

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 цеха производства высокоточных подшипников АО «ЕПК Саратов»

Студент

Д.А.Татарских

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

С.В.Шаповалов

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

Консультант

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

Тольятти 2021

Аннотация

Целью данной работы является разработка проекта электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников АО «ЕПК Саратов».

Объектом исследования является цех производства высокоточных подшипников АО «ЕПК Саратов».

Предметом исследования являются схема электрических соединений, электрические сети и аппараты цеха производства высокоточных подшипников АО «ЕПК Саратов».

Задачами работы являются выбор технических решений при проектировании системы электроснабжения цеха высокоточных подшипников АО «ЕПК Саратов» так, чтобы были соблюдены заданные требования к надежности, экономичности и безопасности электроснабжения, а также качеству электроэнергии согласно основным требованиям нормативных документов.

Работа состоит из пояснительной записки, выполненной в текстовом редакторе Microsoft Office Word 2016, на 72 страницах машинописного текста, включая 1 иллюстрацию, 14 таблиц и 25 литературных источников. Рисунки выполнены с использованием графического редактора Paint.NET.

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

В первом разделе проводится анализ исходных данных.

Во втором разделе рассматривается расчёт системы электроснабжения цеха.

В третьем разделе рассматриваются вопросы по безопасности жизнедеятельности.

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

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ исходных данных.....	6
1.1. Характеристика технических условий цеха и климатических условий	6
1.2. Требования нормативных документов, предъявляемые к системе электрообеспечения цеха	11
2 Расчёт системы электрообеспечения цеха.....	13
2.1 Выбор схемы электрообеспечения цеха	13
2.2 Определение расчетной нагрузки.....	14
2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции.....	25
2.4 Компенсация реактивной мощности.....	26
2.5 Выбор сечений проводников и их проверка	29
2.6 Расчет токов короткого замыкания	34
2.7 Выбор основного электрооборудования и его проверка	42
2.8 Выбор устройств релейной защиты и автоматики	49
2.9 Технико-экономическое обоснование проекта.....	54
3 Безопасность жизнедеятельности.....	63
3.1 Мероприятия по технике безопасности, пожарной и экологической безопасности.....	63
3.2 Расчёт контура заземления цеховой трансформаторной подстанции.	66
Заключение	70
Список используемой литературы и используемых источников.....	71

Введение

Основные направления социального и экономического развития энергетики Российской Федерации на период до 2035 года определяют широкое развитие электрификации, которая является основой технического прогресса, роста производительности труда.

Согласно нормативным государственным программам [3,4], необходимо повышать энерговооруженность труда, уровень электрификации, эффективность использования электроэнергии, развитие электроэнергетики, электротехнической промышленности.

Обеспечение требуемых качеств электроэнергии, надежности и экономичности электроснабжения – основные задачи современных системах электроснабжения производственных потенциалов страны [1-5].

Известно, что в современные системы электроснабжения промышленных производственных потенциалов являются важнейшим звеном промышленной энергетики страны, обеспечивают непосредственное питание производственных потребителей.

Выполнение этих условий является одним из основных задач современной энергетики Российской Федерации и отражены в законодательной базе на государственном уровне [1-5].

Сегодня одним из путей решений сложившихся проблем надёжности, экономичности и безопасности в системах электроснабжения промышленных предприятий, является использование современных инновационных и перспективных решений.

Поэтому модернизация и реконструкция оборудования систем электроснабжения промышленных предприятий выгодна как потребителю, так и энергосистеме в целом.

Однако многие решения возможно осуществить на стадии проектирования, избегая ошибок и недоработок, которые в будущем могут привести к негативным последствиям. Именно такое направление

исследуется в работе применительно к промышленному объекту (цеху).

Цель работы – разработка системы электроснабжения цеха высокоточных подшипников (ПР-8) АО «ЕПК Саратов».

Объект исследования – система электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников (ПР-8) АО «ЕПК Саратов».

Предмет исследования – электрические сети, аппараты и электрооборудование системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников (ПР-8) АО «ЕПК Саратов».

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

Основными задачами работы являются:

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

– непосредственный расчёт и проектирование системы электроснабжения цеха высокоточных подшипников АО «ЕПК Саратов», включающий также выбор устройств для компенсации реактивной мощности, выбор и проверку сечения проводников. Также осуществлено технико-экономическое обоснование разработанной системы электроснабжения цеха;

– разработку и обоснование мероприятий по технике безопасности и охрана труда.

1 Анализ исходных данных

1.1. Характеристика технических условий цеха и климатических условий

Проектируемый в работе цех ПР-8 является производственным цехом высокоточных подшипников предприятия АО «ЕПК Саратов».

АО «ЕПК Саратов» – один из лидеров производства подшипниковой продукции в стране. Основной специализацией предприятия АО «ЕПК Саратов» является разработка, внедрение в производство и выпуск различных подшипников для применения их в железнодорожной, автомобильной и авиационной промышленности, а также в кораблестроении и атомной энергетике.

С 2007 года предприятие АО «ЕПК Саратов» входит в состав Европейской подшипниковой корпорации, являющейся крупнейшим производителем подшипниковой продукции на всей территории РФ, а также стран СНГ.

На сегодняшний день предприятие продолжает модернизироваться, чтобы полноценно «идти в ногу со временем», при этом сохранив собственные традиции и опыт. Например, в 2015 года на АО «ЕПК Саратов» была введена в эксплуатацию новая современная кольцепрокатная линия, значительно увеличившая производительность до 3,5 тонн/ч, при этом сократив время производства одного изделия всего лишь до 25-85 с.

Проектирование системы электроснабжения производственного цеха высокоточных подшипников (цеха ПР-8) выполняется на основании технических условий, генерального плана расположения оборудования цеха ПР-8 на территории АО «ЕПК Саратов» и задания на проектирование.

Рассматриваемый в работе цех высокоточных подшипников (ПР-8) относится к категории основных производственных цехов. По степени надежности цех ПР-8 относится ко II категории надёжности.

Применение химических веществ и соединений для получения готовой продукции предприятиями, производящим подшипники, считается опасной для здоровья людей и окружающей среды.

Известно, что производственные процессы, связанные с непосредственным изготовлением подшипников, в особенности с применением веществ на химической основе и (или) с добавлением химических компонентов.

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

Поэтому в данном цеху 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 цеха ПР-8 относятся к сухим и пыльным отапливаемым помещениям с химически активной средой, что обусловлено требуемой технологией и характером работ на объекте.

Среда производственных помещений цеха – химически активная, агрессивная, так как используются химикаты и органические и неорганические соединения, оказывающие существенное влияние на изоляцию и токоведущие части электроустановок, а также на самочувствие людей.

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

По степени пожароопасности помещения проектируемого цеха ПР-8 относятся к негорячим объектам, т.к. стены и крыша выполнены из железобетонных блоков, а полы залиты бетонной смесью. Указанные материалы не горят и не поддерживают горения.

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 цеха.

Всё технологическое оборудование (электроприемники) проектируемого цеха ПР-8 работают на номинальном переменном напряжении 380/220 В.

На территории проектируемого цеха ПР-8 расположены следующие основные группы потребителей электрической энергии, выполняющие непосредственную роль в технологическом производственном процессе производства подшипников [6,7]:

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

К основному технологическому оборудованию цеха относятся следующие типы станков (таблица 1): КМ-360 (85,150), СПА-300 (130), ЛЗ 114, SASL 5AD, GA90 VSDFF (Компрессора), SIW 3E, БДЕ-25 АРО, SwaAGL 315, SwaAGL 125/5, SwaAGL 50/3PC, ЛЗ-192 (А), SIW 3, SIW 4, SIW 5, Т-6000, МП-600, SASL 400/500, SASL 200/500, KRT-10А, 3344, SwaAGL-50, SwaAIGR-300, KRT-10А.

Все перечисленные выше электроприёмники работают в постоянном режиме.

Исходные технические характеристики основного производственного оборудования проектируемой системы электроснабжения цеха ПР-8 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные технические характеристики основного производственного оборудования цеха ПР-8

Наименование (марка) оборудования	Номинальная мощность, $P_{ном}$, кВт	Коэф-т мощности, $\cos \varphi$	Коэф-т использования, K_u
КМ-360 (85,150)	6,5	0,5	0,14
СПА-300 (130)	4,8	0,5	0,14
ЛЗ 114	2,97	0,5	0,14
SASL 5AD	55,0	0,5	0,14
GA90 VSDFF (Компрессора)	90,0	0,8	0,65
SIW 3E	15,0	0,5	0,14
БДЕ-25 АРО	8,0	0,5	0,14
SwaAGL 315	35,0	0,5	0,14
SwaAGL 125/5	10,1	0,5	0,14
SwaAGL 50/3PC	35,0	0,5	0,14
ЛЗ-192 (А)	13,9	0,5	0,14
SIW 3	15,0	0,5	0,14
SIW 4	16,5	0,5	0,14
SIW 5	19,5	0,5	0,14
T-6000	93,7	0,6	0,16
МП-600	95,0	0,5	0,14
SASL 400/500	69,0	0,5	0,14
SASL 200/500	46,0	0,5	0,14
KRT-10A	36,0	0,5	0,14
3344	65,0	0,5	0,14
SwaAGL-50	22,7	0,5	0,14
SwaAIGR-300	11,0	0,5	0,14
KRT-10A	36,0	0,5	0,14

К оборудованию, обеспечивающему основной технологический процесс, относятся вытяжное вентиляционное оборудование.

Исходные технические характеристики оборудования, обеспечивающего основной технологический процесс цеха ПР-8 (вентиляторы вытяжные), представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходные технические характеристики оборудования, обеспечивающего основной технологический процесс цеха ПР-8

Наименование (марка) оборудования	Номинальная мощность, $P_{ном}$, кВт	Коэф-т мощности, $\cos \varphi$	Коэф-т использования, K_u
Вытяжной вентилятор №1 (ВВ-1) гальванического отделения (линии фосфатирования, травления и кадмирования)	30,0	0,8	0,65
Вытяжной вентилятор №2 (ВВ-2) гальванического отделения (линии снятия окалины, свинцово-оловянистого покрытия, хромирования)	15,0	0,8	0,65
Вытяжной вентилятор №3 (ВВ-3) гальванического отделения (линия свинцевания)	30,0	0,8	0,65
Вытяжной вентилятор №4 (ВВ-4) гальванического отделения (травильная линия)	30,0	0,8	0,65
Вытяжной вентилятор отделения упаковки (ВВУ)	7,0	0,8	0,65
Вытяжной вентилятор (ВВШ) отделения окончательной шлифовки (участок контроля)	4,0	0,8	0,65
Вытяжной вентилятор метрографической лаборатории (ВВМ)	5,5	0,8	0,65

Климат г. Саратова – умеренно-континентальный. По климатическим условиям выбирается оборудование для II климатического пояса.

1.2. Требования нормативных документов, предъявляемые к системе электроснабжения цеха

Основные требования документов электроэнергетики к схемам внутреннего и внешнего электроснабжения цехов промышленных предприятий заключаются в следующих положениях [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 с применением АВР), а также устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР) и противоаварийной автоматики с включением резерва (ПАВР);
- обеспечение оптимального режима работы 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. 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.;

- 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;

- запрещено эксплуатировать оборудование и сети при значениях, превышающих предельно-допустимые параметры электроэнергии.

Выводы по разделу 1.

В первом разделе приведены исходные данные к выполнению работы, включающие общие сведения о проектируемом цехе ПР-8, его производственных мощностях, источнике питания, категории надёжности.

На основе приведённых требований нормативных документов [1-4], предъявляемых к схемам электроснабжения рассматриваемого в работе цеха производства высокоточных подшипников ПР-8, а также исходных технических характеристик оборудования цеха, приведённых в работе, проводится проектирование системы электроснабжения цеха ПР-8.

2 Расчёт системы электроснабжения цеха

2.1 Выбор схемы электроснабжения цеха

Особое внимание при разработке системы электроснабжения (СЭС) цеха 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 цеха ПР-8 следует выделить внешнецеховую (от источника питания до цеховой ТП) и внутрицеховую (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 внешнецеховой СЭС 6 кВ, внутрицеховой СЭС – 0,38/0,22 кВ. Внешнецеховое электроснабжение проектируемого цеха осуществляется кабельной линией напряжением 6 кВ от шин 10 кВ РП-1 предприятия до цеховой ТП-6/0,4 кВ. Сечение кабельной линии выбирается в работе далее.

Внутрицеховое электроснабжение проектируемого цеха ПР-8 осуществляется от шин распределительного устройства низшего напряжения (РУ НН) цеховой трансформаторной подстанции напряжением 6/0,4 кВ (ТП-6/0,4 кВ) на напряжении 0,38/0,22 кВ. В системе внутрицехового электроснабжения следует также выделить питающую и распределительную сеть. Так как оборудование цеха 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 [7]. Все сечения указанных кабельных

линий питающей и распределительной сетей цеха выбираются в работе далее. В помещениях цеха ПР-8 устанавливаются светодиодные светильники степенью 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 требованиям [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 цеха ПР-8 приведён на графическом листе 1, схема электроснабжения проектируемого цеха – на графическом листе 2.

2.2 Определение расчетной нагрузки

Расчетные электрические нагрузки цеха ПР-8 определяется методом упорядоченных диаграмм [6]. Для каждого отдельного электроприёмника определяется

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

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

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

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

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

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 SwaAGL 315:

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

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

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

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

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

Аналогично проведены расчёты для остальных электроприёмников цеха и результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта силовых нагрузок электроприёмников цеха

Наименование	$P_{ном}$, кВт	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	Расчётные данные				
				$P_{p.1}$, кВт	$Q_{p.1}$, квар	$S_{p.1}$, кВА	$I_{p.1}$, А	$I_{пуск}$, А
КМ-360 (85,150)	6,5	0,5	1,73	6,5	11,25	12,87	19,8	99,0
СПА-300 (130)	4,8	0,5	1,73	4,8	8,3	9,59	14,75	73,75
ЛЗ 114	2,97	0,5	1,73	2,97	5,14	5,94	9,13	45,65
SASL 5AD	55,0	0,5	1,73	55,0	95,15	109,9	169,1	845,5
GA90 VSDFP	90,0	0,8	0,75	90,0	67,5	112,5	173,1	865,5
SIW 3E	15,0	0,5	1,73	15,0	25,95	29,97	46,11	230,55
БДЕ-25 АРО	8,0	0,5	1,73	8,0	13,84	15,99	24,59	122,95
SwaAGL 315	35,0	0,5	1,73	35,0	60,55	69,94	107,6	538,0
SwaAGL 125/5	10,1	0,5	1,73	10,1	17,47	20,18	31,05	155,25

Продолжение таблицы 3

Наименование	$P_{ном}$, кВт	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Расчётные данные				
				$P_{р.1}$, кВт	$Q_{р.1}$, квар	$S_{р.1}$, кВА	$I_{р.1}$, А	$I_{пуск}$, А
BB1	30,0	0,8	0,75	30,0	67,5	73,87	113,64	568,2
BB2	15,0	0,8	0,75	15,0	11,25	18,75	28,85	144,25
BB3	30,0	0,8	0,75	30,0	67,5	73,87	113,64	568,2
BB4	30,0	0,8	0,75	30,0	67,5	73,87	113,64	568,2
BBУ	7,0	0,8	0,75	7,0	5,25	8,75	13,46	67,3
BBШ	4,0	0,8	0,75	4,0	3,0	4,58	7,05	35,25
BBМ	5,5	0,8	0,75	5,5	4,13	6,88	10,58	52,9
SwaAGL 50/3PC	35,0	0,5	1,73	35,0	60,55	69,94	107,6	538,0
ЛЗ-192 (А)	13,9	0,5	1,73	13,9	24,05	27,78	42,74	213,7
SIW 3	15,0	0,5	1,73	15,0	25,95	29,97	46,11	230,55
SIW 4	16,5	0,5	1,73	16,5	28,55	32,98	50,73	253,75
SIW 5	19,5	0,5	1,73	19,5	33,74	38,97	59,95	299,75
T-6000	93,7	0,6	1,73	93,7	162,1	187,23	288,05	1440,3
МП-600	95,0	0,5	1,73	95,0	164,35	189,83	292,05	1460,3
SASL 400/500	69,0	0,5	1,73	69,0	119,37	137,88	212,12	1060,6
SASL 200/500	46,0	0,5	1,73	46,0	79,58	91,92	141,41	707,05
KRT-10A	36,0	0,5	1,73	36,0	62,28	71,94	110,67	553,35
3344	65,0	0,5	1,73	65,0	112,45	129,88	199,82	999,1
SwaAGL-50	22,7	0,5	1,73	22,7	39,27	45,37	69,78	348,9
SwaAIGR-300	11,0	0,5	1,73	11,0	19,03	21,98	33,82	169,1
KRT-10A	36,0	0,5	1,73	36,0	62,28	71,94	110,67	553,35

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

Сменная нагрузка ЭО [6]:

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

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

Также определяется [6]:

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

Для оборудования цеха [6]

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

«Групповой коэффициент использования» [6]:

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

«Далее определяется коэффициент расчетной нагрузки» [6].

«Расчетная активная нагрузка группы электроприемников» [6]

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

«Расчетная реактивная нагрузка» [6]:

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

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

«Полная расчётная нагрузка» [6]:

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

«Расчетный ток группы электроприемников» [6]:

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

«Значение пикового тока» [6]:

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

где $I_{н.п.}$ – «максимальный пусковой ток данного электроприемника» [6].

В работе рассматривается расчет нагрузок на примере СРШ1.

$$P_{см} = 140 \cdot 0,14 + 18,2 \cdot 0,14 = 22,15 \text{ кВт.}$$

$$\cos \varphi_{ср.взв} = \frac{140 \cdot 0,5 + 18,2 \cdot 0,5}{158,2} = 0,5$$

$$Q_{см} = 22,15 \cdot 1,73 = 38,32 \text{ квар.}$$

$$n_3 = \frac{(140 + 18,2)^2}{140^2 + 18,2^2} = 1,25$$

$$n_3 = 2 \text{ шт.}$$

$$k_u = \frac{22,15}{158,2} = 0,14$$

Коэффициент расчетной нагрузки равен $K_p = 4,33$ [6].

Расчётные активная, реактивная и полная нагрузки, а также расчётный ток для СРШ1

$$P_p = 22,15 \cdot 4,33 = 95,91 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 1,1 \cdot 95,91 \cdot 1,73 = 182,52 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{95,91^2 + 182,52^2} = 206,2 \text{ кВА.}$$

$$I_p = \frac{206,2}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 317,2 \text{ А.}$$

Пиковый ток для СРШ1

$$I_{\text{тик}} = 538 + (317,2 - 0,14 \cdot 107,6) = 840,14 \text{ А.}$$

Аналогично проводится расчёт нагрузок для остальных СРШ и результаты расчётов приведены в таблице 3.

Суммарная силовая нагрузка всего цеха определяется по той же методике, что и для СРШ, но при этом учитывается нагрузка всех электроприёмников цеха.

При этом эффективное число ЭП определяется упрощённо» [6]

$$n_e = \frac{2 \cdot \sum_{i=1}^m P_{\text{ном.}i}}{P_{\text{ном.}max}}, \text{ шт.} \quad (16)$$

При этом также упрощённо принимается равенство расчётных коэффициентов активной и реактивной нагрузок» [6].

«Расчетные нагрузки освещения определяется по методу коэффициента спроса так, кВт» [8]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{\text{ном.}o} K_{np.a}, \text{ кВт.} \quad (17)$$

«Суммарное значение мощности осветительной нагрузки определяется, исходя из площади территории, которая подлежит освещению» [9]

$$P_{ном.о} = P_{уд.о} F_{ц}, \text{ кВт.} \quad (18)$$

«Расчётная реактивная нагрузка освещения определяется по выражению» [9]:

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

«Приводится расчет осветительной нагрузки по условиям (17) – (19)» [9]

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

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

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

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

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

«Нагрузка аварийного освещения принимается 10% от рабочего освещения» [9].

Результаты расчётов нагрузок проектируемого цеха приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчётов электрических нагрузок цеха

Номер ЭП п/п	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_{Σ}	K_p	Максимальные расчетные нагрузки					
		$P_{ном},$ кВт	$P_{сум},$ кВт				$P_{см.},$ кВт	$Q_{см.},$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А	$I_n,$ А	
СРШ1																
SwaAGL 315	4	35,0	140,0	0,14	0,5	1,73										
СПА-300	4	4,8	18,2	0,14	0,5	1,73										
Итого СРШ1	8	-	158,2	0,14	0,5	1,73	22,15	38,32	2	4,33	95,9	182,5	206,2	317,2	840,1	
СРШ2																
SwaAGL 50	4	35,0	140,0	0,14	0,5	1,73										
КМ-360	4	6,5	26,0	0,14	0,5	1,73										
Итого СРШ2	8	-	166,0	0,14	0,5	1,73	23,24	40,21	2	4,33	101,1	192,3	217,3	334,3	935,9	
СРШ3																
SIW 4	4	16,5	66,0	0,14	0,5	1,73										
БДЕ-25 АРО	4	8,0	32,0	0,14	0,5	1,73										
Итого СРШ3	8	-	98,0	0,14	0,5	1,73	13,72	23,74	2	4,33	59,4	113,1	127,7	196,5	550,1	
СРШ4																
SIW 5	4	19,5	78,0	0,14	0,5	1,73										
ЛЗ 114	4	2,97	11,9	0,14	0,5	1,73										
Итого СРШ4	8	-	89,9	0,14	0,5	1,73	12,59	21,77	2	4,33	54,5	103,7	117,2	180,3	504,8	

Продолжение таблицы 4

Номер ЭП п/п	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_s	K_p	Максимальные расчетные нагрузки					
		$P_{ном},$ кВт	$P_{сум},$ кВт				$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ квар			$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВА	$I_p,$ А	$I_n,$ А	
СРШ5																
ЛЗ-192 (А)	4	13,9	55,6	0,14	0,5	1,73										
ВВ1,3,4	3	30,0	90,0	0,65	0,8	0,75										
ВВ2	1	15,0	15,0	0,65	0,8	0,75										
Итого СРШ5	8	-	160,6	0,52	0,65	1,17	83,51	97,71	4	1,21	101,1	130,1	164,7	253,4	709,6	
СРШ6																
SIW 3	4	15,0	60,0	0,14	0,5	1,73										
SwaAGL 50	4	50	200,0	0,14	0,5	1,73										
Итого СРШ6	8	-	260,0	0,14	0,5	1,73	36,4	62,98	2	4,33	157,6	299,9	338,8	521,3	1251	
СРШ7																
SIW 3E	4	15,0	60,0	0,14	0,5	1,73										
SwaAGL 50	4	50	200,0	0,14	0,5	1,73										
Итого СРШ7	8	-	260,0	0,14	0,5	1,73	36,4	62,98	2	4,33	157,6	299,9	338,8	521,3	1251	
СРШ8																
SIW 3E	4	15,0	60,0	0,14	0,5	1,73										
SwaAGL 50	4	50	200,0	0,14	0,5	1,73										

Продолжение таблицы 4

Номер ЭП п/п	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_s	K_p	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном}$, кВт	$P_{сум}$, кВт				$P_{см.}$, кВт	$Q_{см.}$, квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А	I_n , А
Итого СРШ8	8	-	260,0	0,14	0,5	1,73	36,4	62,98	2	4,33	157,6	299,9	338,8	521,3	1251
СРШ9															
SIW 3E	4	15,0	60,0	0,14	0,5	1,73									
GA90 VSDFP	2	90,0	360,0	0,65	0,8	0,75									
ВВУ	1	7,0	7,0	0,65	0,8	0,75									
Итого СРШ9	7	-	427,0	0,48	0,65	1,17	205,0	239,8	3	1,34	274,7	353,5	447,7	688,8	1634,1
СРШ10															
T-6000	1	93,7	93,7	0,14	0,5	1,73									
МП-600	1	95,0	95,0	0,14	0,5	1,73									
SASL 400/500	1	69,0	69,0	0,14	0,5	1,73									
SASL 5AD	1	55,0	55,0	0,14	0,5	1,73									
SwaAGL 315	2	35,0	70,0	0,14	0,5	1,73									
ВВШ	1	4,0	4,0	0,65	0,8	0,75									
Итого СРШ10	7	-	386,7	0,28	0,65	1,17	108,3	126,7	3	1,74	188,4	242,5	307,1	472,5	1228,4
СРШ11															
SwaAGL 125/5	2	10,1	20,2	0,14	0,5	1,73									

Продолжение таблицы 4

Номер ЭП п/п	Кол-во, шт	Установленная мощность, кВт		K_u	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	Средняя нагрузка за наиболее загруженную смену		n_s	K_p	Максимальные расчетные нагрузки				
		$P_{ном}$, кВт	$P_{сум}$, кВт				$P_{см.}$, кВт	$Q_{см.}$, квар			P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А	I_n , А
SwaAIGR-300	2	11,0	22,0	0,14	0,5	1,73									
SIW 4	3	16,5	49,5	0,14	0,5	1,73									
ВВМ	1	5,5	5,5	0,65	0,8	0,75									
Итого СРШ11	8	-	97,2	0,21	0,65	1,17	20,41	23,9	2	3,39	69,2	89,0	112,8	173,5	451,1
СРШ12															
SASL 200/500	4	46,0	184,0	0,14	0,5	1,73									
KRT-10A	2	36,0	72,0	0,14	0,5	1,73									
3344	2	65,0	130,0	0,14	0,5	1,73									
Итого СРШ12	8	-	386,0	0,14	0,5	1,73	54,1	93,48	3	2,89	156,4	297,5	336,1	517,1	1344,5
Всего СРШ	94	-	2749,6	0,17	0,59	1,38	467,4	645,1	17	1,41	659,1	1282,4	1441,8	2218,2	-
ЦРО											37,7	16,2	41,1	63,1	-
ЩАО											3,8	1,6	4,1	6,3	-
Всего по цеху											700,6	1300,2	1476,9	2272,2	-

2.3 Выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции

Так как понизительные трансформаторы цеховой ТП-6/0,4 кВ проектируемого цеха ПР-8 питает потребителей, большинство из которых относится к I и II категориям надёжности, следовательно, на данной понизительной подстанции устанавливаются два силовых трансформатора.

В связи с подключением новых потребителей к системе электроснабжения проектируемого цеха ПР-8, проводится проверка силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы.

Выбор и проверка силовых трансформаторов на цеховой ТП-6/0,4 кВ проектируемого цеха ПР-8 в работе проводится по условию

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p}{N\beta_t}, \quad (20)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – «номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора, установленного на ТП-6/0,4 кВ, кВА» [1];

$S_{\text{ном.т.р}}$ – «расчетная мощность силового трансформатора, установленного на ТП-6/0,4 кВ, кВА» [1];

P_p – «суммарная активная нагрузка объектов цеха ПР-8, которые получают питание от ТП-6/0,4 кВ, кВт» [1];

N – «количество силовых трансформаторов для установки на питающей ТП-6/0,4 кВ, шт» [1];

β_t – «нормируемый коэффициент загрузки силового трансформатора на цеховой ТП-6/0,4 кВ» [1].

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

Выбраны два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/6 [12].

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

Дополнительная проверка проводится после выбора устройств компенсации реактивной мощности.

Конструкция цеховой ТП-6/0,4 кВ цеха ПР-8 представлена в графической части работы.

2.4 Компенсация реактивной мощности

Известно, что реактивная мощность является «балластом» энергосистемы, загружая её реактивными токами, высшими гармониками, что приводит к увеличению потерь в системе электроснабжения, перегреву оборудования и выходу его из строя, уменьшению значения показателя эффективности использования электроустановок и сетей.

В виду этого, реактивную мощность необходимо компенсировать. Поэтому в работе необходимо провести расчёт потребляемой реактивной мощности цеха и выбрать компенсирующие устройства (если будет целесообразно).

Реактивная мощность, которую способен пропустить через себя силовой трансформатор цеховой ТП-6/0,4 кВ цеха ПР-8

$$Q_T = \sqrt{(N\beta_T S_{\text{ном.Т}})^2 - P_p^2}, \quad (21)$$

где N – «число трансформаторов на цеховой ТП-6/0,4 кВ, шт.» [8];

β_T – «коэффициент загрузки трансформаторов ТП-6/0,4 кВ (установленное значение)» [8].

Расчётная мощность конденсаторных установок (КУ) на ТП-6/0,4 кВ цеха ПР-8 определяется так:

$$Q_{\text{н.к}} = Q_p - Q_T, \quad (22)$$

где Q_p – реактивная нагрузка проектируемого цеха ПР-8, квар.

Суммарная расчетная мощность КУ:

$$Q_{КУ} = n \cdot Q_{н.к.} \quad (23)$$

«С учётом установки компенсирующих устройств на цеховой ТП-6/0,4 кВ» [13] цеха ПР-8

$$Sp = \sqrt{P_p^2 + (Q_p - Q_{КУ})^2} \quad (24)$$

«Фактический коэффициент загрузки трансформаторов на цеховой ТП-6/0,4 кВ с учётом установки КУ в нормальном режиме работы» [13]:

$$K_з = \frac{S_p}{N_m \cdot S_{ном.т}} \quad (25)$$

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 цеха ПР-8.

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

Суммарная мощность КУ на ТП-6/0,4 кВ

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

Расчётная нагрузка цеховой ТП-6/0,4 кВ цеха ПР-8 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]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,85. \quad (26)$$

Проверка выбранных ранее трансформаторов в ПАВ режиме с учётом выбранных типов и мощности КУ на ТП-6/0,4 цеха ПР-8 [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{\text{ном.т}}} \leq 1,7. \quad (27)$$

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

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

Окончательно принимается к установке на цеховой ТП-6/0,4 кВ два силовых трансформатора марки ТМЗ-630/6.

2.5 Выбор сечений проводников и их проверка

В работе проводится определение и выбор сечений кабельных линий 6 кВ (для питания ТП-6/0,4 кВ), а также кабельных линий питающей и распределительной сети цеха ПР-8.

Значение рабочего тока кабеля [14]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}} \quad (28)$$

Максимальный расчётный ток кабеля

$$I_{p.max} = 1,4 I_{p.} \quad (29)$$

Условие проверки [14]:

$$I_{дон} \geq I_{p.max} \quad (30)$$

где $I_{дон}$ – «длительно – допустимый ток выбранного кабеля» [1];

$I_{p.max}$ – «максимальный расчётный ток линии» [12].

Известно, что кабельные линии напряжением выше 1 кВ подлежат выбору по «экономической плотности тока» [1]:

$$F_{э} = \frac{I_{p.}}{j_{э}}, \quad (31)$$

где $j_{э}$ – «плотность тока, А/мм²» .

Для питающего кабеля ТП-6/0,4 кВ проектируемого цеха ПР-8

$$I_{p.} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 60,6 \text{ A.}$$

$$F_9 = \frac{60,6}{1,6} = 37,9 \text{ мм}^2.$$

Для питающего кабеля ТП-6/0,4 кВ проектируемого цеха ПР-8, выбирается кабель $F=35 \text{ мм}^2$ марки АСБ-6 (3×35) с предельно-допустимым током $I_{дон}=125 \text{ A}$.

Предусматривается прокладка выбранного кабеля 6 кВ в земле.

С учётом перегрева в максимальном режиме

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

В максимальном режиме кабель «проходит» по условию допустимого нагрева токов ПАВ-режима

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

Следовательно, в качестве питающего кабеля ТП-6/0,4 кВ проектируемого цеха ПР-8 окончательно выбирается кабель марки АСБ-6 (3×35) с предельно-допустимым током нормального режима $I_{дон}=125 \text{ A}$.

Проводится выбор шинных мостов (шинопровода магистрального) по значению полной нагрузки цеха (на один шинопровод, питающегося от каждого трансформатора ТП-6/0,4 кВ, приходится половина расчётной нагрузки цеха)

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

Выбирается магистральный алюминиевый шинопровод марки KLM 10x100 с $I_{don} = 1250$ А [14].

Проверка по условию нормального режима выполняется

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

Максимальный рабочий ток шинопровода в послеаварийном режиме

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

Проверка по условию послеаварийного режима выполняется

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

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 цеха бетоном).

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

Проводится выбор кабеля на примере СРШ1. Предварительно выбирается кабель марки ВВГнг-LS (5×185) с $I_{don} = 386$ А [17].

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

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

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

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

Аналогично проводится выбор остальных кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ и результаты расчёта приводятся в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты выбора кабельных линий питающей сети 0,38/0,22 кВ

Наименование	I_p , A	Марка кабеля	$I_{дон}$, A	$I'_{дон}$, A
СРШ1	317,2	ВВГнг-LS (5×185)	386	347,4
СРШ2	334,3	ВВГнг-LS (5×185)	386	347,4
СРШ3	196,5	ВВГнг-LS (5×95)	242	217,8
СРШ4	180,3	ВВГнг-LS (5×95)	242	217,8
СРШ5	253,4	ВВГнг-LS (5×120)	294	264,6
СРШ6	521,3	2ВВГнг-LS (5×120)	588	529,2
СРШ7	521,3	2ВВГнг-LS (5×120)	588	529,2
СРШ8	521,3	2ВВГнг-LS (5×120)	588	529,2
СРШ9	688,8	2ВВГнг-LS (5×185)	772	694,8
СРШ10	472,5	2ВВГнг-LS (5×120)	588	529,2
СРШ11	173,5	ВВГнг-LS (5×70)	196	176,4
СРШ12	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 6).

Для кабелей распределительной сети до 1 кВ (0,38/0,22 кВ) выбираются современные пожаростойкие негорючие силовые кабели марки ВВГнг-LS с наличием пяти жил (в зависимости от режима нейтрали).

Такие кабели рекомендуются в современном мире технической-нормативной документацией [1-5].

Таблица 6 – Выбор кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ

Наименование	I_p, A	Силовой кабель		
		Марка кабеля	$I_{дон}, A$	$I'_{дон}, A$
КМ-360 (85,150)	19,8	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
СПА-300 (130)	14,75	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
ЛЗ 114	9,13	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
SASL 5AD	169,1	ВВГнг-LS (5×70)	214	192,6
GA90 VSDFF (Компрессора)	173,1	ВВГнг-LS (5×70)	214	192,6
SIW 3E	46,11	ВВГнг-LS (5×6)	54	48,6
БДЕ-25 АРО	24,59	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
SwaAGL 315	107,6	ВВГнг-LS (5×25)	123	110,7
SwaAGL 125/5	31,05	ВВГнг-LS (5×4)	43	38,7
SwaAGL 50/3PC	107,6	ВВГнг-LS (5×25)	123	110,7
ЛЗ-192 (А)	42,74	ВВГнг-LS (5×6)	54	48,6
SIW 3	46,11	ВВГнг-LS (5×6)	54	48,6
SIW 4	50,73	ВВГнг-LS (5×10)	73	65,7
SIW 5	59,95	ВВГнг-LS (5×10)	73	65,7
T-6000	288,05	ВВГнг-LS (5×150)	332	298,8
МП-600	292,05	ВВГнг-LS (5×150)	332	298,8
SASL 400/500	212,12	ВВГнг-LS (5×95)	259	233,1
SASL 200/500	141,41	ВВГнг-LS (5×50)	173	155,7
KRT-10A	110,67	ВВГнг-LS (5×25)	123	110,7
3344	199,82	ВВГнг-LS (5×95)	259	233,1
SwaAGL-50	69,78	ВВГнг-LS (5×16)	94	84,6
SwaAIGR-300	33,82	ВВГнг-LS (5×4)	43	38,7
KRT-10A	110,67	ВВГнг-LS (5×25)	123	110,7
BB1	113,64	ВВГнг-LS (5×35)	146	131,4
BB2	28,85	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
BB3	113,64	ВВГнг-LS (5×35)	146	131,4
BB4	113,64	ВВГнг-LS (5×35)	146	131,4
BBY	13,46	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
BBШ	7,05	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7
BBM	10,58	ВВГнг-LS (5×2,5)	33	29,7

Выбранные кабели отвечают требованиям нормативных документов и показаны в графической части работы.

2.6 Расчет токов короткого замыкания

Расчёт токов короткого замыкания 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.

Также результаты токов КЗ используются для выбора и проверки на чувствительность аппаратуры защиты. Для этого проводятся расчёты максимального трёхфазного тока, а также значения двухфазного (минимального) тока КЗ в расчётных точках.

Для расчёта токов короткого замыкания в системе электроснабжения цеха ПР-8 составляется расчётная схема и схема замещения (рисунок 1) [17].

Расчет токов КЗ удобно выполнять по схеме замещения, которая составляется на основании расчетной с размещением точек КЗ (рисунок 1).

Принимаются базисные условия [17]

$$S_{\sigma} = S_{ном.т} = 630 \text{ кВА.}$$

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

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

$$U_{\sigma 2} = 0,4 \text{ кВ.}$$

Принимается в качестве основной ступени напряжения сторона ВН (6 кВ).

Следовательно, базисный ток на основной ступени напряжения [17]

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{61}}, \text{ A;} \quad (33)$$

$$I_6 = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 57,74 \text{ A.}$$

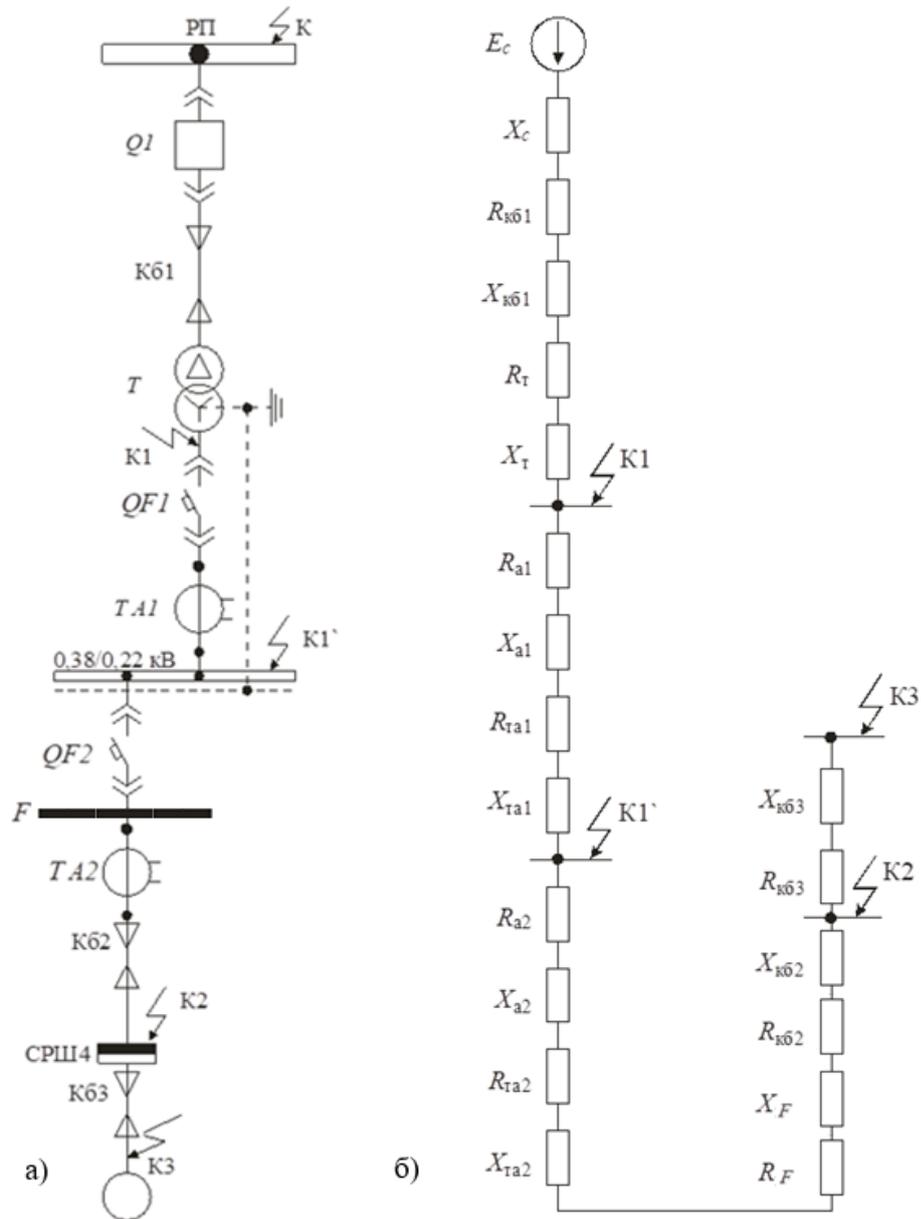


Рисунок 1 - Схема для расчета токов КЗ: а - расчетная схема; б - схема замещения

Согласно данным предприятия, начальное значение периодической составляющей тока трёхфазного КЗ в точке К (на шинах 6 кВ цеховой ТП-6/0,4 кВ) равно $I_{п.0}^{(3)} = 6000$ А.

«Сопротивление системы» [16]

$$x_{*c} = \frac{I_6}{I_{п.0}^{(3)}}, \text{ о.е.}; \quad (34)$$

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

«Сопротивления кабельной линии напряжением 6 кВ» [17]

$$x_{*кб1} = x_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о.е.}; \quad (35)$$

$$r_{*кб1} = r_{0кб1} l_{кб1} \frac{S_6}{U_{61}^2}, \text{ о.е.}, \quad (36)$$

Где $x_{0кб1}$ и $r_{0кб1}$ – «соответственно реактивное и активное удельное сопротивление кабеля, Ом/км ($x_0 = 0,083$ Ом/км, $r_0 = 0,625$ Ом/км).

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

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

«Сопротивление трансформатора» [17]

$$r_{*T} = \frac{\Delta P_{K3}}{S_{\text{НОМ.Т}}}, \text{ о.е. }; \quad (37)$$

$$x_{*T} = \sqrt{u_{*K}^2 - r_{*T}^2} \text{ о.е.} \quad (38)$$

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

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

«Суммарное сопротивление в относительных единицах к точке К1» [16]

$$x_{*\Sigma K1} = x_{*C} + x_{*K61} + x_{*T}, \text{ о.е. }; \quad (39)$$

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

$$r_{*\Sigma K1} = r_{*K61} + r_{*T}, \text{ о.е. }; \quad (40)$$

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

$$z_{*\Sigma K1} = \sqrt{x_{*\Sigma K1}^2 + r_{*\Sigma K1}^2}, \text{ о.е. }; \quad (41)$$

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

«Суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К1» [16]

$$x_{\Sigma K1} = x_{*\Sigma K1} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом. }; \quad (42)$$

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

$$r_{\Sigma K1} = r_{*\Sigma K1} \frac{U_{62}^2}{S_6}, \text{ Ом.}; \quad (43)$$

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

$$z_{\Sigma K1} = \sqrt{r_{\Sigma K1}^2 + x_{\Sigma K1}^2}, \text{ Ом.}; \quad (44)$$

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

«Суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К1"» [16]

$$x_{\Sigma K1'} = x_{\Sigma K1} + x_{a1} + x_{TA1}, \text{ Ом.}; \quad (45)$$

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

$$r_{\Sigma K1'} = r_{\Sigma K1} + r_{a1} + r_{TA1}, \text{ Ом}; \quad (46)$$

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

$$z_{\Sigma K1'} = \sqrt{r_{\Sigma K1'}^2 + x_{\Sigma K1'}^2}, \text{ Ом.}; \quad (47)$$

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

Определяются сопротивление кабельных линий К62 (к СРШ4) и К63 (к наиболее удалённому электроприёмнику, получающему питание от СРШ4 – SIW 5)

$$x_{кб.i} = x_{0.кб.i} l_{кб.i}, \text{ Ом}; \quad (48)$$

$$r_{кб.i} = r_{0.кб.i} l_{кб.i}, \text{ Ом.} \quad (49)$$

Для К62 и К63

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

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

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

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

«Сопротивление шинпровода F » [16]

$$x_F = x_{0.F} \cdot l_F, \text{ Ом}; \quad (50)$$

$$r_F = r_{0.F} \cdot l_F, \text{ Ом}, \quad (51)$$

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

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

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

«Суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К2» [16]

$$x_{\Sigma K2} = x_{\Sigma K1'} + x_{a2} + x_{TA2} + x_{к6.2} + x_F, \text{ Ом}; \quad (52)$$

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

$$r_{\Sigma K2} = r_{\Sigma K1'} + r_{a2} + r_{TA2} + r_{к6.2} + r_F, \text{ Ом}; \quad (53)$$

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

$$z_{\Sigma K2} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}; \quad (54)$$

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

«Суммарное сопротивление в именованных единицах к точке К3» [16]

$$x_{\Sigma K3} = x_{\Sigma K2} + x_{кб.3}, \text{ Ом}; \quad (55)$$

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

$$r_{\Sigma K3} = r_{\Sigma K2} + r_{кб.3}, \text{ Ом}; \quad (56)$$

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

$$z_{\Sigma K3} = \sqrt{r_{\Sigma K2}^2 + x_{\Sigma K2}^2}, \text{ Ом}; \quad (57)$$

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

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

$$I_{K.i}^{(3)} = \frac{U_{62}}{\sqrt{3} \cdot z_{\Sigma K.i}}, \text{ кА}; \quad (58)$$

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

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

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,312} = 0,74 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,944} = 0,24 \text{ кА.}$$

«Ударный ток» [16]

$$i_{y.K.i} = \sqrt{2} \cdot K_y I_{K.i}^{(3)}, \text{ кА}; \quad (59)$$

где K_y - «ударный коэффициент» [16].

$$i_{y.k} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 6,0 = 15,27 \text{ кА};$$

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

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

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

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

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

$$I_{k.i}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{k.i}^{(3)}, \text{ кА}; \quad (60)$$

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

«Аналогично рассчитываются токи двухфазного КЗ в остальных расчётных точках схемы» [18]

$$I_{k1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,92 \approx 0,80 \text{ кА}.$$

$$I_{k1'}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,88 \approx 0,76 \text{ кА}.$$

$$I_{k2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,74 \approx 0,66 \text{ кА}.$$

$$I_{k3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0,24 \approx 0,21 \text{ кА}.$$

«Полученные результаты расчётов токов КЗ, а также ударных токов в расчётных точках схемы цеха» [16] ПР-8, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы системы электроснабжения цеха ПР-8

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 основного электрооборудования и его проверка

Проводится выбор основных типов и марок электрических аппаратов напряжением 6 кВ и 0,38/0,22 кВ проектируемой системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8.

Для защиты и коммутации цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8, на напряжении 6 кВ на питающем РУ-6 кВ, используются высоковольтные выключатели.

Для обеспечения безопасности проводимых работ с целью создания видимого разрыва в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8 применяются втычные контакты.

Для защиты перенапряжений в схеме цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8 применяются ограничители перенапряжения.

Выбор аппаратов высокого напряжения [6-8]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (61)$$

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

Выбранные аппараты проверяются [14]:

$$I_{nt} \leq I_{откл}. \quad (63)$$

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

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

$$i_y \leq i_{пр.с}, \quad (66)$$

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

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

Выбор электрических аппаратов высокого напряжения на стороне ВН цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8 рассмотрен на примере вводного выключателя в РУ-6 кВ.

Предварительно выбирается для установки в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8, вакуумный выключатель марки 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 ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8 вакуумный выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20/630-У2-48.

Установлено, что выбранный высоковольтный выключатель удовлетворяет всем условиям проверок, поэтому может быть использован в качестве вводного выключателя в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8.

Распределительный пункт 6 кВ предприятия (РП-6 кВ) является источником питания, на котором также устанавливаются аппараты высокого напряжения, служащие для защиты и коммутации системы электроснабжения проектируемого в работе цеха по производству подшипников.

Аппараты, которые установлены в РУ-6 кВ, защищают СЭС цеха на напряжении 6 кВ.

В частности, первым звеном защиты будет служить трансформаторная подстанция цеха подшипников.

Ячейки КРУ-6 кВ питающего РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8, 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 системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8, приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 6 кВ для установки в ячейках КРУ-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8

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 системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8, показаны в графической части работы.

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

«Номинальные токи автомата и теплового расцепителя» [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» [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» [14]:

$$I_p = I_{ном}. \quad (72)$$

$$I_n = I_{пуск}. \quad (73)$$

Выбирается автомат ввода ТП-6/0,4 кВ с расчётным током, равным рабочему току силового трансформатора ТП-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»: « $U_{ном.а}=380 \text{ В}$; $I_{ном.а}=1600 \text{ А}$; $I_{ном.т.р}=1600 \text{ А}$; $I_{ном.э.р}=4800 \text{ А}$; $K_{то}=3$ » [14].

Выбор остальных автоматических выключателей системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8 осуществлён аналогично (таблица 9).

Таблица 9 – Результаты выбора «автоматов для защиты и коммутации питающей сети напряжением 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения» цеха производства высокоточных подшипников ПР-8

Наименование	I_p, A	Марка автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.т.р}, A$	$I_{ном.э.р}, A$
СРШ1	317,2	ВА 53-37	400	400	1200
СРШ2	334,3	ВА 53-37	400	400	1200
СРШ3	196,5	ВА 53-37	250	250	750
СРШ4	180,3	ВА 53-37	250	250	750
СРШ5	253,4	ВА 53-37	400	400	1200
СРШ6	521,3	ВА 83-41	630	630	1890
СРШ7	521,3	ВА 83-41	630	630	1890
СРШ8	521,3	ВА 83-41	630	630	1890
СРШ9	688,8	ВА 54-41	1000	1000	3000
СРШ10	472,5	ВА 83-41	630	630	1890
СРШ11	173,5	ВА 53-37	250	250	750
СРШ12	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 цеха производства высокоточных подшипников ПР-8, полученные по аналогичной методике выбора аппаратов, приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения цеха производства высокоточных подшипников ПР-8

Наименование	$I_{p,1}, A$	Марка автомата	$I_{ном.а}, A$	$I_{ном.т.р}, A$	$I_{ном.э.р}, A$
КМ-360 (85,150)	19,8	ВА 52-31	100	25	250
СПА-300 (130)	14,75	ВА 52-31	100	25	250
ЛЗ 114	9,13	ВА 52-31	100	16	160
SASL 5AD	169,1	ВА 52-35	250	200	600
GA90 VSDFP (Компрессора)	173,1	ВА 52-35	250	200	600
SIW 3E	46,11	ВА 52-31	100	63	630
БДЕ-25 АРО	24,59	ВА 52-31	100	31,5	315
SwaAGL 315	107,6	ВА 52-33	160	125	625
SwaAGL 125/5	31,05	ВА 52-31	100	40	400
SwaAGL 50/3PC	107,6	ВА 52-33	160	125	625
ЛЗ-192 (А)	42,74	ВА 52-31	100	50	500
SIW 3	46,11	ВА 52-31	100	63	630
SIW 4	50,73	ВА 52-31	100	63	630
SIW 5	59,95	ВА 52-31	100	80	800
T-6000	288,05	ВА 52-37	400	320	960
МП-600	292,05	ВА 52-37	400	400	1200
SASL 400/500	212,12	ВА 52-35	250	250	750
SASL 200/500	141,41	ВА 52-33	160	160	800
KRT-10A	110,67	ВА 52-33	160	160	800
3344	199,82	ВА 52-35	250	250	750
SwaAGL-50	69,78	ВА 52-31	100	80	800
SwaAIGR-300	33,82	ВА 52-31	100	40	400
KRT-10A	110,67	ВА 52-33	160	160	800
BB1	113,64	ВА 52-33	160	160	800
BB2	28,85	ВА 52-31	100	40	400
BB3	113,64	ВА 52-33	160	160	800
BB4	113,64	ВА 52-33	160	160	800
BBY	13,46	ВА 52-31	100	20	200
BBШ	7,05	ВА 52-31	100	10	100
BBM	10,58	ВА 52-31	100	16	160

2.8 Выбор устройств релейной защиты и автоматики

Известно, что к релейной защите и автоматике (РЗА) систем электроснабжения предъявляются следующие основные требования [1]:

- быстродействие;
- надёжность;
- селективность (избирательность);
- минимизация времени и затрат на монтаж, обслуживание и ремонт (экономичность).

Современные микропроцессорные устройства РЗА, пришедшие на смену устаревшим электромагнитным, электромеханическим и индукционным реле, в полной мере отвечают данным требованиям [18;19]. В основе современных микропроцессорных РЗА лежат надёжные и компактные интегральные микросхемы, которые имеют значительное преимущество перед устаревшими типами реле, указанными выше [18;19].

Последнее поколение микропроцессорных РЗА выполняется в виде многофункциональных блоков (многоцелевые устройства), в которых объединены функции многих защит, устройств автоматики и сигнализации. Использование последних позволяет значительно уменьшить габариты устройств РЗА, а также сократить затраты и время на монтаж, обслуживание и ремонт. Кроме того, по показателям надёжности и быстродействия современные микропроцессорные блоки защит значительно превосходят устаревшие аналоги на индукционной и электромагнитной базе.

В качестве микропроцессорной защиты для защиты цеховой ТП-6/0,4 кВ на стороне 6 кВ в работе выбираются блоки марки БМРЗ (производитель – НТЦ «Механотроника») [20]. Данные блоки РЗА заменяют устаревшие индукционные и электромагнитные реле типа РТ-40, РТ-80, РТМ, РТВ, которые использовались ранее.

Защита устанавливается на питающем РП-6 кВ завода.

Определение максимального рабочего тока для цеховой ТП-6/0,4 кВ с взаимным резервированием и с учётом подключения дополнительной нагрузки:

$$I_{\text{раб.макс}} = I_{\text{раб.макс(н)}} + I_{\text{раб.макс(д)}} \quad (75)$$

При этом

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = K_o \cdot K_z I_{\text{max}} \quad (76)$$

В работе принимается равенство основной и дополнительной нагрузки при расчёте максимального рабочего тока

$$I_{\text{раб.макс(д)}} = I_{\text{раб.макс(н)}} \quad (77)$$

Ток трансформатора цеховой ТП-6/0,4 кВ на стороне ВН:

$$I_{\text{раб.макс(н)}} = 0,9 \cdot 0,8 \cdot \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 43,65 \text{ А.}$$

$$I_{\text{раб.макс(д)}} = I_{\text{раб.макс(н)}} = 43,65 \text{ А.}$$

$$I_{\text{раб.макс}} = 43,65 + 43,65 = 87,3 \text{ А.}$$

Кроме того, необходимо рассчитать коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Вторичный ток трансформаторов тока принимается равным 5 А.

Значение первичного номинального тока трансформаторов тока выбираются по номинальной шкале, исходя из значения максимального рабочего тока.

Для силового трансформатора цеховой ТП-6/0,4 кВ на стороне ВН (6 кВ) $I_{\text{раб.макс}} = 87,3$ А, следовательно, $I_{\text{ном.ТТ1}} = 100$ А. Коэффициент трансформации

$$K_m = \frac{100}{5} = 20.$$

Для защиты цеховой ТП-6/0,4 кВ на стороне 6 кВ в работе предусматриваются следующие виды релейной защиты:

- двухступенчатая токовая защита (ДТЗ) – максимальная токовая защита с выдержкой времени (МТЗ) и токовая отсечка без выдержки времени (ТО);
- дифференциальная токовая защита (ДЗ) – в случае недостаточной чувствительности ТО;
- защита от однофазных коротких замыканий на землю (ЗОЗ).

Ток срабатывания МТЗ [18] определяется, исходя из двух условий:

$$I_{\text{с.з}} \geq \frac{K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс}}}{K_{\text{г}}}. \quad (78)$$

Значение тока уставки микропроцессорного реле МТЗ [18;19]

$$I_{\text{с.р}} \geq \frac{K_{\text{сх}}^{(3)}}{K_m} \cdot I_{\text{с.з}}, \quad (79)$$

где $K_{\text{сх}}^{(3)}$ - коэффициент схемы.

Второе условие:

$$I_{\text{с.з}} \geq K_{\text{отс}} \cdot (I_{\text{раб.макс(н)}} + K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{раб.макс(д)}}). \quad (80)$$

Коэффициент чувствительности [19]

$$K_{\text{ч}} = \frac{K_{\text{сх}}^{(\kappa)}}{K_{\text{сх}}^{(3)}} \cdot \frac{I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}}{I_{\text{с.з}}} \geq 1,5. \quad (81)$$

где $I_{\text{к.мин}}^{(\kappa)}$ - минимальный ток КЗ (ток двухфазного КЗ).

Расчёт МТЗ цеховой ТП-6/0,4 кВ на стороне 6 кВ:

$$I_{\text{с.з}} \geq \frac{1,1 \cdot 1,62 \cdot 87,3}{0,8} = 194,5 \text{ А.}$$

При этом ток срабатывания микропроцессорного реле

$$I_{\text{с.р}} \geq \frac{1}{20} \cdot 194,5 = 9,725 \text{ А.}$$

Выбирается уставка микропроцессорного реле $I_{\text{с.р.}} = 10 \text{ А.}$

Проверка по второму условию выполняется

$$194,5 \text{ А} > 1,1 \cdot (87,3 + 1 \cdot 87,3) = 192,1 \text{ А.}$$

Коэффициент чувствительности МТЗ достаточен

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{5200}{194,5} = 26,7 > 1,5$$

Для защиты цеховой ТП-6/0,4 кВ на стороне 6 кВ окончательно принимается: $I_{\text{с.з}} = 194,5 \text{ А}$, $I_{\text{с.р}} = 10 \text{ А}$, $t_{\text{с.з}} = 0,5 \text{ с.}$

ТО выбирается по двум условиям.

Первое условие:

$$I_{\text{с.з}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{\text{к.макс}}, \quad (82)$$

где $I_{к.макс}$ – ток трёхфазного КЗ;

$K_{отс}$ – коэффициент отстройки.

Второе условие:

$$I_{с.з} = K'_{отс} \cdot \sum I_{т.ном}. \quad (83)$$

Ток срабатывания микропроцессорного реле ТО:

$$I_{с.р} \geq \frac{K_{сх}^{(3)}}{K_m} \cdot I_{с.з}. \quad (84)$$

Коэффициент чувствительности ТО

$$K_{\psi} = \frac{K_{сх}^{(к)}}{K_{сх}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.нач.}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (85)$$

где $I_{к^{(к)}}_{нач.}$ – минимальный ток КЗ (ток двухфазного КЗ).

Расчёт уставки срабатывания токовой отсечки без выдержки времени:

$$I_{с.з} = 1,15 \cdot 6 = 6,9 \text{ кА.}$$

$$I_{с.з} = 1,15 \cdot 87,3 = 100,4 \text{ А.}$$

Принимается для ТО $I_{с.з} = 7,8 \text{ кА.}$

Ток срабатывания микропроцессорного реле ТО

$$I_{с.р} = \frac{1}{20} \cdot 6900 = 345 \text{ А.}$$

Принимается $I_{с.р} = 390 \text{ А.}$

Коэффициент чувствительности ТО недостаточен

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{5200}{6900} = 0,75 < 1,2.$$

В результате проведения дальнейших расчётов ТО, было установлено, что для защиты цеховой ТП-6/0,4 кВ на стороне 6 кВ коэффициент чувствительности ТО без выдержки времени недостаточный, следовательно, вместо ТО устанавливается продольная дифференциальная токовая защита линий с абсолютной селективностью, ток которой принимается равный току срабатывания ТО $I_{c.з} = 7,8$ кА.

Для ЗОЗ всех отходящих линий в работе применяется направленная токовая защита нулевой последовательности на базе микропроцессорных реле с рекомендованным током срабатывания 0,5 А.

2.9 Технико-экономическое обоснование проекта

Значение максимальной расчётной мощности на шинах 0,38/0,22 кВ ТП-6/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения цеха ПР-8 составляет $P_{max} = 700,6$ кВт, $T_{max} = 3500$ ч.

Амортизация является процессом пересчёта стоимости основного средства на производимую продукцию [21]:

- НК – стоимость имущества составляет 100 000 тыс. руб.;
- БУ – стоимость имущества составляет 40 000 тыс. руб.;
- МПЗ – все, что ниже стоимости 40 000 тыс. руб. (списывается в расход).

Исходя из принятых решений в работе, капиталовложения в систему электроснабжения цеха ПР-8 определяются [21]:

$$K = K_{ТП} + K_C + K_A, \quad (86)$$

где $K_{ТП}$ - капиталовложения в цеховую ТП-6/0,4 кВ (включая трансформаторы и шкафы РУ-6 кВ и РУ-0,4 кВ);
 K_C - капиталовложения в сети (включая кабельные линии напряжением 6 кВ и 0,4 кВ, а также шинопроводы);
 K_A - капиталовложения в электрические аппараты 6 кВ и 0,4 кВ (включая распределительные шкафы и ячейки).

Капиталовложения по каждому из видов определяется с учётом стоимости единицы, количества единиц, а также расходов на монтаж и наладку (25-35% от стоимости оборудования) и накладных расходов (10-15% от стоимости оборудования).

Капиталовложения в цеховую ТП-6/0,4 кВ с двумя силовыми трансформаторами и шкафами РУ системы электроснабжения цеха определяются [21]:

$$K_{ТП} = C_{осн} \cdot n + M_n + H_p, \quad (87)$$

где n - количество единиц оборудования, шт.;

$C_{осн}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

M_n - расходы на монтаж и наладку оборудования РУ, тыс. руб.;

H_p - накладные расходы, тыс. руб.

Принимается в работе

$$M_n = 0,3C_{осн}; H_p = 0,1C_{осн}. \quad (88)$$

Результаты расчёта стоимости оборудования цеховой ТП-6/0,4 кВ с учётом выбранных в работе двух силовых трансформаторов марки ТМЗ-630/6 сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Стоимость оборудования цеховой ТП-6/0,4 кВ

Тип электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Силовой трансформатор ТМЗ-630/6	2	150,0	300,0
Шкаф РУ-6 кВ (без оборудования)	2	15,0	30,0
Шкаф РУ-0,4 кВ (без оборудования)	15	8,0	120,0
Итого:	7	-	450,0

Капиталовложения в цеховую ТП-6/0,4 кВ проектируемого цеха ПР-8 по условию (87)

$$K_{III} = 450 + 0,3 \cdot 450 + 0,1 \cdot 450 = 630 \text{ тыс.руб.}$$

Капиталовложения в электрические сети (кабельные линии напряжением 6 кВ и 0,4 кВ и шинопроводы) определяются так [21]

$$K_C = l_C \cdot C_C + M_n + H_p, \quad (89)$$

где l_C - длина сети, км;

C_C - стоимость 1 км сети, тыс. руб.

Расчеты стоимости электрических сетей проектируемого цеха ПР-8 сводятся в таблицу 12.

Таблица 12 – Стоимость электрических сетей цеха

Марка кабеля (шинопровода)	Кол-во, км	Стоимость, за км, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
АСБ-6(3×35)	0,5	220,0	110,0
KLM 10x100	1,2	750,0	900,0
ВВГнг-LS (5×2,5)	0,8	116,0	92,8
ВВГнг-LS (5×4)	0,6	181,0	108,6
ВВГнг-LS (5×6)	0,5	302,0	151,0
ВВГнг-LS (5×10)	0,6	400,0	240,0
ВВГнг-LS (5×16)	0,4	452,0	180,8
ВВГнг-LS (5×25)	0,5	684,0	342,0
ВВГнг-LS (5×35)	0,5	762,0	381,0
ВВГнг-LS (5×50)	0,4	878,0	351,2
ВВГнг-LS (5×70)	0,3	921,0	276,3
ВВГнг-LS (5×95)	0,4	1028,0	411,2
ВВГнг-LS (5×120)	0,2	1264,0	252,8
ВВГнг-LS (5×150)	0,2	1322,0	264,4
ВВГнг-LS (5×185)	0,1	1496,0	149,6
Итого:	7,8	-	4211,7

Капиталовложения в электрические сети:

$$K_C = 4211,7 + 0,3 \cdot 4211,7 + 0,1 \cdot 4211,7 = 5896,38 \text{ тыс.руб.}$$

Капиталовложения в электрические аппараты (включая распределительные шкафы и ячейки) определяются так [21]

$$K_A = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (90)$$

где n - количество единиц оборудования, шт.;

$C_{осн}$ - стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

M_n - расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

H_p - накладные расходы, тыс. руб.

Расчеты стоимости электрических аппаратов цеха сводятся в таблицу 13.

Таблица 13 – Стоимость электрических аппаратов цеха

Марка электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	2	280,0	560,0
ТПЛ-10	6	16,0	96,0
ВНР-10/400-10-УЗ	2	46,0	92,0
ПК103-6-100-31,5/УЗ	2	4,0	8,0
Автоматы ВА	106	2,5	265,0
КРУ КУ-6С (без оборудования)	2	62,0	124,0
СРШ СПА-77 (без оборудования)	12	7,0	84,0
Блок РЗиА БМРЗ	2	22,0	44,0
Итого:	-	-	1273,0

Капиталовложения в электрические аппараты:

$$K_C = 1273 + 0,3 \cdot 1273 + 0,1 \cdot 1273 = 1782,2 \text{ тыс.руб.}$$

Определение суммы общих капитальных вложений в систему электроснабжения цеха ПР-8 [21]

$$K = 630 + 4211,7 + 1782,2 = 6623,9 \text{ тыс.руб.}$$

В общем виде расчетная формула эксплуатационных издержек (затрат) для системы электроснабжения цеха ПР-8 имеет вид [21]:

$$\begin{aligned} \text{ЭЗ} = & \text{ЗП} + \text{СВ} + A_{\text{отП}} + A_{\text{оС}} + A_{\text{оА}} + \\ & + P_{\text{ТО(П)}} + P_{\text{ТО(С)}} + P_{\text{ТО(А)}} + C_{\text{ЭЭ}} + \text{Пр}, \end{aligned} \quad (91)$$

где ЗП – заработная плата, тыс. руб.;

СВ – страховые взносы, тыс. руб.;

А – амортизационные отчисления, тыс. руб.;

Р – затраты на ремонт и техническое обслуживание, тыс. руб.

Заработная плата за год [21]

$$\text{ЗП} = M_0 \cdot N \cdot K_{\text{дон}} \cdot T, \quad (92)$$

где $M_0 = 30,37$ тыс. руб. – средний месячный оклад по Саратовской области по состоянию на 2021 г.;

$N = 5$ – количество оперативно – технических работников;

$K_{\text{дон}} = 1,5$ – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда;

$T = 12$ – число месяцев в году.

$$\text{ЗП} = 30,37 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 12 = 2733,3 \text{ тыс.руб.}$$

Страховые взносы составляют 30,9% от ЗП

$$CB = 0,309 \cdot 3П. \quad (93)$$

$$CB = 0,309 \cdot 2733,3 = 844,6 \text{ тыс.руб.}$$

Амортизационные отчисления на разработанную систему электроснабжения цеха согласно [12], определяются так [21]:

$$A_o = K \cdot \frac{a}{100}, \quad (94)$$

где a - годовая норма амортизационных отчислений, % [21].

$$A_{oП} = 630 \cdot 0,01 = 6,3 \text{ тыс.руб.};$$

$$A_{oС.} = 4211,7 \cdot 0,01 = 42,12 \text{ тыс.руб.}$$

$$A_{oА.} = 1782,2 \cdot 0,01 = 17,82 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные амортизационные отчисления

$$A_o = 6,3 + 42,12 + 17,82 = 66,24 \text{ тыс.руб.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание [21]

$$P_{ТО} = K \cdot \frac{r}{100}, \quad (95)$$

где r - годовая норма отчислений на ремонт и техническое обслуживание оборудования и сетей, % [21].

$$P_{ТО(П)} = 630 \cdot 0,0025 = 1,58 \text{ тыс.руб.};$$

$$P_{ТО(С)} = 4211,7 \cdot 0,0025 = 10,53 \text{ тыс.руб.}$$

$$P_{ТО(А)} = 1782,2 \cdot 0,0025 = 4,46 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные расходы на ремонт и техническое обслуживание

$$P_{TO} = 1,58 + 10,53 + 4,46 = 16,57 \text{ тыс.руб.}$$

Стоимость электроэнергии [21]:

$$C_{ЭЭ} = W_{год} \cdot T_{ЭЭ}, \quad (96)$$

где $T_{ЭЭ}$ - одноставочный тариф на электроэнергию (для Саратовской области стоимость на 01.01.2021 г. – 3,68 руб./кВт·ч);

$W_{год}$ - годовой объем потребляемой энергии, кВт·ч.

$$W_{год} = T_{max} \cdot P_{max}, \quad (97)$$

где $T_{max} = 3500 \text{ ч}$ - количество часов использования максимума;

P_{max} - максимальная расчётная активная мощность цеха.

$$W_{год} = 3500 \cdot 700,6 = 2452100 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

$$C_{ЭЭ} = 2452100 \cdot 3,68 = 9023,73 \text{ тыс.руб.}$$

Прочие расходы [21]

$$Pr = 0,01 \cdot \sum K. \quad (98)$$

$$Pr = 0,01 \cdot 6623,9 = 66,24 \text{ тыс.руб.}$$

Годовые эксплуатационные издержки [21]

$$ЭЗ = 2733,3 + 844,6 + 166,24 + 16,57 + 9023,73 + 66,24 = 12850,68 \text{ тыс.руб.}$$

Технико-экономические показатели системы электроснабжения цеха ПР-8 представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Технико-экономические показатели системы электроснабжения цеха ПР-8

Наименование статьи затрат	Ед. измерения	Величина
Капиталовложения	тыс.руб.	6623,9
Заработная плата	тыс.руб.	2733,3
Страховые взносы	тыс.руб.	844,6
Суммарные амортизационные отчисления	тыс.руб.	66,24
Суммарные расходы на ремонт и техническое обслуживание	тыс.руб.	16,57
Стоимость потребляемой электроэнергии	тыс.руб.	9023,73
Прочие расходы	тыс.руб.	66,24
Годовые эксплуатационные издержки	тыс.руб.	12850,68

Выводы по разделу 2.

На основе характеристики предприятия и технических условий потребителей цеха ПР-8, осуществлена непосредственная разработка система электроснабжения цеха ПР-8 АО «ЕПК Саратов».

Питание цеха ПР-8 осуществляется на номинальном напряжении 6 кВ от РП завода по радиальной двухлучевой схеме (без наличия ответвлений).

В работе выбраны и проверены сечения кабельных линий в системе электроснабжения цеха ПР-8, а также электрические аппараты.

Выбраны микропроцессорные блоки релейной защиты марки БМРЗ (производитель – НТЦ «Механотроника»), для которых рассчитаны токи уставок защит цеховой ТП-6/0,4 кВ.

Проведено технико – экономическое обоснование проекта, в результате которого установлено, что суммарные капиталовложения в систему электроснабжения цеха ПР-8 составили 6623,9 тыс. руб. при величине годовых эксплуатационных издержек 12850,68 тыс. руб.

3 Безопасность жизнедеятельности

3.1 Мероприятия по технике безопасности, пожарной и экологической безопасности

В числе основных опасных и вредных производственных факторов при выполнении работ в системе электроснабжения цеха ПР-8, выделяются факторы при следующих условиях [22-24]:

- 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 цеха ПР-8;
- при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения);
- при нахождении человека вблизи заземления, с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции в системе электроснабжения цеха ПР-8.

Кроме того, существует вероятность прочих производственных видов опасности:

- опасность возможных ожогов электрической дугой, которая возникла в результате неправильных оперативных действий с заземляющими ножами на ТП-6/0,4 кВ цеха ПР-8;
- 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 возгорания;
- 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 [22], 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.

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 цеха ПР-8, 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.

Электротехническому персоналу, работающему в электроустановках в системе электроснабжения цеха ПР-8, выдаются перчатки, коврики, очки и другие защитные средства.

Особо следует уделить внимание электроинструменту.

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.

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 [23]:

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

Установлены требования к нормативам предельно допустимых выбросов, закреплено дополнительные обязанности предприятий, в том числе [23]: 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.

Экологический риск от негативного влияния цеха ПР-8 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, а также загрязнения земельных участков отходами.

3.2 Расчёт контура заземления цеховой трансформаторной подстанции

Накопленный десятилетиями опыт работ в электроустановках позволяет говорить о том, что в подавляющем большинстве случаев на понизительных подстанциях предприятий и цехов 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].

Рассчитывается сопротивление грунта для вертикальных и горизонтальных заземлителей, Ом, [25]:

$$\rho_{p.z} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.z}, \quad (99)$$

$$\rho_{p.g} = \rho_{y\delta} \cdot K_{n.g}, \quad (100)$$

где $\rho_{y\delta}$ – удельного сопротивления грунта [25];

$K_{n.z}$ и $K_{n.g}$ – нормируемые коэффициенты [25].

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

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

Для стержневого вертикального заземлителя [25]:

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (101)$$

$$R_B = 0,366 \cdot \frac{200}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,95 \cdot 0,02} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 0,5 + 3 \cdot 2}{4 \cdot 0,5 + 5} \right) = 23,65 \text{ Ом}.$$

Число вертикальных заземлителей (электродов) [25]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot R_3}, \text{ шт}. \quad (102)$$

$$N = \frac{23,65}{0,66 \cdot 4} = 8,96 \text{ шт.}$$

Принимается $N = 9$ шт.

Сопротивление растеканию горизонтальных электродов [25]:

$$R_r = \frac{\rho_p}{K_{u.e} \cdot 2\pi \cdot l_2} \cdot \lg \frac{2 \cdot l_2^2}{b \cdot t}, \text{ Ом.} \quad (103)$$

$$R_r = \frac{200}{0,32 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 8} \cdot \lg \frac{2 \cdot 5^2}{0,08 \cdot 0,5} = 26,17 \text{ Ом.}$$

Уточненное значение [25]

$$R_{6.э.} = \frac{R_B \cdot R_3}{R_B - R_3}, \text{ Ом.} \quad (104)$$

$$R_{6.э.} = \frac{26,17 \cdot 4}{26,17 - 4} = 4,72 \text{ Ом.}$$

Уточненное число вертикальных заземлителей [25]:

$$N = \frac{R_B}{K_{u.e} + R_B}, \text{ шт,} \quad (105)$$

$$N = \frac{23,65}{0,66 + 4,72} = 7,6 \text{ шт.}$$

Сопротивление вертикальных заземлителей, Ом [25]:

$$R_{6.е} = \frac{R_B}{K_{u.e} \cdot N}, \text{ Ом.} \quad (106)$$

$$R_{6.е} = \frac{23,65}{0,66 \cdot 8} = 4,48 \text{ Ом.}$$

Общее сопротивление заземлителей (электродов) спроектированного контура заземления цеховой ТП-6/0,4 кВ, $R_{в.в.}$, Ом, определяется [25]:

$$R_{общ.} = \frac{R_B \cdot R_\Gamma}{R_B + R_\Gamma}, \text{ Ом.} \quad (107)$$

$$R_{общ.} = \frac{4,48 \cdot 26,17}{4,48 + 26,17} = 3,74 \text{ Ом.}$$

Окончательно принимается к установке в контуре заземления цеховой ТП-6/0,4 кВ проектируемого цеха ПР-8 восемь вертикальных заземлителей (электродов).

Конструкция контура заземления цеховой ТП-6/0,4 кВ приведена в графической части работы.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения раздела, рассмотрены вопросы электробезопасности, пожарной безопасности и экологические вопросы, а также выполнен непосредственный расчёт контура заземления питающей трансформаторной подстанции цеха ПР-8.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект системы электроснабжения цеха ПР-8 АО «ЕПК Саратов».

Для достижения поставленной цели в работе осуществлено решение основных задач, приведённых ниже, с указанием полученного результата.

На основе характеристики предприятия и технических условий потребителей цеха ПР-8, осуществлена непосредственная разработка система электроснабжения цеха ПР-8 АО «ЕПК Саратов».

Питание цеха ПР-8 осуществляется на номинальном напряжении 6 кВ от РП завода по радиальной двухлучевой схеме.

В цеху принята установка двух силовых трансформаторов марки ТМЗ-630/6. В работе выбраны и проверены сечения кабельных линий в системе электроснабжения цеха ПР-8. Выбраны и проверены электрические аппараты в системе электроснабжения цеха ПР-8.

Выбраны микропроцессорные блоки релейной защиты марки БМРЗ (производитель – НТЦ «Механотроника»), для которых рассчитаны токи уставок защит цеховой ТП-6/0,4 кВ.

Проведено технико – экономическое обоснование проекта, в результате которого установлено, что суммарные капиталовложения в систему электроснабжения цеха ПР-8 составили 6623,9 тыс.руб. при величине годовых эксплуатационных издержек 12850,68 тыс.руб.

Рассмотрены вопросы электробезопасности, пожарной безопасности и экологические вопросы, а также выполнен непосредственный расчёт контура заземления питающей трансформаторной подстанции цеха ПР-8.

Разработанная система электроснабжения цеха ПР-8 отвечает установленным требованиям нормативных документов по всем требуемым критериям и нормам.

Проект может быть принят к использованию в качестве учебного для выполнения типичных работ.

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. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений: Учебник / Т.В. Анчарова, М.А. Рашевская, Е.Д. Стебунова. - 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. Светотехника и электротехнология / Л. А. Баранов, В. А. Захаров -М.: Колос, 2018. 343с.
5. Газалов В.С. Светотехника и электротехнология. Учебное пособие. /В.С. Газалов. – 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. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения / К.П. Кадомская, Ю.А. Лавров. - 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 / Б.И. Кудрин. - 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. – М.: 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.

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

18. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - 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. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. - М.: Лань, 2015. 480 с.

24. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению / В.П. Шеховцов. - 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 – М.: Министерство энергетики, 2020.