

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение корпуса обработки деталей

Студент

А.В. Литвиненко

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент С.В. Шаповалов

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

Тольятти 2021

Аннотация

Выполненная работа посвящена разработке системы электроснабжения корпуса обработки деталей.

В работе проводится исследование корпуса обработки деталей, являющийся объектом исследования в работе, а также схемы электрических соединений, электрических сетей и аппаратов корпуса обработки деталей, которые являются предметом исследования в работе.

Задачами работы являются выбор технических решений при проектировании системы электроснабжения корпуса обработки деталей так, чтобы в результате выполнения работы были соблюдены все заданные требования согласно нормативных документов [1-4].

Работа состоит из пояснительной записки, выполненной в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2016, на 62 страницах машинописного текста, включая 1 иллюстрацию, 9 таблиц и 25 литературных источника. Рисунки выполнены с использованием графического редактора Paint.NET. Графическая часть представлена шестью чертежами, которые разработаны в ОС AutoCAD 2019.

Во введении записки описывается цель, объект, предмет исследования, а также приводятся задачи исследования.

В первом разделе проводится анализ исходных данных.

Во втором разделе рассматривается расчёт системы электроснабжения корпуса обработки деталей.

В третьем разделе рассматриваются вопросы по безопасности жизнедеятельности.

В заключении приводятся основные результаты, полученные в ходе выполнения работы.

Работа может быть принята к сведению для разработки аналогичных проектов, применяемых в учебных целях.

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	7
1.1 Характеристика корпуса обработки деталей.....	7
1.2 Исходные данные на проектирование	9
2 Разработка системы электроснабжения корпуса обработки деталей	11
2.1 Выбор схемы электроснабжения корпуса обработки деталей	11
2.2 Определение расчетной нагрузки.....	14
2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции	21
2.4 Выбор компенсирующих устройств на ТП корпуса обработки деталей	22
2.5 Выбор и проверка сечения проводников корпуса обработки деталей	25
2.6 Расчет токов короткого замыкания	30
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов корпуса обработки деталей	38
2.8 Разработка мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения корпуса обработки деталей	44
3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда	47
3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности	47
3.2. Расчёт контура заземления корпуса обработки деталей	57
Заключение	60
Список используемой литературы и используемых источников.....	61

Введение

Основными задачами, которые решаются на стадии проектирования для систем электроснабжения цехов и предприятий всех типов – это обеспечения установленного нормативами качества электроэнергии, а также надежности, электробезопасности и экономичности системы электроснабжения.

В современной электроэнергетике на первое место выходят технико-экономические показатели, тесно связанные с надёжностью и экономичностью систем электроснабжения всех типов.

Неверное и некачественное проектирование систем электроснабжения всех типов влечёт потерю надёжности, увеличение потерь электроэнергии и напряжения в сетях потребителей, угрозу жизни и здоровью людей, частую поломку оборудования с последующим дорогостоящим ремонтом вследствие его постоянной перегрузки и неправильного выбора по многим критериям (в частности, по термической и динамической стойкости к токам короткого замыкания, перегрузочной способности и т.д.).

Системы электроснабжения цехов и предприятий промышленного комплекса являются важнейшим звеном питания и распределения электроэнергии.

В случае сбоев и аварий в системе электроснабжения цехов и предприятий, на их понизительных подстанциях, отказов основного оборудования, а также несоответствия поставляемой электроэнергии установленным нормам качества, потребители будут нести большие экономические убытки на всех уровнях энергосистемы и секторах промышленности.

По этой причине к системам электроснабжения цехов и предприятий предъявляются повышенные требования, которые состоят в применении современных надёжных и экономичных схемных решений с целью обеспечения бесперебойного электроснабжения потребителей цехов

предприятий промышленного сектора, а также использование новейших разработок оборудования на всех уровнях системы электроснабжения (СЭС).

В последние десятилетия в электроэнергетике появились инновационные решения в области электрических аппаратов, сетей и схем трансформаторных подстанций, являющихся основным звеном в системе электроснабжения цехов и предприятий.

Применение данных инноваций позитивно сказывается на надёжности и эксплуатации оборудования системы электроснабжения цехов и предприятий, значительно повышаются технико-экономические показатели и характеристики не только самой СЭС корпуса обработки деталей или предприятия, но и энергосистемы в целом.

Целью настоящей работы является разработка проекта системы электроснабжения корпуса обработки деталей, согласно задания и исходных данных.

В качестве объекта исследования в работе выступает система электроснабжения корпуса обработки деталей, а предметом исследования являются составляющие объекта исследования, а именно: схема электроснабжения, а также электрические сети, аппараты и оборудование системы электроснабжения корпуса обработки деталей.

Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки систем системы электроснабжения всех типов с учётом критериев надёжности, качества передаваемой электроэнергии, экономичности и безопасности согласно требованиям [1-3].

Структура работы представлена тремя главами расчётно-пояснительной записки и шестью листами графической части.

Основной задачей работы являются выбор технических решений при проектировании системы электроснабжения корпуса обработки деталей так, чтобы в результате выполнения работы были соблюдены все заданные требования согласно нормативных документов [1-4].

Кроме того, дополнительными основными задачами работы являются:

– анализ исходных данных, включающий характеристику проектируемого объекта (корпуса обработки деталей) и общие характеристики технологических механизмов с исходными данными на проектирование, а также характеристику потребителей электроэнергии, электрических нагрузок и категории помещений объекта по условиям окружающей среды;

– непосредственный расчёт и проектирование системы электроснабжения корпуса обработки деталей, включающий выбор и обоснование схемы электроснабжения корпуса обработки деталей, расчёт электрических нагрузок, расчёт и выбор числа и мощности силовых трансформаторов на понизительной ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей, выбор устройств для компенсации реактивной мощности в СЭС корпуса обработки деталей, расчёт сечения проводников, токов короткого замыкания, электрических аппаратов и оборудования СЭС корпуса обработки деталей;

– разработку и обоснование мероприятий по технике безопасности и охране труда на объекте исследования, включая мероприятия по технике безопасности при проведении работ в СЭС корпуса обработки деталей.

Все основные задачи в работе решаются на основе материалов, приведённых в рекомендованной справочной и учебной технической литературе, а также в нормативных документах и соответствующих типовых проектах, согласно задания на выполнение работы.

При выборе типономиналов защитной и коммутационной аппаратуры и сетей всех классов напряжения в рассматриваемой и проектируемой системе электроснабжения корпуса обработки деталей, применяются современные отечественные и зарубежные передовые разработки в данной отрасли.

1 Анализ исходных данных

1.1 Характеристика корпуса обработки деталей

Проектируемый в работе корпус обработки деталей является производственным цехом машиностроительного завода и служит для черновой и окончательной обработки и «подгонки» деталей различного типа, применяемых в железнодорожной, автомобильной и авиационной промышленности, а также в кораблестроении и атомной энергетике.

Кроме того, инструментальное производство специализируется на изготовлении различных видов инструментов различного типа для токарных, сверлильных, режущих станков, а также различного рода инструмента (электрического, пневматического, гидравлического), а также измерительного инструмента высокой точности (штангельциркули, микрометры и т.д.).

Окончательная обработка и «доводка» всех деталей, узлов и механизмов перечисленных типов и классов изделий также осуществляется в рассматриваемом в работе корпусе обработки деталей.

Проектирование системы электроснабжения производственного корпуса обработки деталей выполняется на основании технических условий, генерального плана расположения оборудования корпуса обработки деталей на территории машиностроительного завода и исходного задания на проектирование.

Рассматриваемый в работе корпус обработки деталей относится к категории основных производственных цехов.

По степени надежности корпус обработки деталей относится ко II категории надёжности.

Применение абразивных и химических веществ и соединений для обработки готовой продукции цехами и участками, выполняющим окончательную обработку деталей, считается опасной для здоровья людей и окружающей среды.

Известно, что производственные процессы, связанные с непосредственным процессом обработки деталей, в особенности с применением веществ на химической основе и (или) с добавлением химических компонентов, сопровождаются применением и выделением в окружающую среду массы вредных веществ, опасных для людей и животных, а также растительной среды.

Загрязнение этими веществами атмосферы и сточных вод приводит к серьезной экологической проблеме, а также непосредственной угрозе жизни и здоровью людей.

Поэтому в корпусе обработки деталей обязательно должна быть предусмотрена вытяжная вентиляция с наличием выходных специальных фильтров, поглощающих и (или) нейтрализующих указанные вредные вещества.

По условиям окружающей среды все помещения проектируемого корпуса обработки деталей относятся к сухим и пыльным отапливаемым помещениям с химически активной средой, что обусловлено требуемой технологией и характером работ на объекте.

Среда производственных помещений корпуса обработки деталей – химически активная, агрессивная, так как в воздухе рабочей зоны присутствует в большом количестве мелкая пыль, полученная при обработке деталей, а также используются химикаты и органические и неорганические соединения. Эти два основных фактора оказывают существенное влияние на изоляцию и токоведущие части электроустановок, а также на самочувствие людей.

Кроме того, при механической обработке деталей выделяется мелкодисперсионная пыль, оказывающая существенное влияние на дыхательную систему людей.

По степени пожароопасности помещения проектируемого корпуса обработки деталей относятся к несгораемым объектам, т.к. стены и крыша

выполнены из железобетонных блоков, а полы залиты бетонной смесью. Указанные материалы не горят и не поддерживают горения.

В зависимости от вида технологической деятельности в помещениях различных категорий и возможности поражения людей электрическим током, определяются характер исполнения электрооборудования, применяемого для данной среды, виды и способы выполнения электрических сетей.

Данные аспекты необходимо учитывать при непосредственном выборе марок электрооборудования, электрических сетей, способов их монтажа с целью обеспечения электробезопасности людей, а также предотвращения аварийных режимов в системе электроснабжения проектируемого корпуса обработки деталей.

1.2 Исходные данные на проектирование

Всё технологическое оборудование (электроприемники) проектируемого корпуса обработки деталей работают на переменном напряжении 380/220 В.

На территории проектируемого корпуса обработки деталей расположены следующие основные группы потребителей электрической энергии, выполняющие непосредственную роль в технологическом производственном процессе [6;7]:

- основное технологическое оборудование;
- оборудование, обеспечивающему основной технологический процесс (насосы, компрессоры, вытяжные вентиляторы);
- освещение.

К основному технологическому оборудованию корпуса обработки деталей относятся станки различных типов (токарные, фрезерные, заточные, сверлильные), а также дополнительное оборудование (пресс, гильотина) и прочие установки. Все перечисленные выше электроприёмники работают в постоянном режиме.

Исходные технические характеристики основного производственного оборудования проектируемой системы электроснабжения корпуса обработки деталей представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные технические характеристики электроприёмников корпуса обработки деталей

Наименование (марка) оборудования	Номинальная мощность, $P_{ном}$, кВт	Кэф-т мощности, $\cos \varphi$	Кэф-т использования, K_u
Компрессор обдува	90,0	0,8	0,65
Станок токарный	15,0	0,5	0,14
Станок фрезерный	16,5	0,5	0,14
Станок универсальный	46,0	0,5	0,14
Станок шлифовальный	35,0	0,5	0,14
Пресс	65,0	0,5	0,14
Станок сверлильный	11,0	0,5	0,14
Гильотина	36,0	0,5	0,14
Вентилятор производственный вытяжной (ВВМ)	5,5	0,8	0,65
Вентилятор производственный вытяжной (ВВУ)	7,0	0,8	0,65
Станок обдирочный	10,1	0,5	0,7
Станок заточной	93,7	0,6	0,8
Установка шлифовальная	95,0	0,5	0,6
Насос воды	69,0	0,5	0,65
Насос промоя	55,0	0,5	0,75
Вентилятор (ВВШ)	4,0	0,8	0,6

Выводы по разделу 1

В результате выполнения первого раздела, проведён анализ исходных данных, на основании которых проводится решение поставленных задач в работе. В работе для выбора проводников и аппаратов принимаются умеренно-континентальные климатические условия (II климатический пояс).

2 Разработка системы электроснабжения корпуса обработки деталей

2.1 Выбор схемы электроснабжения корпуса обработки деталей

При выборе схемы электроснабжения корпуса обработки деталей, следует учесть нормативные требования, которые разработанная схема электроснабжения обязана будет обеспечить [1-4]:

- максимальная близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания с целью минимизации потерь напряжения и, в конечном итоге, потерь электроэнергии в сети и оборудовании;

- сквозное секционирования всех звеньев системы электроснабжения с установкой, при необходимости, устройств автоматики, обеспечивающих резервирование (например, АВР), а также устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР) и противоаварийной автоматики с включением резерва (ПАВР);

- обеспечение оптимального режима работы спроектированной системы электроснабжения. При этом нормативными документами рекомендован отдельный режим работы секций при установке двух трансформаторов на понизительных трансформаторных подстанциях. Параллельный режим работы, согласно [4], применяется в крайнем случае для потребителей II категории при условии отличия потерь напряжения в силовых трансформаторах не более 5%. При этом номинальная мощность этих силовых трансформаторов и марка самих трансформаторов может не совпадать;

- обеспечение необходимой надёжности потребителей в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах работы энергосистемы. При этом послеаварийный режим считается наиболее тяжёлым и результаты его расчёта используются для проверки аппаратов на термическую стойкость к сквозным токам короткого замыкания;

- обеспечение нормированного качества передаваемой

электроэнергии потребителям. Особенно пристальное внимание при этом уделяется отклонению частоты, которая регламентируется [2] в пределах не более 1% от номинальной величины. Данный аспект связан с тем, что большинство приборов и оборудования очень чувствительны к перепаду частоты даже в этом узком диапазоне. Также регламентированы нормы потерь напряжения (не более 10%) и отклонения параметров сети от синусоидальных: несинусоидальность, высшие гармоники, форма графика, амплитуда, провал напряжения и др.;

- обеспечение безопасности и необходимой защиты. Схемы должны быть просты в использовании, учитывать возможность реконструкции и модернизации, установку нового оборудования. Сеть должна иметь соответствующий уровень защиты, в первую очередь – для обслуживающего персонала, а также защиты от ненормальных режимов и повреждений;

- выбранные схемы должны обеспечивать установленное нормируемое качество электрической энергии в пределах нормально – допустимых значений. Запрещено эксплуатировать оборудование и сети при значениях, превышающих предельно-допустимые параметры электроэнергии.

На основе приведённых требований нормативных документов [1-4], предъявляемых к схемам электроснабжения рассматриваемого в работе корпуса обработки деталей, а также исходных технических характеристик основного и вспомогательного оборудования, приведённых в работе, проводится проектирование системы электроснабжения корпуса обработки деталей.

Особое внимание при разработке системы электроснабжения (СЭС) корпуса обработки деталей следует обратить на питание объектов согласно их принятой категории надёжности, а также требованиям обеспечения качества электроэнергии, безопасности, экономичности и экологичности согласно [1-4].

При этом в системе электроснабжения проектируемого корпуса обработки деталей следует выделить внешнецеховую (от источника питания

до цеховой ТП) и внутрицевовую (от цеховой ТП до потребителей) системы электроснабжения.

Для каждой из них необходимо провести соответствующие расчёты и обосновать выбор схем, электрических сетей и аппаратов, а также проверить принятые решения по условиям работы в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах работы системы электроснабжения.

В работе принимается напряжение внешнецевовой СЭС 6 кВ, внутрицевовой СЭС – 0,38/0,22 кВ.

Внешнецевовое электроснабжение осуществляется кабельной линией напряжением 6 кВ от шин 6 кВ РП-1 предприятия до цеховой ТП-6/0,4 кВ. Сечение кабельной линии выбирается в работе далее.

Внутрицевовое электроснабжение проектируемого корпуса обработки деталей (II категория по надёжности электроснабжения), осуществляется от шин распределительного устройства низшего напряжения (РУ НН) двухтрансформаторной цеховой трансформаторной подстанции напряжением 6/0,4 кВ (ТП-6/0,4 кВ) на напряжении 0,38/0,22 кВ.

В системе внутрицевового электроснабжения следует также выделить питающую и распределительную сеть.

Так как оборудование корпуса обработки деталей распределено относительно равномерно и имеет рядовое расположение, питающая сеть напряжением 0,38/0,22 кВ в работе выполняется с использованием магистральных шинопроводов (шинных мостов), получающими питание от разных трансформаторов ТП-6/0,4 кВ по условию резервирования.

Питание технологических механизмов корпуса обработки деталей осуществляется от силовых распределительных шкафов (далее – СРШ), в совокупности образуя распределительную сеть 0,38/0,22 кВ внутрицевового электроснабжения [1,5].

СРШ, в свою очередь, получают питание от магистральных шинопроводов 0,38/0,22 кВ ТП-6/0,4 кВ пятижильным кабелем АВВГ,

проложенным в лотках, прикрепленных к стенам и конструкциям здания корпуса обработки деталей [1,5].

Всё производственное оборудование корпуса обработки деталей питаются от СРШ кабелями ВВГнг-LS (с пятью жилами, система – TN-C-S), прокладка – в трубах в полу корпуса обработки деталей [7].

Все сечения указанных кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ выбираются в работе далее.

В помещениях корпуса обработки деталей устанавливаются светодиодные светильники степени защиты IP20. При этом светильники уличного освещения имеют степень защиты IP54.

В цеху предусмотрено рабочее и аварийное освещение, вводные щитки которых питаются от разных трансформаторов цеховой ТП-6/0,4 кВ согласно [1].

Для защиты от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции электрооборудования и электрических сетей применяется защитное заземление.

Согласно требованиям, предъявляемым [1], принимается система заземления TN-C-S.

План расположения сетей внешнецехового и внутрицехового электроснабжения проектируемого корпуса обработки деталей приведён на графическом листе 1, схема электроснабжения проектируемого корпуса обработки деталей – на графическом листе 2.

2.2 Определение расчетной нагрузки

Расчетные электрические нагрузки корпуса обработки деталей определяется методом упорядоченных диаграмм [6].

Для каждого отдельного электроприёмника определяется расчётные активная, реактивная и полная нагрузки, а также расчётный и пусковой ток по формулам:

$$P_{p.1} = K_3 P_{ном}, \text{ кВт}; \quad (1)$$

$$Q_{p.1} = P_{p.1} \operatorname{tg} \varphi, \text{ квар}; \quad (2)$$

$$S_{p.1} = \sqrt{P_{p.1}^2 + Q_{p.1}^2}, \text{ кВА}; \quad (3)$$

$$I_{p.1} = \frac{S_{p.1}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{ А}; \quad (4)$$

$$I_{\text{пуск.}} = I_{p.1} \cdot K_n, \text{ А}; \quad (5)$$

где K_3 – «коэффициент загрузки»;

$\operatorname{tg} \varphi$ – «коэффициент реактивной мощности (принимается равным соответствующему значению $\cos \varphi$ данного электроприёмника)»;

$U_{ном}$ – «значение номинального напряжения, кВ»;

K_n – «пусковой коэффициент».

По условиям (1) – (5) для электроприёмника 10 корпуса обработки деталей (станок шлифовальный):

$$P_{p.1} = 1 \cdot 35 = 35 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.1} = 35 \cdot 1,73 = 60,55 \text{ квар};$$

$$S_{p.1} = \sqrt{35^2 + 60,55^2} = 69,9 \text{ кВА};$$

$$I_{p.1} = \frac{69,9}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 106,2 \text{ А};$$

$$I_{\text{пуск.}} = 106,2 \cdot 5 = 531 \text{ А}.$$

Аналогично проведены расчёты для остальных электроприёмников корпуса обработки деталей и результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта силовых нагрузок электроприёмников корпуса обработки деталей

Наименование	$P_{\text{ном}}$, кВт	φ	φ	Расчётные данные				
				$P_{\text{р.1}}$, кВт	р.1, квар	р.1, кВА	р.1, А	пуск, А
Компрессор обдува	90,0	0,8		90,0				865,5
Станок токарный	15,0	0,5		15,0				230,55
Станок фрезерный	16,5	0,5		16,5				253,75
Станок универсальный	46,0	0,5		46,0				707,05
Станок шлифовальный	36,0	0,5		36,0				553,35
Пресс	65,0	0,5		65,0				999,1
Станок сверлильный	11,0	0,5		11,0				169,1
Гильотина	36,0	0,5		36,0				553,35
Вентилятор производственный вытяжной (ВВМ)	5,5	0,8	0,65	5,5				52,9
Вентилятор производственный вытяжной (ВВУ)	7,0	0,8	0,65	7,0				67,3
Станок обдирочный	10,1	0,5		10,1				155,25
Станок заточной	93,7	0,6		93,7				1440,3
Установка шлифовальная	95,0	0,5		95,0				1460,3
Насос воды	69,0	0,5		69,0				1060,6
Насос промоя	55,0	0,5		55,0				845,5
Вентилятор (ВВШ)	4,0	0,8		4,0				35,25

Далее определяются расчётные активная, реактивная и полная нагрузки для каждого СРШ отдельно по приведённой ниже методике [6].

Активная и реактивная нагрузки за наиболее загруженную смену [6]:

$$P_{см} = \sum_{i=1}^n (P_{ном} \cdot k_u), \text{кВт}. \quad (6)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg} \varphi, \text{квар}. \quad (7)$$

Откуда

$$\cos \varphi_{ср.взв} = \frac{\sum P_{ном} \cdot \cos \varphi}{\sum P_{ном}}. \quad (8)$$

Также проводится расчёт двух основных параметров, характеризующих группу приёмников СРШ, с последующим выбором K_p

$$n_э = \frac{(\sum P_{ном})^2}{P_{ном}^2}. \quad (9)$$

$$k_u = \frac{P_{см}}{\sum P_{ном}}. \quad (10)$$

«Расчетная активная нагрузка» СРШ [6]

$$P_p = P_{см} \cdot K_p, \text{кВт}. \quad (11)$$

«Расчетная реактивная нагрузка» СРШ [6]:

$$Q_p = P_{см} \cdot \text{tg} \varphi_{ср.взв} \cdot K_{pp}, \text{квар}, \quad (12)$$

где K_{pp} – значение коэффициента расчетной реактивной нагрузки.

«Полная расчётная нагрузка» СРШ [6]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА}. \quad (13)$$

«Расчетный ток группы электроприемников» СРШ [6]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, A. \quad (14)$$

«Значение пикового тока» СРШ [6]:

$$I_{пик} = I_{н.п.} + (I_{дл.} - k_u \cdot I_n), A. \quad (15)$$

Результаты расчётов нагрузок для СРШ корпуса обработки деталей приведены в таблице 3.

«Суммарная силовая нагрузка» всего корпуса обработки деталей определяется по той же методике, что и для СРШ, но при этом учитывается нагрузка всех электроприёмников корпуса обработки деталей.

При этом эффективное число ЭП определяется упрощённо [6]

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^m P_{ном.i}}{P_{ном.max}} \quad 1$$

При этом также упрощённо принимается равенство расчётных коэффициентов активной и реактивной нагрузок: $K'_{р.а} = K'_{р.р}$ [6], значит

$$P_{р.о} = K_{с.о} P_{ном.о} K_{пр.а}, кВт. \quad (17)$$

Следовательно, для освещения при расчёте активной нагрузки применяется следующая формула [9-10]

$$P_{ном.о} = P_{уд.о} F_u, кВт; \quad (18)$$

где $P_{уд.о}$ – «значение удельной установленной мощности осветительной нагрузки на 1 м^2 освещаемой площади», кВт/м^2 [8];

F_u – «площадь территории, которая подлежит освещению», м^2 .

«Освещение выполняется светодиодными лампами.»

«При этом расчётная реактивная нагрузка освещения определяется по выражению» [9-10]:

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \text{tg} \varphi_o, \text{квар}; \quad (19)$$

где $\text{tg} \varphi_o$ – значение коэффициента реактивной мощности освещения».

Согласно (17) – (19):

$$P_{уд.о} = 15 \text{ Вт/м}^2;$$

$$P_{ном.о} = 2520 \cdot \frac{15}{1000} = 37,38 \text{ кВт};$$

$$P_{p.o} = 37,8 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 37,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.o} = 37,7 \cdot 0,43 = 16,2 \text{ квар};$$

$$S_{p.o} = \sqrt{37,7^2 + 16,2^2} = 41,1 \text{ кВА};$$

$$I_{p.o} = \frac{41,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 63,1 \text{ А}.$$

«Нагрузка аварийного освещения принимается 10% от рабочего освещения».

Питание аварийного освещения осуществляется от второго силового трансформатора понизительной подстанции проектируемой системы электроснабжения корпуса обработки деталей.

Полученные «результаты расчётов нагрузок» корпуса обработки деталей приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов электрических нагрузок корпуса обработки деталей

Номер ЭП п/п	Кол-во, шт	Установ-ленная мощность, кВт		Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном}$, кВт	$P_{сум}$, кВт	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А	I_n , А.
СРШ1								
2	4	15,0	60,0	Расчёт не проводится (только для СРШ)				
1	2	90,0	360,0					
10	1	7,0	7,0					
Итого СРШ1	7	112	427,0	274,7	353,5	447,7	688,8	1634,1
СРШ2								
12	1	93,7	93,7	Расчёт не проводится (только для СРШ)				
13	1	95,0	95,0					
14	1	69,0	69,0					
15	1	55,0	55,0					
8	2	36,0	70,0					
16	1	4,0	4,0					
Итого СРШ2	7	352,7	386,7	188,4	242,5	307,1	472,5	1228,4
СРШ3								
11	2	10,1	20,2	Расчёт не проводится (только для СРШ)				
7	2	11,0	22,0					
3	3	16,5	49,5					
9	1	5,5	5,5					
Итого СРШ3	8	43,1	97,2	69,2	89,0	112,8	173,5	451,1
СРШ4								
4	4	46,0	184,0	Расчёт не проводится (только для СРШ)				
5	2	36,0	72,0					
6	2	65,0	130,0	Расчёт не проводится (только для СРШ)				
Итого СРШ4	8	147	386,0	156,4	297,5	336,1	517,1	1344,5
Всего СРШ	94	654,8	2749,6	659,1	882,4	1441,8	2218,2	4658,1
ЩРО				37,7	16,2	41,1	63,1	164,1
ЩАО				3,8	1,6	4,1	6,3	16,4
Всего по корпусу				700,6	900,2	1476,9	2272,2	6183,1

2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции

На ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей устанавливаются два силовых трансформатора, так как корпус обработки деталей относится ко II категории надёжности.

Так как ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей является понизительной подстанцией, которая питает потребители корпуса обработки деталей, большинство из которых относится к I и II категориям надёжности, следовательно, на данной понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей принимается к установке два силовых трансформатора.

При проектировании системы электроснабжения корпуса обработки деталей, в работе также проводится необходимая проверка силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы.

Однако для точного выбора силовых трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей необходимо учесть величину реактивной мощности и степень её компенсации в проектируемой системе электроснабжения.

Для двухтрансформаторных ТП-6/0,4 кВ, которые питают потребители I и II категорий надёжности, мощность силового трансформатора определяется из соотношения

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\Sigma P_{\text{р.}}}{N \beta_{\text{т}}}; \quad (20)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – «паспортная мощность трансформатора, установленного на ТП-6/0,4 кВ, кВА»;

N – «число трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ, шт»;

$\beta_{\text{т}}$ – «коэффициент загрузки трансформатора ТП-6/0,4 кВ» [1].

Следовательно, расчётная мощность силового трансформатора для установки на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{700,6}{2 \cdot 0,8} = 437,9 \text{ кВА.}$$

По [12] выбран для установки на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей силовой трансформатор сухого типа марки ТСЗЛ-630/6 в количестве двух единиц.

Условия проверок как в нормальном, так и послеаварийном режиме для выбранных силовых трансформаторов ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей выполняется.

Поэтому в работе окончательно принимается два силовых трансформатора номинальной мощностью 630 кВА для установки на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей.

Конструктивно питающая понизительная ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей выполнена в виде закрытой подстанции с применением комплектных распределительных устройств.

Дополнительная проверка выбранных трансформаторов проводится после выбора устройств компенсации реактивной мощности.

Конструкция ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей представлена в графической части работы.

2.4 Выбор компенсирующих устройств на ТП корпуса обработки деталей

Проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств для установки на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей по выражению [3]:

$$Q_{\text{т}} = \sqrt{(N\beta_{\text{т}}S_{\text{ном.т}})^2 - P_{\text{р.ТП}}^2}, \quad (21)$$

где N – количество трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ, шт;

β_m – коэффициент загрузки трансформаторов ТП-6/0,4 кВ.

Мощность конденсаторных установок (КУ) на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей

$$Q_{н.к} = Q_{р.т} - Q_{т}, \quad (22)$$

где $Q_{р.т}$ – значение расчетной реактивной нагрузки ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей, квар.

Мощность регулируемой части КУ ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей

$$Q_{н.к.р} = Q_{р.т} - Q_{н.к} - P_{р.ТП} \cdot tg\varphi_{н}, \quad (23)$$

где $tg\varphi_{н} = 0,329$ - коэффициент реактивной мощности при $cos\varphi_{н} = 0,95$.

Суммарная расчетная мощность компенсирующих устройств на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей:

$$Q_{КУ} = Q_{н.к} + Q_{н.к.р}. \quad (24)$$

С учётом установки компенсирующих устройств на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей

$$Sp = \sqrt{P_p^2 + (Q_p^2 - Q_{КУ})}. \quad (25)$$

Фактический коэффициент загрузки трансформаторов ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей

$$K_3 = \frac{S_p}{N_m \cdot S_{ном.м}}. \quad (26)$$

Согласно приведённой расчётной методике, проводится расчёт и выбор компенсирующих устройств для установки на ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей.

При этом в работе применяется групповая компенсация реактивной мощности.

Согласно (21)

$$Q_T = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 630)^2 - 700,6^2} = 724,7 \text{ квар.}$$

Согласно (22)

$$Q_{н.к} = 1300,2 - 724,7 = 575,5 \text{ квар.}$$

Т.к. в работе принята двухтрансформаторная цеховая подстанция, следовательно, принимается парное количество конденсаторных установок напряжением 0,4 кВ на ТП-6/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения корпуса обработки деталей.

Принимается к установке на цеховой ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей две автоматические конденсаторные установки марки УКРМ-0,4-280-6-10 [14].

Суммарная мощность КУ на ТП-6/0,4 кВ

$$Q_{КУ} = 2 \cdot 280 = 560 \text{ квар.}$$

Расчётная нагрузка цеховой ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей с учётом выбранных КУ

$$S_p = \sqrt{700,6^2 + (1300,2 - 560)^2} = 1019,2 \text{ кВА.}$$

Проверка выбранных трансформаторов в нормальном режиме с учётом выбранных КУ [12]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,85. \quad (27)$$

Проверка выбранных ранее трансформаторов сухого типа марки ТСЗЛ-630/6 в послеаварийном режиме с учётом выбранных КУ [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,7; \quad (28)$$

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot 1019,2}{630} = 0,8 \leq 0,85;$$

$$K_3^{n.ав} = \frac{1019,2}{630} = 1,6 \leq 1,7.$$

Окончательно принимается к установке на ТП-6/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения корпуса обработки деталей два силовых трансформатора сухого типа марки ТСЗЛ-630/6.

2.5 Выбор и проверка сечения проводников корпуса обработки деталей

В системе электроснабжения корпуса обработки деталей выбору подлежат следующие проводники электрических сетей:

- питающая кабельная линия электропередачи напряжением 6 кВ;
- питающие линии напряжением 0,38/0,22 кВ;
- распределительные линии 0,38/0,22 кВ.

Проводится выбор силовых кабелей питающей кабельной линии электропередачи корпуса обработки деталей напряжением 6 кВ по критериям экономической плотности тока.

Максимальное значение рабочего тока в питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6 кВ корпуса обработки деталей:

$$I_{\text{раб.мах}} = K_{\text{пер.}} \frac{S_{\text{ном.}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}} \quad (29)$$

Предварительно выбирается сечение питающей кабельной линии напряжением 6 кВ корпуса обработки деталей, которое будет проверено в дальнейшем.

Для этого рассчитывается экономически эффективное сечение проводника F_W и выбирается ближайшее номинальное сечение кабельной линии

$$F_W = \frac{I_{\text{раб.мах}}}{j_{\text{ЭК}}}, \text{ мм}^2; \quad (30)$$

$$I_p = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ A};$$

$$F_s = \frac{60,6}{1,6} = 37,9 \text{ мм}^2.$$

Согласно [14], выбирается ближайшее номинальное сечение питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6 кВ с условиями: $F=35 \text{ мм}^2$, $I_{\text{дон}}=125 \text{ A}$ (отклонений от стандартных условий прокладки нет).

Максимальный расчётный ток питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6 кВ с учётом резервирования

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 60,6 = 84,84 \text{ A.}$$

Условие проверки по ПАВ режиму выполняется

$$125 \text{ A} \geq 84,84 \text{ A.}$$

Для питающей кабельной линии напряжением 6 кВ корпуса обработки деталей не принимается во внимание условия гололёда и коронирования, как для воздушных линий, поэтому данная проверка в работе не требуется.

Окончательно выбирается питающая кабельная линия электропередачи напряжением 6 кВ АСБ-6 (3×35).

На данной питающей кабельной линии электропередачи напряжением 6 кВ используются два силовых кабеля, питающие по радиальной схеме электроснабжения силовые трансформаторы ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей.

В результате выполнения работы выбрана схема питания внешнего электроснабжения корпуса обработки деталей с питанием от энергосистемы кабельной линией на напряжении 6 кВ с применением силового кабеля марки АСБ-6 (3×35), удовлетворяющие условиям выбора и всех проверок.

На ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей установлены два силовых трансформатора сухого типа марки ТСЗЛ-630/6, которые питают указанные кабельные линии 6 кВ.

Кабельные линии напряжением 6 кВ в работе прокладываются в земле от сборных шин ГПП до ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей.

Проводится выбор шинных мостов (шинопровода магистрального) по значению полной нагрузки корпуса обработки деталей (на один шинопровод,

питающегося от каждого трансформатора ТП-6/0,4 кВ, приходится половина расчётной нагрузки корпуса обработки деталей)

$$I_{p.} = \frac{0,5 \cdot 1019,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 784 \text{ A.}$$

Выбирается магистральный алюминиевый шинопровод марки KLM 10x100 с $I_{дон} = 1250 \text{ A}$ [14].

Проверка по условию нормального режима выполняется

$$1250 \text{ A} \geq 784 \text{ A.}$$

Максимальный рабочий ток шинопровода в послеаварийном режиме

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 784 = 1097,6 \text{ A.}$$

Проверка по условию послеаварийного режима выполняется

$$1250 \text{ A} \geq 1097,6 \text{ A.}$$

Проводится выбор кабельных линий 0,38/0,22 кВ:

- питающей сети – от шинопроводов к СРШ (в закрытых лотках);
- распределительной сети – от СРШ к отдельным электроприёмникам (в трубах в полу с последующей заливкой пола корпуса обработки деталей бетоном).

Выбор и проверка кабельных линий напряжением 0,38/0,22 кВ проводится по допустимому нагреву токами нормального и послеаварийного режима [17].

Проводится выбор сечения кабелей 0,38/0,22 кВ питающей сети корпуса обработки деталей.

Принимаются к использованию в сети 0,38/0,22 кВ корпуса обработки деталей силовые негорючие кабели марки ВВГнг-LS [17].

Проводится выбор кабеля на примере СРШ1 корпуса обработки деталей, расчётный ток $I_p = 317,2$ А. Для питания данного СРШ1 предварительно выбирается кабель марки ВВГнг-LS (5×185) с $I_{доп} = 386$ А [17].

Допустимый ток данного кабеля с учётом отклонений от стандартных условий прокладки равен:

$$I'_{доп} = 0,9 \cdot 386 = 347,4 \text{ А.}$$

Условие проверки по нагреву током нормального режима с учётом поправочных коэффициентов выполняются

$$I'_{доп} = 347,4 \text{ А} \geq 317,2 \text{ А.}$$

Аналогично проводится выбор остальных кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ и результаты расчёта приводятся в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ корпуса обработки деталей

Наименование	I_p , А	Марка кабеля	$I_{доп}$, А	$I'_{доп}$, А
СРШ1	688,8	2ВВГнг-LS (5×185)	772	694,8
СРШ2	472,5	2ВВГнг-LS (5×120)	588	529,2
СРШ3	173,5	ВВГнг-LS (5×70)	196	176,4
СРШ4	517,1	2ВВГнг-LS (5×120)	588	529,2
ЩРО	63,1	ВВГнг-LS (5×16)	78	70,2
ЩАО	6,3	ВВГнг-LS (5×2,5)	25	22,5

Аналогично выбирается сечение кабелей распределительной сети (таблица 5).

Таблица 5 – Выбор кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ корпуса обработки деталей

Наименование	I_p, A	Силовой кабель		
		Марка кабеля	$I_{доп}, A$	$I'_{доп}, A$
Насос промоя	169,1	ВВГнг-LS (5×70)	214	192,6
Компрессор обдува	173,1	ВВГнг-LS (5×70)	214	192,6
Станок токарный	46,11	ВВГнг-LS (5×6)	54	48,6
Станок обдирочный	31,05	ВВГнг-LS (5×4)	43	38,7
Станок фрезерный	50,73	ВВГнг-LS (5×10)	73	65,7
Станок заточной	288,05	ВВГнг-LS (5×150)	332	298,8
Установка шлифовальная	292,05	ВВГнг-LS (5×150)	332	298,8
Насос воды	212,12	ВВГнг-LS (5×95)	259	233,1
Станок универсальный	141,41	ВВГнг-LS (5×50)	173	155,7
Станок шлифовальный	110,67	ВВГнг-LS (5×25)	123	110,7
Пресс	199,82	ВВГнг-LS (5×95)	259	233,1
Станок сверлильный	33,82	ВВГнг-LS (5×4)	43	38,7
Гильотина	110,67	ВВГнг-LS (5×25)	123	110,7
ВВУ	13,46	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
ВВШ	7,05	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
ВВМ	10,58	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7

2.6 Расчет токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания (далее – КЗ) на шинах 6 кВ ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей проводится с целью:

– проверки электрических аппаратов и проводников на термическую и электродинамическую стойкости к токам короткого замыкания. Для этой цели проводятся расчёты максимального трёхфазного тока, а также значения ударного тока КЗ в расчётных точках;

– выбора и проверки на чувствительность уставок релейной защиты и автоматики. Для этой цели проводятся расчёты максимального трёхфазного

тока, а также значения двухфазного (минимального) тока КЗ в расчётных точках.

Расчёт искомых трёхфазных токов КЗ в максимальном режиме проводится в расчётной точке К1 – сеть напряжением 6 кВ (на выводах ВН силового трансформатора), а также в расчётной точке К2 – сеть напряжением 0,4 кВ (на выводах НН трансформатора).

Исходная схема представлена на рисунке 1.

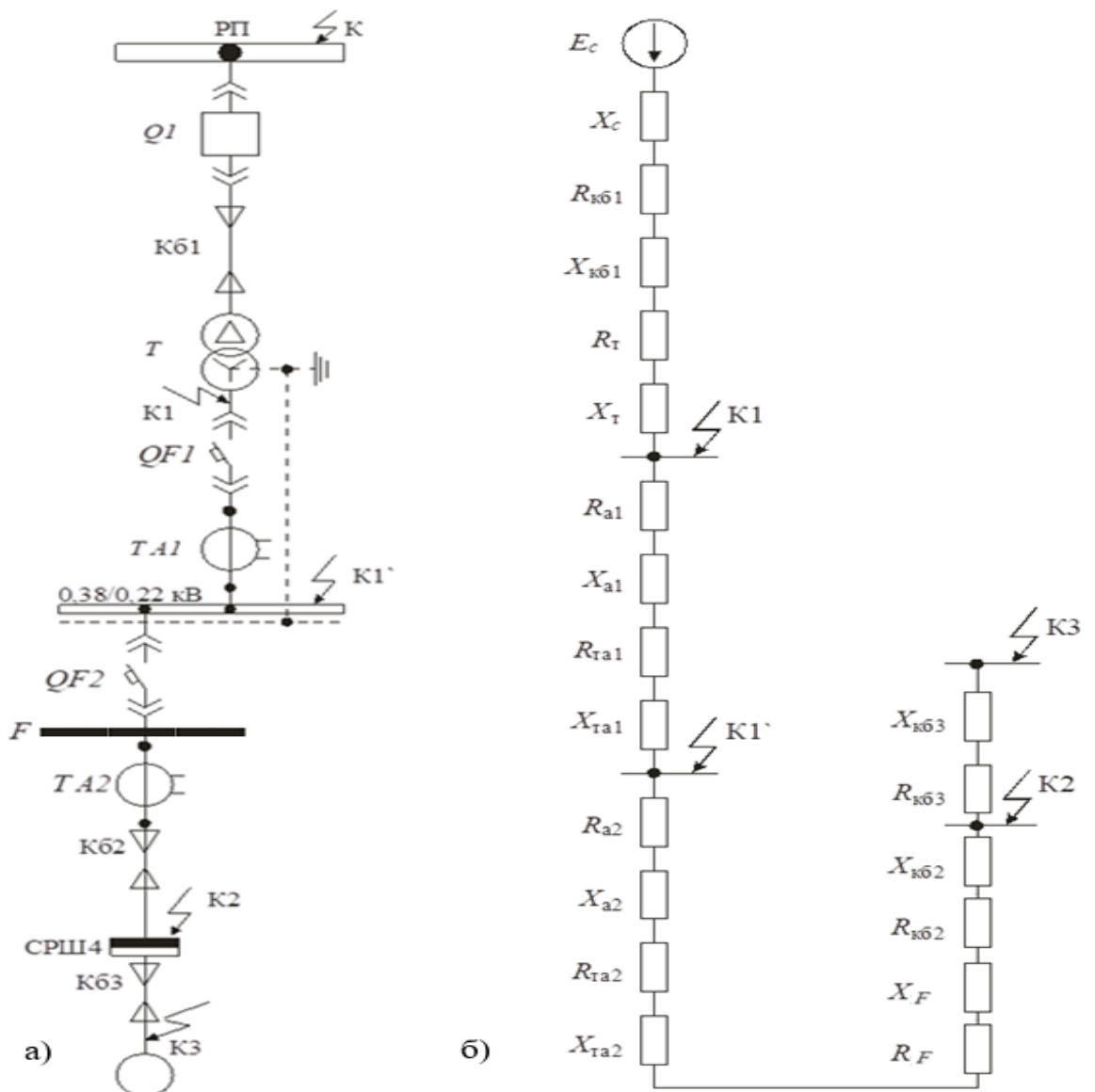


Рисунок 1 – «Схема для расчета токов КЗ: а - расчетная схема; б - схема замещения»

«Базисная мощность в системе электроснабжения» корпуса обработки деталей [17]

$$S_{\sigma} = S_{ном.м} = 630 \text{ кВА}. \quad (31)$$

«Базисные напряжения в системе электроснабжения» корпуса [17]

$$U_{\sigma 1} = 1,05 \cdot U_{ном.ВН}, \text{ кВ}; \quad (32)$$

$$U_{\sigma 1} = 1,05 \cdot 6 = 6,3 \text{ кВ};$$

$$U_{\sigma 2} = 0,4 \text{ кВ}.$$

«Базисный ток в системе электроснабжения» корпуса обработки деталей определяется так [17]

$$I_{\sigma} = \frac{S_{\sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_{\sigma 1}} \text{ А}; \quad (33)$$

$$I_{\sigma} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 57,74 \text{ А}.$$

Согласно данным предприятия, «начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ» в точке К (на шинах 6 кВ ТП-6/0,4 кВ в системе электроснабжения корпуса обработки деталей) равно $I_{п.о}^{(3)} = 6000 \text{ А}$.

«Сопротивление системы» [16]

$$x_{c*} = \frac{I_{\sigma}}{I_{п.о}^{(3)}} \text{ о.е.}; \quad \begin{matrix} 3 \\ 4 \end{matrix}$$

$$x_{c*} = \frac{57,74}{6000} = 0,0096 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление кабельной линии напряжением 6 кВ» [17]

$$x_{кб1}^* = x_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2} \text{ о.е.}; \quad \begin{array}{l} 3 \\ 5 \end{array}$$

$$r_{кб1}^* = r_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2} \text{ о.е.}; \quad \begin{array}{l} 3 \\ 6 \end{array}$$

$$x_{кб1}^* = 0,083 \cdot 0,5 \frac{0,63}{6,3^2} = 0,00066 \text{ о.е.};$$

$$r_{кб1}^* = 0,625 \cdot 0,5 \frac{0,63}{6,3^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

«Сопротивление силового трансформатора ТП-6/0,4 кВ» корпуса обработки деталей [17]

$$r_{Т}^* = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{НОМ.Т}} \text{ о.е.}; \quad \begin{array}{l} 3 \\ 7 \end{array}$$

$$x_{Т}^* = \sqrt{u_{К}^2 - r_{Т}^2} \text{ о.е.}; \quad \begin{array}{l} 3 \\ 8 \end{array}$$

$$r_{Т}^* = \frac{7,6}{630} = 0,0121 \text{ о.е.};$$

$$x_{Т}^* = \sqrt{0,055^2 - 0,0121^2} = 0,0537 \text{ о.е.}$$

Определяется «суммарное сопротивление в относительных единицах» к точке К1

$$x_{\Sigma K1}^* = x_C^* + x_{кб1}^* + x_{Т}^*, \text{ о.е.}; \quad \begin{array}{l} 3 \\ 9 \end{array}$$

$$x_{\Sigma K1}^* = 0,0096 + 0,00066 + 0,0537 \approx 0,064 \text{ о.е.};$$

$$r_{*\Sigma K1} = r_{*K61} + r_{*T}, \text{ о.е.}; \quad 4$$

0

$$r_{*\Sigma K1} = 0,005 + 0,0121 \approx 0,017 \text{ о.е.};$$

$$z_{*\Sigma K1} = \sqrt{x_{*\Sigma K1}^2 + r_{*\Sigma K1}^2}, \text{ о.е.}; \quad 4$$

1

$$z_{*\Sigma K1} = \sqrt{0,064^2 + 0,017^2} = 0,066 \text{ о.е.}$$

Определяется «суммарное сопротивление в именованных единицах» к точке К1

$$x_{\Sigma K1} = x_{*\Sigma K1} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом.}; \quad 4$$

2

$$x_{\Sigma K1} = 0,064 \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 0,25 \text{ Ом.};$$

$$r_{\Sigma K1} = r_{*\Sigma K1} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом.}; \quad 4$$

3

$$r_{\Sigma K1} = 0,017 \cdot \frac{0,4^2}{0,63} = 0,0043 \text{ Ом.};$$

$$z_{\Sigma K1} = \sqrt{r_{\Sigma K1}^2 + x_{\Sigma K1}^2}, \text{ Ом.}; \quad 4$$

4

$$z_{\Sigma K1} = \sqrt{0,25^2 + 0,0043^2} = 0,25 \text{ Ом.}$$

Определяется «суммарное сопротивление в именованных единицах» к точке К1''

$$x_{\Sigma K1'} = x_{\Sigma K1} + x_{a1} + x_{TA1}, \text{ Ом.}; \quad 4$$

5

$$x_{\Sigma K1'} = 0,25 + 0,0008 + 0,0045 = 0,2625 \text{ Ом.};$$

$$r_{\Sigma K1'} = r_{\Sigma K1} + r_{a1} + r_{TA1}, \text{ Ом}; \quad 4$$

$$r_{\Sigma K1'} = 0,0043 + 0,00014 + 0,007 \approx 0,0115 \text{ Ом}; \quad 6$$

$$z_{\Sigma K1'} = \sqrt{r_{\Sigma K1'}^2 + x_{\Sigma K1'}^2}, \text{ Ом}; \quad 4$$

$$z_{\Sigma K1'} = \sqrt{0,2625^2 + 0,0115^2} \approx 0,263 \text{ Ом}. \quad 7$$

«Сопротивление кабельных линий» К62(к СРШ4) и К63 (к наиболее удалённому электроприёмнику, получающему питание от СРШ4)

$$x_{к6.i} = x_{0.к6.i} l_{к6.i}, \text{ Ом}; \quad 4$$

$$r_{к6.i} = r_{0.к6.i} l_{к6.i}, \text{ Ом}; \quad 4$$

$$x_{к6.2} = 0,312 \cdot 0,04 = 0,0125 \text{ Ом}; \quad 6$$

$$r_{к6.2} = 0,32 \cdot 0,04 = 0,0128 \text{ Ом};$$

$$x_{к6.3} = 0,512 \cdot 0,25 = 0,128 \text{ Ом};$$

$$r_{к6.3} = 3,08 \cdot 0,25 = 0,77 \text{ Ом}.$$

Определяется сопротивление шинпровода F

$$x_F = x_{0.F} \cdot l_F, \text{ Ом}; \quad 5$$

$$r_F = r_{0.F} \cdot l_F, \text{ Ом}; \quad 5$$

$$r_0 = 0,032 \text{ Ом/км}; x_0 = 0,0176 \text{ Ом/км}; \quad 1$$

$$x_F = 0,0176 \cdot 1,2 = 0,021 \text{ Ом};$$

$$r_F = 0,032 \cdot 1,2 = 0,038 \text{ Ом}.$$

«Суммарное сопротивление в именованных единицах» к точке К2

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K1'} + x_{a2} + x_{TA2} + x_{k\delta.2} + x_F, \text{ Ом}; \quad 5$$

$$x_{\Sigma K2} = 0,2625 + 0,0014 + 0,007 + 0,0125 + 0,021 = 0,3044 \text{ Ом}; \quad 7$$

$$r_{\Sigma K2} = r_{\Sigma K1'} + r_{a2} + r_{TA2} + r_{k\delta.2} + r_F, \text{ Ом}; \quad 5$$

$$r_{\Sigma K2} = 0,0115 + 0,00014 + 0,007 + 0,0128 + 0,038 = 0,0694 \text{ Ом}; \quad 2$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}; \quad 5$$

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{0,3044^2 + 0,0694^2} \approx 0,312 \text{ Ом}. \quad 4$$

«Суммарное сопротивление в именованных единицах» к точке К3

$$x_{\Sigma K3} = x_{\Sigma K2} + x_{k\delta.3}, \text{ Ом}; \quad 5$$

$$x_{\Sigma K3} = 0,3044 + 0,128 = 0,4324 \text{ Ом}; \quad 5$$

$$r_{\Sigma K3} = r_{\Sigma K2} + r_{k\delta.3}, \text{ Ом}; \quad 5$$

$$r_{\Sigma K3} = 0,0694 + 0,77 = 0,8394 \text{ Ом}; \quad 6$$

$$z_{\Sigma K3} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}; \quad 5$$

$$z_{\Sigma K3} = \sqrt{0,4324^2 + 0,8394^2} \approx 0,944 \text{ Ом}. \quad 7$$

Определение «тока трехфазного КЗ в точках К1, К1", К2, К3» [16]

$$I_{K.i}^{(3)} = \frac{U_{\delta 2}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K.i}}, \text{ кА}; \quad 5$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,25} = 0,92 \text{ кА}; \quad 8$$

$$I_{K1'}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,263} = 0,88 \text{ кА};$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,312} = 0,74 \text{ кА};$$

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,944} = 0,24 \text{ кА}.$$

Ударный ток» [16]

$$i_{y.k.i} = \sqrt{2} \cdot K_y I_{к.i}^{(3)}$$

5
~

где K_y – «ударный коэффициент» [16].

i

$$i_{y.k1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 0,92 = 1,82 \text{ кА};$$

$$i_{y.k1}'' = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 0,88 = 1,74 \text{ кА};$$

$$i_{y.k2} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 0,74 = 1,47 \text{ кА};$$

$$i_{y.k3} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 0,24 = 0,48 \text{ кА}.$$

Для точки К (6 кВ) для дальнейшей проверки чувствительности релейной защиты необходимо рассчитать «ток двухфазного КЗ» [16]

$$I_{к.i}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к.i}^{(3)}$$

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6 \approx 5,2 \text{ кА}.$$

6
~

Аналогично рассчитываются остальные «токи двухфазного КЗ»

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,92 \approx 0,80 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 1'}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,88 \approx 0,76 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,76 \approx 0,66 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,24 \approx 0,21 \text{ кА}.$$

Полученные «результаты расчётов токов КЗ» приведены в таблице 6.

Таблица 6 – «Результаты расчётов токов КЗ» в проектируемой системе электроснабжения корпуса обработки деталей

Точка КЗ	U _{ном} , кВ	K _{уд}	I ⁽³⁾ кА	I ⁽²⁾ кА	i _{уд} , кА
К	6	1,8	6,0	5,2	15,27
К1	0,4	1,4	0,92	0,80	1,82
К1'	0,4	1,4	0,88	0,76	1,74
К2	0,4	1,4	0,76	0,66	1,47
К3	0,4	1,4	0,24	0,21	0,48

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов корпуса обработки деталей

Для защиты и коммутации цеховой трансформаторной подстанции корпуса обработки деталей ТП-6/0,4 кВ на напряжении 6 кВ на питающем РП-6 кВ используются высоковольтные выключатели.

Для обеспечения безопасности проводимых работ с целью создания видимого разрыва в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции корпуса обработки деталей ТП-6/0,4 кВ применяются втычные контакты (ножи) ячеек типа КРУН (комплектные распределительные устройства наружной установки).

Для обеспечения питания вторичных цепей в схеме 6 кВ используются трансформаторы тока и напряжения.

Для защиты от атмосферных перенапряжений вследствие удара молнии, а также от внутренних перенапряжений, в схеме цеховой трансформаторной подстанции корпуса обработки деталей ТП-6/0,4 кВ применяются ограничители перенапряжения.

Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по напряжению и рабочему максимальному току [6-8]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (61)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (62)$$

Выбранные аппараты высокого напряжения подлежат следующим проверкам по условиям [14]:

$$I_{nt} \leq I_{откл.}; \quad (63)$$

$$(\sqrt{2} \cdot I_{пт} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n); \quad (64)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}; \quad (65)$$

$$i_y \leq i_{нр.с}; \quad (66)$$

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (67)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (68)$$

Выбор электрических аппаратов высокого напряжения на стороне ВН цеховой трансформаторной подстанции корпуса обработки деталей ТП-6/0,4 кВ рассмотрен на примере вводного выключателя в РУ-6 кВ.

Предварительно выбирается для установки в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции корпуса обработки деталей ТП-6/0,4 кВ, вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 и проводится его проверка по условиям, приведённым выше [8]

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} \geq U_{сети} = 6 \text{ кВ};$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 84,9 \text{ А};$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 6,0 \text{ кА};$$

$$i_{пр.скв} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

Окончательно выбирается для установки на вводе РУ-6 кВ установки в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции корпуса обработки деталей ТП-6/0,4 кВ вакуумный выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20/630-У2-48.

Установлено, что выбранный высоковольтный выключатель удовлетворяет всем условиям проверок [13], поэтому может быть использован в качестве вводного выключателя в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции корпуса обработки деталей ТП-6/0,4 кВ.

Распределительное устройство 6 кВ предприятия, от которого получают питание потребители напряжением 6 кВ, представляет собой комплектное распределительное устройство внутренней установки.

В виду этого, в РУ-6 кВ не устанавливаются разъединители, которые заменяются втычными контактами, что является существенным преимуществом данного типа ячеек.

Ячейки КРУН-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции корпуса обработки деталей ТП-6/0,4 кВ, комплектуются соответствующими типами инновационных электрических аппаратов, выбор которых проводится аналогично выбору вводного выключателя 6 кВ, приведённому ранее по условиям.

Результаты выбора электрических аппаратов для их непосредственной установки в ячейках КРУН-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 6 кВ для установки в ячейках КРУН-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей

Наименование электрического аппарата	Марка (типономинал) электрического аппарата
Выключатель высокого напряжения	ВВ/TEL-10-20/3600-У2-48
Предохранитель плавкий	ПК103-6-100-31,5/У3
Трансформатор тока	ТПЛ-10
Трансформатор напряжения	НАМИ-10
Ограничители перенапряжений	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1
Выключатель нагрузки	ВНР-10/400-10-У3

Выбранные типы и марки электрических аппаратов номинальным напряжением 6 кВ для их установки в ячейках КРУН-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей, показаны в графической части работы.

Далее в работе проводится непосредственный выбор и проверка современных электрических аппаратов марки ВА напряжением 0,38/0,22 кВ [13], которые устанавливаются в шкафах РУ-0,4 кВ цеховой ТП-6/0,4 кВ.

Номинальные токи автомата и теплового расцепителя [13,15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p; \quad (69)$$

$$I_{ном.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (70)$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя [13,14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k. \quad (71)$$

где $K_{то}$ – кратность тока отсечки.

Для защиты одиночных электродвигателей [13,14]:

$$I_p = I_{ном}; \quad (72)$$

$$I_n = I_{пуск}. \quad (73)$$

Для примера выбирается автомат ввода ТП-6/0,4 кВ с расчётным током, равным рабочему току силового трансформатора сухого типа марки ТСЗЛ-630/6 с учётом резервирования [14]

$$I_{p.} = 1,4 \frac{S_{ном.т.}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}, \quad (74)$$

$$I_{p.} = 1,4 \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 1356,9 \text{ A.}$$

Предварительно выбирается автомат марки ВА 53-43 с $I_{ном.а} = 1600 \text{ A}$ [14] и проводится его проверка.

Условия выбора и проверок автомата выполняются

$$I_{ном.а} = 1600 \text{ A} \geq I_{p.} = 1356,9 \text{ A};$$

$$I_{ном.т.р} = 1600 \text{ A} \geq 1,1 \cdot 1356,9 = 1492,59 \text{ A}$$

$$I_{ном.э.р} = 3 \cdot 1600 = 4800 \text{ A} \geq 920 \text{ A.}$$

Принимается выключатель марки ВА 53-43 со следующими «номинальными техническими параметрами» [14]:

$$U_{ном.а} = 380 \text{ В};$$

$$I_{ном.а} = 1600 \text{ А};$$

$$I_{ном.т.р} = 1600 \text{ А};$$

$$I_{ном.э.р} = 4800 \text{ А};$$

$$K_{то} = 3.$$

Выбор остальных автоматических выключателей системы электроснабжения корпуса обработки деталей осуществлён аналогично (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора «автоматов для защиты и коммутации питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения» корпуса обработки деталей

Наименование	I_p , А	Марка автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.т.р}$, А	$I_{ном.э.р}$, А
СРШ1	688,8	ВА 54-41	1000	1000	3000
СРШ2	472,5	ВА 83-41	630	630	1890
СРШ3	173,5	ВА 53-37	250	250	750
СРШ4	517,1	ВА 83-41	630	630	1890
ЩРО	63,1	ВА 52-31	100	80	800
ЩАО	6,3	ВА 52-31	100	10	100

Результаты выбора и проверки автоматов для защиты и коммутации распределительной сети системы электроснабжения корпуса обработки деталей, полученные по аналогичной методике, приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения корпуса обработки деталей

Наименование	p_1, A	Марка автомата	$I_{ном.а}$, А	$I_{ном.т.р}$, А	$I_{ном.э.р}$, А
Насос промоя		ВА 52-35	250	200	600
Компрессор обдува		ВА 52-35	250	200	600
Станок токарный		ВА 52-31	100	63	630

Продолжение таблицы 9

Наименование	р.1,А	Марка автомата	$I_{ном.а},$ А	$I_{ном.т.р},$ А	$I_{ном.э.р},$ А
Станок обдирочный		ВА 52-31	100	40	400
Станок фрезерный		ВА 52-31	100	63	630
Станок заточной		ВА 52-37	400	320	960
Установка шлифовальная		ВА 52-37	400	400	1200
Насос воды		ВА 52-35	250	250	750
Станок универсальный		ВА 52-33	160	160	800
Станок шлифовальный		ВА 52-33	160	160	800
Пресс		ВА 52-35	250	250	750
Станок сверлильный		ВА 52-31	100	40	400
Гильотина		ВА 52-33	160	160	800
ВВУ		ВА 52-31	100	20	200
ВВШ		ВА 52-31	100	10	100
ВВМ		ВА 52-31	100	16	160

2.8 Разработка мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения корпуса обработки деталей

Рассматривая вопрос энергосбережения в системе электроснабжения корпуса обработки деталей, следует учитывать, что экономия энергии является важным, хотя и не единственным фактором, определяющим высокий технико-экономический уровень развития электромеханических систем.

Важное значение имеет безопасность работы обслуживающего персонала и надежность отдельных элементов и электроустановки в целом. Этим определяется производительность установки, затраты на ее ремонт и эксплуатацию. Планово-предупредительный ремонт обеспечивает не только правильную и безаварийную эксплуатацию электрооборудования, но и значительную экономию электроэнергии. В первую очередь, это режим смазывания подшипников, как электрических машин, так и приводной установки. Правильный режим смазки с применением соответствующего масла, уменьшает потери на трение в узлах машин, облегчает их ход и уменьшает потребление электроэнергии электроприводом. Важное значение

имеет применение ограничителей холостого хода электродвигателей, а также и силовых трансформаторов на понизительной подстанции системы электроснабжения корпуса обработки деталей. На экономию электроэнергии влияет также номинальное загрузки электродвигателей. Многие электроэнергии расходуется в пускорегулирующей аппаратуры, поэтому нужно больше внедрять бесконтактную аппаратуру.

Важное значение имеет рациональное использование электроэнергии на освещение корпуса обработки деталей. Большая роль в снижении расхода электроэнергии на освещение принадлежит высоко экономическим люминесцентным лампам. При эксплуатации люминесцентные лампы нужно заменять не тогда, когда они перестают работать, а когда теряют часть первоначального светового потока (примерно на 30%). Не допускать работу люминесцентных светильников с отключенными конденсаторами, при отсутствии в пускорегулирующей аппаратуре конденсатора и наличии одних дросселей, $\cos \varphi$ такого светильника равен 0,5 [19].

Большое значение для улучшения освещения имеет правильный выбор светильников [19], лучшей арматурой для люминесцентных ламп являются светильники ОД, ОПР, ОДО, ВЛВ и др. На улучшение освещения влияет цвет краски стен, потолка, пола производственного помещения. Большое значение для рационального использования электроэнергии имеет строгое нормирование ее как по отдельным цехам, так и по предприятию в целом. Нужно устанавливать нормы затрат на единицу продукции, организовывать действенный контроль за рациональным использованием электроэнергии.

Большое значение для экономии электроэнергии имеет повышение коэффициента мощности $\cos \varphi$. Значение $\cos \varphi$ должно составлять не ниже 0,92 - 0,95. Все элементы электрической сети выбираются по номинальному току, величина которого обратно пропорциональна коэффициенту мощности. Потери электроэнергии обратно пропорциональны квадрату коэффициента мощности. Основными методами повышения $\cos \varphi$ являются:

- повышение коэффициента нагрузки;

- замена не загружена двигателями двигателями меньшей мощности;
- снижение напряжения при недогрузке двигателей;
- улучшение качества ремонта;
- ликвидация холостых ходов;
- компенсация реактивной мощности;
- замена мощных асинхронных двигателей на синхронные;
- необходимо следить за нагрузкой силовых трансформаторов, которое должно быть в пределах 0,65 - 0,75.

Выводы по разделу 2

В результате выполнения второго раздела, осуществлено проектирование системы электроснабжения корпуса обработки деталей, включая выбор и обоснование схемы электроснабжения корпуса обработки деталей, расчёт электрических нагрузок, расчёт и выбор числа и мощности силовых трансформаторов на понизительной ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей, выбор устройств для компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения корпуса обработки деталей, расчёт сечения проводников, токов короткого замыкания, электрических аппаратов и оборудования системе электроснабжения корпуса обработки деталей.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности

Организация работ и ответственность за проведение всех мероприятий по охране труда, на основании [5], на предприятиях, возложена на технического руководителя предприятия (главного инженера).

На предприятии, к которому относится корпус обработки деталей, производство поставлено хорошо.

Имеется кабинет техники безопасности, все необходимые инструкции, имеется тренажер по оказанию первой медицинской помощи, весь персонал регулярно проходит проверку знаний по технике безопасности.

Проводятся ежемесячные дни ТБ, а также регулярно проводятся проверки на рабочих местах, а это и есть главная профилактика производственного травматизма.

Предложения по улучшению состояния охраны труда: немаловажным фактором улучшения состояния охраны труда является обмен опытом между подразделениями предприятия с другими подобными организациями.

Также можно организовать проведение дня ТБ не своей инспекцией, а инспекцией других предприятий.

По анализу ряда лет работы, на предприятии нет серьезных электротравм.

При выполнении работ в системе электроснабжения корпуса обработки деталей необходимо неукоснительно придерживаться следующих правил и требований [2,3]:

- техники безопасности при выполнении работ в электроустановках;
- пожарной безопасности;
- экологической безопасности.

Поэтому в первую очередь при допуске к выполнению работ обслуживающий персонал должен знать и уметь выполнять все требования нормативных документов по охране труда и технике безопасности [2,3].

Известно, что понизительная подстанция с вводом высокого напряжения в системе электроснабжения корпуса обработки деталей является источниками повышенной опасности как для обслуживающего персонала, так и для флоры и фауны.

В виду этого, при выполнении работ на понизительной подстанции ПС-6/0,4 кВ в системе электроснабжения корпуса обработки деталей, необходимо строго соблюдать мероприятия по технике безопасности и охране труда в целом, а также нормы экологической безопасности [2,3,12].

Как правило, поражение электрическим током в сетях понизительных подстанций возникает в таких случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям под напряжением (токоведущие силовые цепи электроустановок, собственные нужды, оперативные цепи релейной защиты и автоматики);
- при приближении на недопустимое расстояние к токоведущим частям электроустановок понизительной подстанции в системе электроснабжения корпуса обработки деталей;
- при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения);
- при нахождении человека вблизи заземления (менее 8 м), с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции в системе электроснабжения корпуса обработки деталей.

Кроме того, существует вероятность прочих производственных видов опасности:

- опасность возможных ожогов электрической дугой, которая возникла в результате неправильных оперативных действий с разъединителями, заземляющими ножами;

- возможность ушибов и переломов конечностей вследствие падений при движении по неровной или скользкой, или неосвещённой поверхности;
- опасность повреждения организма вследствие попадания конечностей под трущиеся и вращающиеся объекты электрооборудования.

Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах:

- при коротких замыканиях;
- при прямых попаданиях молнии;
- при перегреве и внутренних коротких замыканиях масляных трансформаторов на подстанции;
- при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгоранием;
- при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе.

Соблюдение трудовой дисциплины является основой по технике безопасности при выполнении любых работ в электроустановках.

Согласно действующему законодательству, администрация обязана проводить инструктаж всех работников по безопасным приемам выполнения работ.

Согласно положениям [18], для рабочих проводятся по технике безопасности вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте.

Для обеспечения выполнения мероприятий по технике безопасности на предприятии существуют определенные требования к персоналу.

Существует 5 групп по электробезопасности.

Проводится периодическая проверка знаний персонала, оформляется по установленным нормам допуск к работе, то есть выписывают наряды.

Периодически проверяют выполнение правил по технике безопасности.

Рабочий персонал должен соблюдать правила техники безопасности, так как нарушение правил эксплуатации и ремонта может привести не только к поломке технологического оборудования, но и к несчастным случаям.

При ремонте электрооборудования понизительной подстанции в системе электроснабжения корпуса обработки деталей, необходимо убедиться в надежном отключении установки от источника питания.

Для этого необходимо выключить коммутационный аппарат и отключить установку от сети.

Для персонала, работающих в опасных условиях, выдаются средства индивидуальной защиты: перчатки, коврики, очки и другие защитные средства.

Проведение работы по ремонту электрооборудования необходимо проводить с помощью неповрежденного инструмента, который проверен на рабочем месте перед тем как его использовать, а также срок проверки инструмента в лаборатории нормоконтроля не просрочены.

Электротехнический персонал, выполняющий работы в системе электроснабжения корпуса обработки деталей, на рабочем месте должен выполнять только ту работу, которая ему поручена (по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации) и входит в круг его обязанностей с выполнением требований [1-4,18] и инструкций по охране труда.

В случае поручения работы, которая не входит в круг его профессиональных обязанностей, работник должен получить по этой работе соответствующий инструктаж по записи в журнале целевого инструктажа.

Известно, что работы в электроустановках могут выполняться по наряду-допуску или по распоряжению, при полностью снятом напряжении, частично снятом либо без снятия напряжения с токоведущих частей.

В подавляющем большинстве случаев при выполнении работ в электроустановках системы электроснабжения корпуса обработки деталей, всё напряжение с токоведущих частей должно быть снято, рабочее место ограждено, а каждый член бригады должен знать и чётко выполнять свои обязанности при соответствующем виде работ.

Нормами [18] установлены следующие члены бригады при выполнении работ в электроустановках (состав бригады):

1) руководитель работ – как правило, назначается из лиц инженерно-технического персонала. В обязанности руководителя работ входит непосредственная и качественная организация проведения соответствующих работ, инструктаж бригады на рабочем месте, контроль за выполнением работ, распределение обязанностей членов бригады. Руководитель работ должен иметь группу допуска не ниже третьей при выполнении работ в электроустановках напряжением до 1 кВ и не ниже четвертой при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1 кВ;

2) допускающий – член бригады, который проводит непосредственный допуск бригады к выполнению работ. Как правило, назначается из лиц с группой допуска не ниже третьей при выполнении работ в электроустановках напряжением до 1 кВ и не ниже четвертой при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1 кВ. В особых случаях (при выполнении работ с повышенной опасностью), допускающий должен иметь группу допуска не ниже пятой;

3) наблюдающий – член бригады, который непосредственно следит за соблюдением мер техники безопасности бригады во время выполнения работ. Наблюдающему, в отличие от остальных членов бригады, категорически запрещено совмещать другие должности. Как правило, назначается из лиц с группой допуска не ниже третьей при выполнении работ в электроустановках напряжением до 1 кВ и не ниже четвертой при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1 кВ. В особых случаях (при выполнении работ с повышенной опасностью), наблюдающий должен иметь группу допуска не ниже пятой;

4) исполнитель работ – член бригады, который непосредственно выполняет работу в электроустановках. Как правило, это – рабочий персонал (электромонтёр, электрослесарь, электромонтажник и т.д.). Исполнитель работ может иметь любую группу допуска, однако при наличии второй группы его работу должен контролировать более опытный исполнитель работ либо наблюдающий. Также при наличии второй группы исполнитель работ не

имеет права работать в электроустановках под наведенным напряжением или с его частичным снятием, а также в особо опасных установках и условиях. При наличии третьей группы допуска исполнитель работ может выполнять работы с полным снятием напряжением в электроустановках как до 1 кВ, так и выше 1 кВ.

Для защиты от электрического тока при прикосновении к токоведущих цепей оперативного тока, применяются изолированные провода.

Аппаратура релейной защиты на постоянном оперативном токе расположена в специальных шкафах. При замыкании или повреждении оперативных цепей осуществляется их контроль и защиту.

Для защиты от опасности при переходе напряжения с высокой стороны на низкую вторичные цепи измерительных трансформаторов заземлены.

Контроль и защиту при КЗ на землю и повреждении изоляции выполняет система релейной защиты, автоматики и сигнализации.

Персонал, обслуживающий электроустановки, должен хорошо знать правила противопожарной безопасности и пожаротушения электрооборудования цеха или других подразделений завода.

При появлении дыма, огня, в электрооборудовании и электропроводке необходимо немедленно отключить аварийный сектор, предупредить пожарную команду при распространении пожара на оборудование или невозможно погасить очаг пожара собственными средствами.

Для предотвращения пожара или обнаружения неисправности, возможных от КЗ, перегрузок, повреждения или перегрева изоляции применяют максимальная токовая защита (МТЗ), защита от перегрузок, защита от замыканий на землю и контроль изоляции.

В сети 6 кВ на питающей понизительной подстанции ПС-6/0,4 кВ в системе электроснабжения корпуса обработки деталей, есть фактор повышенной напряжённости поля, который негативно влияет на организм людей.

Поэтому работы в указанных электроустановках все работы по монтажу,

обслуживанию и ремонту оборудования и сетей следует производить в специальных экранирующих костюмах, а также необходимо свести к минимуму время пребывания людей на указанных объектах.

Снятие базового заземления проводится заранее определенной выдающим наряд бригадой с заземлением проводов всех фаз на контур заземления опоры или групповой заземлитель.

Эти операции необходимо выполнять, как правило, с заземлением линий в настоящее время.

Работы следует выполнять под контролем дежурного диспетчера с записью в оперативном журнале и оформлением в наряде.

Допускается также выполнять установку и снятие базового заземления без заземления линии.

Однако в этом случае разрешение на установку базового заземления, подготовку рабочего места и допуск бригады к работе выдается одновременно.

Выполнение таких работ может быть допущено только по решению главного инженера с оформлением в оперативном журнале и наряде [2,3,11].

Особо следует сказать о роли защитного заземления в сетях и его влияние на поражение человека электрическим током.

Для этой цели применяют как естественные, так и искусственные заземлители.

Однако накопленный десятилетиями опыт работ в электроустановках позволяет говорить о том, что в подавляющем большинстве случаев на понизительных подстанциях энергосистемы требуется применение защитного заземления (заземляющего устройства).

Заземляющее устройство состоит из совокупности электрически соединенных заземлителей и заземляющих проводников.

В качестве искусственных вертикальных заземлителей чаще всего применяют прутковую сталь диаметром 12 - 20 мм при длине 5 - 6 м; углубление делают вкручиванием.

Между собой заземлители заземляющего устройства соединяют на глубине 0,5 - 0,7 м с помощью сварки стальной полосой размерами не менее 40x4 мм или прутком диаметром 10 - 12 мм.

Заземляющие проводники соединяют заземлитель с частями электроустановки, которые заземляются.

В электроустановках с глухозаземлённой нейтралью напряжением 0,38/0,22 кВ согласно [4,18]:

- магистральные защитные проводники, прокладываемые открыто, должны иметь сечение не менее 100 мм²;

- проводимость защитного проводника в соответствии с [4] должна быть не ниже 50% проводимости фазного провода.

Каждый элемент заземляется и должен быть подключен к сети заземления отдельным ответвлением (заземляющим проводником), а внутреннюю заземляющую сеть следует соединить с внешним заземляющим контуром не менее, чем в двух местах [4].

Для заземления электроустановок различных назначений и различных напряжений, территориально приближенных одна к другой, применяют один общий заземляющий контур, сопротивление которого принимается равным сопротивлению той установки, где он является минимальным [4].

Известно, что прямые удары молнии в оборудование понизительных подстанций влекут тяжёлые последствия для оборудования и сетей, так как вследствие возникших значительных атмосферных перенапряжений они могут выйти из строя, иногда без возможности восстановления.

В результате без питания могут остаться важнейшие потребители подстанций, что недопустимо согласно требованиям [1-4]. От прямых ударов молний должны защищаться все ответственные электроприемники.

РУ-6 кВ можно защищать одиночными стержневыми молниеотводами, кроме разрядников, как более ответственные сооружения, тем более, РУ-6 кВ питает потребителей первой категории.

Воздушные линии также рекомендуется защищать от прямых попаданий тросовыми молниеотводами [18].

Необходимо помнить, что здание, сооружение будет защищено от ударов молний только в том случае, когда они будут находиться в определенной сфере, называемой зоной защиты – пространстве, внутри которого объект защищен от ударов молний.

Приведённые мероприятия обеспечивают безопасность проведения работ в электроустановках всех классов напряжения и являются строго обязательными к исполнению.

Известно, что понизительные подстанции систем электроснабжения предприятий являются источниками повышенной опасности для флоры и фауны [12].

При выполнении работ должны выполняться требования нормативных документов, регламентирующих уровень допусков.

С целью предупреждения ухудшения экологической обстановки и возникновения опасности для здоровья и жизни людей от указанных объектов, представляющих повышенную экологическую опасность, осуществляется комплекс взаимосвязанных мероприятий.

Надежным средством обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике должен стать механизм ее правового обеспечения, который с учетом подходов, выработанных в [21-25], включающий составляющие:

- законодательное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- организационно-структурное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- функционально-правовое обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- экономический механизм обеспечения такой безопасности;
- юридическая ответственность как средство обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике.

Установлены требования к нормативам предельно допустимых выбросов, закреплено дополнительные обязанности предприятий, в том числе [20]: регулирование уровней воздействия физических факторов на состояние атмосферного воздуха (ст. 12), а также меры по предотвращению и снижению производственных шумов (ст. 21).

В зависимости от вида электроустановок, принято выделять и виды техногенных воздействий, в которых присутствует экологический риск.

Так, негативным влиянием энергетики на элементы окружающей среды, а также уровень жизни и здоровья людей, являются [2,3,11]:

- выбросы загрязняющих веществ и парниковых газов;
- ухудшение видимости атмосферы;
- запыленность атмосферного воздуха;
- выпадение осадков и кислотных дождей;
- разрушение озонового слоя;
- влияние шума объектов энергетики на окружающую среду;
- загрязнения подземных и поверхностных вод.

Негативное влияние линий электропередач высокого напряжения (в частности, ВЛ-6 кВ понизительной подстанции ПС-6/0,4 кВ системы электроснабжения корпуса обработки деталей) сказывается во вредном влиянии на людей электромагнитных полей линий электропередач высокого напряжения [2,3,11].

Но при условии наступления серьезных повреждений (сильное землетрясение, авария, террористический акт, военные действия) энергетические объекты наносят значительный ущерб как окружающей среде, так и здоровью людей.

Итак, экологический риск от негативного влияния понизительной подстанции ПС-6/0,4 кВ в системе электроснабжения корпуса обработки деталей и линий электропередач 6 кВ на элементы окружающей среды, жизни и здоровья людей, оказывается за загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и физическими факторами, загрязнение водных и

земельных объектов химическими веществами; загрязнения земельных участков отходами.

Указанные мероприятия по охране окружающей среды должны быть приняты к сведению и внедрены в систему электроснабжения корпуса обработки деталей.

3.2. Расчёт контура заземления корпуса обработки деталей

Проводится расчёт заземления ТП корпуса обработки деталей.

Принимаются следующие исходные данные [16]:

- вертикальные заземлители (электроды): материал – сталь, диаметр стержней – 16 мм, длина стержней – 2 м, глубина погружения в грунт – 50 см;

- горизонтальные заземлители (электроды): материал – полосовая сталь, длина – 4 м, метод соединения – сварка (проводник заземления крепится на болтовое соединение);

- грунт – суглинок.

Рассчитывается сопротивление грунта Ом, [16]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (75)$$

$$\rho_{p.в} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.в}, \quad (76)$$

- где $\rho_{y\delta}$ – удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом [16];

$K_{n.z}$ и $K_{n.в}$ – нормируемые коэффициенты использования горизонтальных и вертикальных электродов [16].

$$\rho_{p.z} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\rho_{p.в} = 100 \cdot 1,5 = 150 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Для стержневого вертикального заземлителя сопротивление растеканию определяется так [16]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}; \quad (77)$$

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,016} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,7 + 3 \cdot 5}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 69,53 \text{ Ом}.$$

Число вертикальных заземлителей (электродов) [16]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт}; \quad (78)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 \cdot 4} = 26,34 \text{ шт}.$$

Принимается $N = 27$ шт.

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов [16]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.z} \cdot 2\pi \cdot l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t}, \text{ Ом}; \quad (79)$$

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом}.$$

Уточненное значение сопротивления вертикальных заземлителей в рассчитываемом контуре заземления [16]

$$R_{в.з.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом}; \quad (80)$$

$$R_{в.з.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом}.$$

Уточненное число вертикальных заземлителей [16]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{шт}; \quad (81)$$

$$N = \frac{69,53}{0,66 + 4,72} = 24,15 \text{ шт.}$$

Сопротивление вертикальных заземлителей Ом [16]:

$$R_{в.е} = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot N}, \text{Ом}; \quad (82)$$

$$R_{в.е} = \frac{69,53}{0,66 \cdot 25} = 4,56 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземлителей (электродов) спроектированного контура заземления ПС-10/0,4 кВ корпуса обработки деталей

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}}, \text{Ом}; \quad (83)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,56 \cdot 26,17}{4,56 + 26,17} = 3,88 \text{ Ом.}$$

Выводы по разделу 3

В результате выполнения третьего раздела работы проведён расчёт контура заземления ПС-10/0,4 кВ корпуса обработки деталей согласно требований нормативных документов [2-4]. Окончательно принимается к установке в контуре заземления на ПС-10/0,4 кВ корпуса обработки деталей двадцать пять вертикальных заземлителей (электродов). Заземление ПС-10/0,4 кВ корпуса обработки деталей приведена в графической части работы.

Заключение

В результате выполнения работы осуществлена разработка проекта системы электроснабжения корпуса обработки деталей согласно задания и исходных данных.

В работе выполнена основная задача, заключающаяся в выборе технических решений при проектировании системы электроснабжения корпуса обработки деталей таким образом, чтобы в результате выполнения работы были соблюдены все заданные требования согласно нормативных документов.

Для выполнения основной задачи, в работе были проведены следующие мероприятия и расчёты:

- анализ исходных данных, включающий характеристику проектируемого объекта (корпуса обработки деталей) и общие характеристики технологических механизмов с исходными данными на проектирование, а также характеристику потребителей электроэнергии, электрических нагрузок и категории помещений объекта по условиям окружающей среды;

- непосредственный расчёт и проектирование системы электроснабжения корпуса обработки деталей, включающий выбор и обоснование схемы электроснабжения корпуса обработки деталей, расчёт электрических нагрузок, расчёт и выбор числа и мощности силовых трансформаторов на понизительной ТП-6/0,4 кВ корпуса обработки деталей, выбор устройств для компенсации реактивной мощности в СЭС корпуса обработки деталей, расчёт сечения проводников, токов короткого замыкания, электрических аппаратов и оборудования СЭС корпуса обработки деталей;

- разработка и обоснование мероприятий по технике безопасности и охране труда на объекте исследования, включая мероприятия по технике безопасности при проведении работ в СЭС корпуса обработки деталей.

Спроектированная система электроснабжения корпуса обработки деталей отвечает всем требованиям и нормам основных документов.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Андреев В. А. Релейная защита систем электроснабжения в примерах и задачах. – М.: Высшая школа, 2008. 256 с.
2. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2016. 416 с.
3. Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. – М.: Медиа, 2011. 797 с.
4. Баранов Л.А., Захаров В.А. Светотехника и электротехнология. М.: Колос, 2018. 343с.
5. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. Зерноград : ФГОУ ВПО АЧГАА, 2016. 268 с.
6. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
7. Ермилов А. А. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Эксмо, 2017. 159 с.
8. Захаров О.Г. Цифровые устройства релейной защиты. Алгоритмы и уставки. Часть 1, часть 2. – М.: Энергоиздат, 2016. 640 с.
9. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда : Инфра-Инженерия, 2018. 343 с.
10. Киреева Э.В. Электроснабжение и электрооборудование организаций и учреждений. – М.: КноРус, 2016. 236 с.
11. Козлов В.А. «Электроснабжение городов».- 5- е издание, перераб. и доп. – Ленинград : Энергоатомиздат Ленинградское отделение, 2012. 264 с.
12. Кудрин, Б. И. Электроснабжение. М.: Academia, 2018. 352 с.
13. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
14. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок.

Москва : Издательство «Альфа-Пресс», 2015. 224 с.

15. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

16. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2016. 392 с.: ил.

17. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) / 7-е изд-е. М.: Альвис, 2018. 624 с.

18. Сибикин, Ю.Д., Сибикин М.Ю. Электроснабжение. Вологда : Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

19. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. № 777).

20. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. 312 с.

21. Справочник по проектированию электроснабжения / Под ред. Ю.Г. Барыбина и др.- М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

22. Федеральный закон в ред. от 29.07.2017 № 261-ФЗ «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»

23. Фролов Ю. М., Шемякин В.П. Основы электроснабжения. М.: Лань, 2015. 480 с.

24. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра-М, 2015. 136 с.

25. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года // РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – Москва : Министерство энергетики, 2020.