцит» типа 2КТП–П–1600/10/0,4–05–УЗ. В ячейках РУ для данной КТП устанавливаются автоматические выключатели серии ВА-СЭЩ-В, трансформаторы тока серий ТШЛ-0,66 УЗ и ТОП-0,66 УЗ. Электроснабжение цеховых потребителей производится с помощью кабелей АВВГ и ВВГ, распределительных и магистральных шинопроводов ШРА 4 и ШМА4.

Произведен расчет токов короткого замыкания и выполнена проверка на электродинамическую стойкость автоматических выключателей.

Выполнен расчет заземления подстанции.

Список использованных источников

- 1 Неклепаев, Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп./ Б.Н. Неклепаев, И.П. Крючков. – М.: Энергоатомиздат, 2013.
- 2 Рожкова, Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для сред. проф. образования/ Л.Д. Рожкова, Л.К. Карнеева, Т.В.Чиркова. – М.: изд. центр «Академия», 2004.
- 3 Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник / Б.И. Кудрин – М.: Academia, 2015.
- 4 Карташев, И.И. Управление качеством электроэнергии / Под ред. Ю.В. Шарова. М.: Издательство МЭИ, 2008.
- 5 Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова – Москва: Форум, 2014.
- 6 Вахнина, В.В. Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. / В.В. Вахнина – Тольятти: ТГУ, 2006.
- 7 Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. / В.В. Вахнина, В.Л. Горячева, Ю.В. Степкина – Тольятти: ТГУ, 2004.
- 8 Щербаков, Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. Учебное пособие / Е.Ф. Щербаков – Москва: Форум, 2014.
- 9 Гвоздев, С.М. Энергоэффективное электрическое освещение. Учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
- 10 Сибикин, Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и

городских объектов. Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин – Москва: Форум, 2015.

11 Старшинов, В.А. Электрическая часть электростанций и подстанций. Учебное пособие / В.А. Старшинов, М.В. Пираторов, М.А. Козина. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015.

12 Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы. Учебное пособие для вузов / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.

13 СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.

14 Указания по расчету электрических нагрузок. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект» №358–90 от 1 августа 1993 г.

15 Правила устройств электроустановок. – СПб., Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 2014.

16 Шабад, М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. / М.А. Шабад - 3-е изд., перераб. и доп. - М., Энергия, 2012.

17 Kimblin, C.W. Low-voltage power circuit breakers and molded case circuit breakers-a comparison of test requirements / C. W. Kimblin // Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference. - 1999 IEEE., Sparks, NV, 1999, pp. 7-17.

18 IEEE Standard for Low-Voltage AC Power Circuit Breakers Used in Enclosures in IEEE Std C37.13-2015 (Revision of IEEE Std C37.13-2008) , pp.1-46.

19 IEEE Standard Requirements for Capacitance Current Switching for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis in IEEE Std 341-2012 (ANSI C37.073-2012) , pp.1-22.

20 Sugita, M. Relationship Between the Voltage Distribution Ratio and the Post Arc Current in Double-Break Vacuum Circuit Breakers / M. Sugita // in IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 37, no. 8, pp. 1438-1445.

21 Roybal, D.D. Circuit breaker interrupting capacity and short-time current ratings / D. D. Roybal // Pulp and Paper Industry Technical Conference, 2004. Conference Record of the 2004 Annual, 2004, pp. 130-134.