

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 Реконструкция электроснабжения обогатительной фабрики

Обучающийся

Э. Ю. Ибрагимов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент. М. Н. Третьякова

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

Консультант

к.п.н., доцент Т.С.Якушева

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

Тольятти 2022

Аннотация

Целью данной работы является реконструкция системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Для решения задачи в работе был проведен анализ исходных данных, на основании которых были приняты меры по проектированию системы электроснабжения обогатительной фабрики.

По результатам расчета нагрузок потребителей, а также расчета токов короткого замыкания, в работе выбрана и обоснована схема электроснабжения объекта реконструкции, осуществлен выбор проводников электрических сетей, электроаппаратов, и системы учета и контроля электроэнергии на объекте исследования.

Обоснованность всех указанных мероприятий по проектированию системы электроснабжения объекта исследования в работе подтверждается соответствующими техническими расчетами и проверками, в частности, выбором современных видов оборудования и сетей разрабатываемого проекта.

Проанализированы и разработаны основные мероприятия по безопасному производству работ с последующим их выполнением на объекте реконструкции.

Abstract

The purpose of this work is the reconstruction of the power supply system of the processing plant.

To solve the problem, the paper carried out an analysis of the initial data, on the basis of which measures were taken to design the power supply system of the processing plant.

Based on the results of the calculation of consumer loads, as well as the calculation of short-circuit currents, the work selected and substantiated the power supply scheme of the reconstruction object, the choice of conductors of electrical networks was carried out, and electrical apparatus and systems for accounting and controlling electricity at the research object were carried out.

The rationale for all these measures for the design of the power supply system of the object of study in the work is confirmed by the relevant technical calculations and checks, in particular, by the choice of modern types of equipment and networks of the developed project.

The main measures for the safe performance of work with their subsequent implementation at the reconstruction site have been analyzed and developed.

Содержание

Введение.....	5
1 Характеристика объекта реконструкции	7
1.1 Характеристика технологического процесса на обогатительной фабрике.....	7
1.2 Характеристика существующей системы электроснабжения обогатительной фабрики	10
1.3 Характеристика потребителей обогатительной фабрики	13
1.3 Обоснование необходимости проведения реконструкции	18
2 Реконструкция системы электроснабжения обогатительной фабрики	21
2.1 Реконструкция схемы электрических соединений обогатительной фабрики	21
2.2 Расчёт электрических нагрузок	26
2.3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП	31
2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП	34
2.5 Построение картограммы электрических нагрузок	38
2.6 Выбор сечения проводников.....	41
2.7 Расчёт токов короткого замыкания	45
2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов	52
3 Обеспечение норм по охране труда	57
3.1 Обеспечение нормативных положений по охране труда.....	57
3.2 Охрана труда на обогатительной фабрике	59
Заключение	66
Список используемых источников.....	68

Введение

В работе детально рассматривается реконструкция системы электроснабжения обогатительной фабрики, в основе производственной деятельности которой лежит непосредственное обогащение полезными добавками рудного материала различного рода (руды чёрных, цветных металлов, а также нерудного материала), применяемых, в основном, на предприятиях тяжёлой промышленности, а также прочих сферах и отраслях на предприятиях страны.

Известно, что системы обогатительные фабрики обеспечивают технологический процесс непосредственного обогащения рудных и нерудных полезных ископаемых, а также их последующую реализацию. Кроме того, на обогатительной фабрике также выполняют их непосредственное обслуживание, монтажные и ремонтные работы различного рода, обеспечивая таким образом технологический процесс на данном предприятии. В виду этого, можно сделать вывод, что рассматриваемая в работе обогатительная фабрика имеет важное хозяйственное значение, поэтому реконструкция её системы электроснабжения в условиях современных экономических преобразований очень актуальна. Такая реконструкция позволит снизить расходы на энергоносители, уменьшить потери электроэнергии в сетях, минимизирует затраты на эксплуатацию оборудования, повысит надёжность электроснабжения промышленных объектов, обеспечит безотказность работы электрооборудования. Данные аспекты в конечном итоге приведут к повышению конкурентоспособности предприятия.

Целью данной работы является повышение надёжности схемы электрических соединений системы электроснабжения обогатительной фабрики путём внедрения соответствующих технических решений, принятых и подтверждённых на основании нормативных документов [1].

Объектом исследования в данной работе является система электроснабжения производственных и вспомогательных технологических

систем обогатительной фабрики.

Предметом исследования являются схема электрических соединений системы электроснабжения производственных и вспомогательных технологических систем обогатительной фабрики, а также элементы системы электроснабжения объекта исследования: электрические сети питающей и распределительной сети, а также электрические аппараты всех рассматриваемых в работе номинальных классов напряжения.

«Актуальность работы обусловлена требованиями нормативных документов к объектам и системам электроснабжения производственных и вспомогательных технологических систем, находящихся на стадии реконструкции и модернизации [10]. Актуальность исследования в работе также обусловлена и подтверждается необходимостью качественных мероприятий по проектированию, модернизации и реконструкции систем электроснабжения предприятий отечественного промышленного и энергетического комплекса всех типов согласно действующим нормативам и основным положениям, приведённым в программе [18].

В работе осуществляется решение основных поставленных задач:

– анализ исходных данных, необходимых для решения основных задач.

На основе полученных данных анализа, проводится обоснование необходимости внедрения соответствующих решений в схеме электрических соединений объекта реконструкции;

– непосредственная реконструкция системы электроснабжения производственных и вспомогательных систем электроснабжения обогатительной фабрики;

– разработка мероприятий по безопасности жизнедеятельности на объекте, в частности, электробезопасности, а также пожарной и экологической безопасности, для их применений в системе электроснабжения производственных и вспомогательных цехов и участков фабрики.

При выполнении работы используются технические сведения и знания, полученные из типовых рабочих проектов.

1 Характеристика объекта реконструкции

1.1 Характеристика технологического процесса на обогатительной фабрике

Рассматриваемая в работе система электроснабжения производственных и вспомогательных цехов и участков обогатительной фабрики территориально расположена в промышленной зоне вне населённых пунктов и жилых кварталов.

Данные крупные промышленные объекты рекомендовано располагать вне населённых пунктов, что связано с многочисленными экологическими факторами, в частности [9]:

- прямым и косвенным загрязнением окружающей среды вредными выбросами и веществами;
- влияние на атмосферный воздух;
- высокой опасностью прохождения по территории городской застройки воздушных линий электропередач высоких классов напряжений;
- влияние мощных шумов на здоровье и людей и экологическую систему в целом.

В связи с развитием высоких современных технологий в стране, в свете научно-технического прогресса, введения в эксплуатацию новых мощностей в условиях острого дефицита энергоресурсов, в современном обществе возникла острая необходимость в промышленных предприятиях, которые специализируются на производстве и реализации готовой продукции горно-обогатительного комплекса, а также обслуживании, монтаже и ремонте оборудования и установок различного типа, применяемых на предприятии для получения готовой продукции обогащения рудных и нерудных полезных ископаемых [9].

К таким типам полезных ископаемых относятся [9]:

- руды чёрных металлов;
- руды цветных металлов;
- уголь;
- ископаемые нерудного типа;
- прочие специфические полезные ископаемые.

Все перечисленные полезные ископаемые, которые обогащает обогатительная фабрика, а также осуществляет технологический процесс ремонта, монтажа и обслуживания, разделяются на множество ветвей и направлений по своему технологическому назначению, а также природе и способу их применения.

Реконструкция обогатительной фабрики в современном мире в условиях жёсткой конкуренции, требует применения современных технологий производства.

Данный аспект обуславливает практическую ценность работы, так как реконструкция и ввод в эксплуатацию данного предприятия с учётом инноваций в технологии производства и использованием современного энергосберегающего оборудования, способен частично решить вопросы с увеличением производства обогащённых полезных ископаемых различного типа в регионе и стране в целом.

Технология производства продукции на проектируемом обогатительной фабрике, соответствует основным современным требованиям и нормам [9]. Технология производства продукции на проектируемом в работе обогатительной фабрике, включает в себя следующие основные этапы, а именно [9]:

- приём продуктов для технологического процесса – обеспечивается складскими помещениями, из которых первичный материал поставляют в производственный комплекс обогатительной фабрики;

– переработка (подготовка) первичного материала – нужна для приведения первичного материала, полученного со склада, в нужную форму. Данный этап включает в себя очистку (крупную и мелкую), обработку (физическую и химическую) первичного материала для подготовки производства на обогатительной фабрике;

– непосредственное обогащение материала – осуществляется после обработки первичного материала на специальных производственных комплексах в соответствующих цехах и подразделениях обогатительной фабрики;

– удаление отходов, конечная фильтрация и обезвоживание готового продукта с последующей его сушкой – производится в специализированных цехах и на участках. При этом процесс строго контролируется и автоматизируется. На конечном этапе получается готовый продукт, который по конвейерным лентам и транспортёрам поступает в склад;

– маркировка, покраска и упаковка – конечный полученный продукт требуется промаркировать и упаковать (при необходимости) для транспортировки конечному получателю. Упаковка должна быть надёжной, механически прочной и полностью герметичной, без нарушений её целостности.

Также перед непосредственным процессом упаковки, как правило, проводится дефектация полученной продукции с проверкой качества обогащения продукта, а также целостности, отсутствия механических повреждений, герметичности, маркировки и т.д. Полученный продукт, который не прошёл процесс дефектации, отбраковывается.

После приведённого технологического процесса, полученные на обогатительной фабрике продукты обогащения, направляются на складские помещения, где хранятся при строго отведённых условиях (особое значение при этом имеет допустимое значение влажности).

Этот процесс должен контролироваться с помощью специальных датчиков влажности и быть полностью автоматизирован.

Реализация готовой продукции на обогатительной фабрике осуществляется непосредственно со складских комплексов оптовым и розничным покупателям согласно установленной финансово-экономической политике управляющей компании и сбора акционеров рассматриваемого в работе обогатительной фабрики.

Также на рассматриваемой в работе обогатительной фабрике выполняются функции ремонта, монтажа и эксплуатации, а также модернизации оборудования и установок для собственных производственных нужд.

1.2 Характеристика существующей системы электроснабжения обогатительной фабрики

В работе, согласно заданию, необходимо привести исходную характеристику распределительных устройств и входящих в них коммутационных и защитных электрических аппаратов рассматриваемой в работе системы электроснабжения обогатительной фабрики до проведения реконструкции.

Основой в системе электроснабжения рассматриваемой в работе обогатительной фабрики является главная понизительная подстанция 35/10 кВ (далее – ГПП-35/10 кВ), которая питает сугубо данное предприятие, поэтому по месту нахождения в энергосистеме является тупиковой распределительной потребительской понизительной подстанцией и играет важное значение в системе электроснабжения региона.

Она питается от энергосистемы двумя вводами с помощью воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ (далее – ВЛ-35 кВ) и связана с ней перетоками мощностей.

Рассматриваемая в работе ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики до проведения реконструкции, состояла из следующих элементов (графический лист 1):

– распределительное устройство 35 кВ (далее – ОРУ 35 кВ) – конструктивно выполнено открытым по двухлучевой радиальной схеме электроснабжения без ремонтной перемычки, значит, в схеме ОРУ-35 кВ применяется параллельный режим работы фидеров 35 кВ. На двух отходящих линиях в ОРУ-35 кВ установлены защитные и коммутационные аппараты устаревших конструкций (графический лист 1): масляные баковые выключатели марки У-35-20/1600 (год выпуска – 1987 г., год ввода в эксплуатацию – 1997 г.), разъединители марки РЛНДЗ-2-35/600 (год выпуска – 1972 г., год ввода в эксплуатацию – 1977 г.), а также разрядники марки РВО-35 (год выпуска – 1973 г., год ввода в эксплуатацию – 1977 г.). Все аппараты установлены в 70-х годах 20 века и выработали свой ресурс. Кроме того, все данные аппараты сняты с производства в 80-х годах 20 века как неэффективные и устаревшие;

– «силовые трансформаторы ТМН-10000/35, обеспечивающие понижение напряжения с 35 кВ до 10 кВ с последующим его распределением в РУ-10 кВ» [12]. «Оба трансформатора в исходной схеме нормального режима на ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики находятся в работе (год выпуска – 2017 г., год ввода в эксплуатацию – 2018 г.)» [12];

– «распределительное устройство 10 кВ (РУ-10 кВ) – выполнено комплектным наружной установки с использованием ячеек комплектного распределительного устройства наружной установки (далее – КРУН) по радиальной схеме электроснабжения с применением секционированной системы сборных шин с резервированием, при этом секционный выключатель высокого напряжения в нормальном режиме работы включен, то есть в схеме предусмотрена параллельная работа системы сборных шин напряжением 10

кВ» [12]. В РУ-10 кВ применяются устаревшие масляные горшковые выключатели марки ВМПЭ-10-630-20, установленные в 70-х годах 20 века и выработавшие свой ресурс (год выпуска – 1977 г., год ввода в эксплуатацию – 1979 г.). Данные выключатели сняты с производства в 80-х годах 20 века как неэффективные и устаревшие. При этом в ячейках КРУН-10 кВ не устанавливаются разъединители, так как они заменены втычными контактами ячеек КРУН, обеспечивая в ремонтном положении ячеек видимый разрыв.

К основным потребителям подстанции ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики по характеру и типу присоединений, относятся потребители электроэнергии основных производственных и вспомогательных цехов напряжением 0,4 кВ, получающие питание от своих понизительных трансформаторных подстанций ТП-10/0,4 кВ.

Следовательно, можно сказать, что основными потребителями понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики являются трансформаторные подстанции ТП- 10/0,4 кВ, обеспечивающие питание конечных потребителей на номинальном напряжении 0,38/0,22 кВ.

Всего в системе электроснабжения понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики до реконструкции было предусмотрено три ТП-10/0,4 кВ, все из которых – двухтрансформаторные.

На данных ТП-10/0,4 кВ установлены силовые трансформаторы марки ТМ, которые реконструировались в 2018 году.

Все потребительские подстанции ТП-10/0,4 кВ выполнены с применением комплектных распределительных устройств высокого напряжения, их питание на стороне 10 кВ осуществляется кабельными линиями электропередачи по радиальной схеме от шин напряжением 10 кВ понизительной подстанции ГПП-35/10 кВ фабрики.

При этом для питания цеховых ТП-10/0,4 кВ используется двухлучевая радиальная схема с резервированием на стороне 10 кВ [4]. В системе электроснабжения всех двухтрансформаторных цеховых ТП-10/0,4 кВ

предусмотрено резервирование устройствами АВР, установленными на секционных автоматах в сети 0,4 кВ.

1.3 Характеристика потребителей обогатительной фабрики

На рассматриваемой в работе обогатительной фабрике имеются пять производственных и вспомогательных цехов и участков, которые вносят основной вклад в процесс изготовления готовой технологической продукции (обогащённых полезных ископаемых различного рода).

На данной обогатительной фабрике, согласно технологии производства, к производственным и вспомогательным цехам и участкам относятся следующие объекты [18]:

- производственный цех;
- цех обработки первичного сырья;
- компрессорная (в т.ч. высоковольтные синхронные электродвигатели 10 кВ – 4 единицы);
- цех готовой продукции;
- административно-складской комплекс.

В современной экономике предприятий промышленного комплекса также крайне необходимо также использовать все возможности для получения прибыли, исходя из производимой продукции [12].

Поэтому помимо процесса изготовления продукции, на обогатительной фабрике по производству также необходимо предусмотреть участки, которые будут заниматься обслуживанием и ремонтов техники и оборудования обогатительной фабрики.

Для данной цели на обогатительной фабрике применяется оборудование широкопрофильного производственного цеха, в котором также выполняется модернизация оборудования.

Это значительно повысит спрос выпускаемой продукции обогатительной фабрики в реалиях современной экономики, а также удешевит выпускаемую продукцию путём снижения затрат на ремонт и эксплуатацию оборудования в целом.

Также для привлечения партнёров и покупателей с целью рекламирования производимой продукции, а также её реализации, на обогатительной фабрике необходимо предусмотреть торгово-выставочный комплекс, который конструктивно входит в состав административно-складского комплекса.

Все перечисленные в работе вспомогательные цеха и участки оказывают непосредственное влияние на технологический процесс производства и реализации готовой продукции обогатительной фабрики.

По этой причине они также должны быть включены в реконструируемую систему электроснабжения обогатительной фабрики.

Исходные технические данные приведённых производственных и вспомогательных цехов и участков рассматриваемой и реконструируемой в работе обогатительной фабрики, приведены в таблице 1. В таблице 1 указана проектная мощность для каждого участка (цеха), исходя из совокупности оборудования, которое в них установлено согласно технологическому процессу производства готовой продукции на фабрике.

Таблица 1 – Исходные технические данные цехов и участков обогатительной фабрики

№ п/п	Цех	$\sum P_{уст},$ кВт	$P_{н.эп},$ кВт	n, шт	k_n	$\cos \varphi$
1	Производственный	5300	7-60	70	0,35	0,6
2	Цех обработки первичного сырья	3400	4,5-80	40	0,4	0,65
3	Компрессорная (в т.ч. СТД 10 кВ)	400	2,8-20	15	0,3	0,7
		1260	630	4	0,7	0,9
4	Цех готовой продукции	5500	4,5-70	80	0,65	0,65
5	Административно-складской комплекс	500	4-20	10	0,8	0,8
Всего по фабрике		16360	-	219	0,4	0,65

Исходный план расположения приведённых в таблице 1 производственных и вспомогательных цехов и участков обогатительной фабрики в принятом масштабе, а также с учётом их взаимного расположения и указания направления и длины линии от источника питания, в данной работе представлен на графическом листе 1.

После выполнения реконструкции, данный план расположения оборудования переносится на графический лист 1, на который наносятся сети (питающие и распределительные), а также расположение всех понизительных подстанций.

Также в работе используются следующие основные исходные технические данные согласно задания:

- питание ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики от системы осуществляется на напряжении 35 кВ от районной подстанции энергосистемы 110/35/6 кВ, расположенной в 35 км от обогатительной фабрики с двумя трансформаторами марки ТДТН-40000/110;

- прокладка воздушной линии возможна;
- мощность, передаваемая системой $Q_{\text{э}} = 2,5$ МВА;
- экономический эквивалент мощности $k_{\text{э}} = 0,05$ кВт / квар.

На основании приведенных исходных данных объекта исследования, далее в работе проводится решение основных поставленных задач по реконструкции СЭС объекта.

Также в таблице 1 показано, что суммарная установленная фактическая мощность всех цехов и участков обогатительной фабрики составляет 16360 кВт.

Известно, что «электроприемники делятся на первую, первую особую, вторую и третью категории по надежности электроснабжения» [10].

При этом, согласно анализа исходных данных, приведённых в таблице 1, в проектируемой системе электроснабжения обогатительной фабрики среди

цехов и участков выделяются следующие основные типы, которые можно также классифицировать по следующим категориям [10]:

- основные производственные цеха и участки – I категории по надёжности электроснабжения;

- основные вспомогательные цеха и участки – II категории по надёжности электроснабжения;

- неосновные вспомогательные цеха и участки – III категории по надёжности электроснабжения.

Исходя из этого, далее в работе по соответствующим категориям проводится классификация основных цехов и участков обогатительной фабрики (таблица 2).

К I категории по надёжности электроснабжения относятся основные производственные цеха и участки основного технологического производства обогатительной фабрики, а именно:

- производственный цех;
- цех обработки первичного сырья;
- цех готовой продукции.

«К потребителям II категории относятся основные вспомогательные цеха и участки обогатительной фабрики, которые обеспечивают и поддерживают основной технологический процесс производства» [14].

К таким потребителям обогатительной фабрики относится компрессорная (включая четыре высоковольтных электродвигателя синхронного типа напряжением 10 кВ).

«К потребителям III категории относятся неосновные вспомогательные цеха и участки, не принимающие непосредственного участия в основном технологическом процессе производства обогатительной фабрики» [14].

«К таким потребителям обогатительной фабрики относится административно-складской комплекс» [14].

По процентному соотношению приёмников соответствующей категории можно сделать общий вывод о том, к какой категории относится весь рассматриваемый цех (участок) обогатительной фабрики.

Таблица 2 – Систематизация цехов и участков обогатительной фабрики по категориям надёжности

Наименование цеха (участка) обогатительной фабрики	Категория надёжности потребителей цеха (участка)
Производственный цех	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
Цех обработки первичного сырья	70% – I кат.; 20% – II кат.; 10% – III кат.
Компрессорная (в т.ч. STD 10 кВ)	10% – I кат.; 70% – II кат.; 20% – III кат.
Цех готовой продукции	80% – I кат.; 10% – II кат.; 10% – III кат.
Административно-складской комплекс	10% – II кат.; 90% – III кат.

Далее в работе необходимо охарактеризовать каждый цех (участок) обогатительной фабрики по производственной среде, исходя из технологии производства.

Характеристика производственной среды помещений цехов и участков реконструируемой в работе системы электроснабжения обогатительной фабрики приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика производственной среды помещений цехов и участков обогатительной фабрики

Номер цеха (участка) по плану	Наименование цеха (участка) обогатительной фабрики	Характеристика производственной среды цеха (участка) обогатительной фабрики
1	Производственный цех	Пыльная, жаркая, сухая
2	Цех обработки первичного сырья	Пыльная, жаркая, сухая
3	Компрессорная (в т.ч. STD 10 кВ)	Жаркая, сухая
4	Цех готовой продукции	Пыльная, жаркая, сухая
5	Административно-складской комплекс	Нормальная

На основании приведённых исходных данных и характеристик обогатительной фабрики, можно сделать вывод, что подавляющее большинство цехов и участков (в частности, все производственные цеха проектируемой СЭС обогатительной фабрики), относятся к объектам с

повышенной степени опасности, что необходимо учесть при выборе марки кабелей и электрических аппаратов в работе далее, а также при внесении изменений в исходную схему электрических соединений ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Исходя из этого, далее в работе непосредственно разрабатывается проект реконструкции СЭС обогатительной фабрики с выбором питающих и распределительных электрических сетей, а также с последовательным выбором и проверкой силовых трансформаторов на всех уровнях и этапах обогатительной фабрики, включая ГПП-35/10 кВ и цеховые ТП-10/0,4 кВ.

На основании приведённого анализа, далее в работе проводится обоснование необходимости проведения реконструкции СЭС обогатительной фабрики.

1.3 Обоснование необходимости проведения реконструкции

В результате проведения анализа исходной системы электроснабжения обогатительной фабрики было установлено, что в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ питающей главной понизительной подстанции переменного тока 35/10 кВ находятся некоторые устаревшие и выработавшие свой ресурс электрические аппараты, которые необходимо заменить на новые современные аппараты соответствующих марок.

К таким аппаратам в РУ-35 кВ на ГПП-35/10 кВ относятся:

- выключатели высокого напряжения;
- разъединители;
- разрядники (подлежат замене на современные ограничители перенапряжения).

В РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС обогатительной фабрики планируется заменить на новые выключатели высокого напряжения, а также

дополнительно предусмотреть установку современных ограничителей перенапряжения в ячейках РУ-10 кВ.

Перечисленные выше электрические аппараты подлежат замене на новые, современные марки (соответственно типу оборудования).

«Указанные в работе мероприятия по реконструкции оборудования ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики, повысят надёжность системы электроснабжения объекта реконструкции, оптимизируют показатели энергосистемы, режим её работы, а также потребительских цеховых подстанций ТП-10/0,4 кВ и приёмников, получающих от них питание» [14].

Остальные аппараты, установленные на ТП-35/10 кВ обогатительной фабрики, срок ввода в эксплуатацию которых не превышает 10-15 лет и техническое состояние которых нормальное (предыдущая реконструкция оборудования была проведена в 2018 г.), в работе необходимо проверить на работоспособность в нормальном и послеаварийном режимах согласно требованию нормативных документов [6].

Кроме того, согласно требований [12], при питании потребителей I и II категорий надёжности, в ОРУ-35 кВ на ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики необходимо применение «ремонтной перемычки, в которой находятся коммутационные и защитные аппараты (два разъединителя), которые в нормальном режиме работы отключены. При этом в схеме электрических соединений ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ будет применяться отдельный режим работы» [14] фидеров 35 кВ, который рекомендован требованиями и основными положениями [8].

Также в схеме электрических соединений 10 кВ ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики необходимо применение отдельного режима работы секций сборных шин, рекомендованный нормативными документами [12]. Данный режим обеспечивается отключением в нормальном режиме секционного выключателя с обязательной установкой на нём устройства автоматического включения резерва (АВР).

Принцип работы секционного выключателя при этом будет состоять в том, чтобы включиться «под действием АВР в том случае, когда на одной из секций сборных шин напряжением 10 кВ исчезнет напряжение» [14]. Это позволит значительно повысить надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом.

Основываясь на краткой исходной характеристике потребителей подстанции переменного тока ТП-35/10 кВ обогатительной фабрики, приведённой в таблице 1, а также на исходной схеме главных электрических соединений подстанции, далее в работе проводится решение поставленных основных задач.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, приведён исходный анализ системы электроснабжения обогатительной фабрики, с детальным рассмотрением технологии и циклов производства, технических характеристик его составляющих, а также потребителей участков и цехов объекта реконструкции.

Детально рассмотрены и систематизированы по категории надёжности и производственной среде, все цеха и участки системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Проведён детальный анализ оборудования системы и электроснабжения объекта реконструкции с рассмотрением исходной схемы электрических соединений обогатительной фабрики.

На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, в разделе обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта реконструкции.

Поставленные основные задачи решаются в работе далее.

2 Реконструкция системы электроснабжения обогатительной фабрики

2.1 Реконструкция схемы электрических соединений обогатительной фабрики

После проведённого обзора существующей системы электроснабжения обогатительной фабрики, основывается на положениях и требованиях, приведённых в [14], выбраны и систематизированы следующие мероприятия по реконструкции в системе электроснабжения обогатительной фабрики, а именно (по направлениям):

– реконструкция схемы электрических соединений обогатительной фабрики, которая обусловлена реализацией двух аспектов. С одной стороны – это необходимая установка ремонтной перемычки в ОРУ-35 кВ на ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики, в которой будут находиться коммутационные и защитные аппараты (два разъединителя). В нормальном режиме работы разъединители будут отключены. При этом в схеме электрических соединений ОРУ-35 кВ ГПП-35/10 кВ будет применён отдельный режим работы фидеров 35 кВ, который рекомендован требованиями и основными положениями, предъявляемыми для питания потребителей I и II категорий надёжности согласно [12]. С другой стороны, в схеме электрических соединений 10 кВ ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики необходимо применение отдельного режима работы секций сборных шин, рекомендованный нормативными документами [12]. Данный режим обеспечивается отключением в нормальном режиме секционного выключателя с обязательной установкой на нём устройства автоматического включения резерва (АВР). Принцип работы секционного выключателя при этом будет состоять в том, чтобы включиться под действием АВР в том случае, когда на одной из секций сборных шин напряжением 10 кВ исчезнет напряжение. Это позволит значительно повысить

надёжность схемы электрических соединений подстанции и потребителей в целом;

– замена устаревших электрических аппаратов в РУ-35 кВ и РУ-10 кВ питающей главной понизительной подстанции переменного тока 35/10 кВ (в РУ-35 кВ на ГПП-35/10 кВ это: выключатели высокого напряжения, разъединители, а также разрядники, подлежащие замене на современные ограничители перенапряжения; в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ СЭС обогатительной фабрики это – выключатели высокого напряжения, а также дополнительная установка современных ограничителей перенапряжения в ячейках РУ-10 кВ).

Указанные в работе мероприятия по реконструкции оборудования ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики проверяются на основе проведения расчётов и проверок в работе далее.

Проводится проверочный выбор напряжений для питающих линий от районной ПС до ГПП-35/10 кВ с целью подтверждения высшего напряжения в питающей системе электроснабжения обогатительной фабрики.

Выбор питающего высшего напряжения для системы электроснабжения обогатительной фабрики в работе выполняется «по известной формуле Стилла, кВ согласно» [12]:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{L + 0,016P}, \quad (1)$$

где L – «длина линии, км» [14];

P – «передаваемая мощность, кВт, принимается равной расчетной активной нагрузке» [14] проектируемой системы электроснабжения обогатительной фабрики, МВт.

По условию (1) для ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики:

$$U_{рац} = 4,34\sqrt{35 + 0,016 \cdot 16,36} = 25,77 \text{ кВ.}$$

По шкале стандартных номинальных напряжений, приведённой в [14], принимается ближайшее стандартное значение номинального напряжения, равное 35 кВ.

Следовательно, в работе принимается для питающей ГПП обогатительной фабрики высшее напряжение 35 кВ, что совпадает с величиной высшего напряжения системы электроснабжения обогатительной фабрики до проведения её реконструкции.

При выборе низшего напряжения на ГПП обогатительной фабрики, из стандартного номинального ряда напряжений, принимается напряжение 10 кВ, которое гораздо более эффективнее и экономически целесообразнее напряжения 6 кВ.

Также на напряжении 10 кВ в систему электроснабжения возможно передать больше мощности, поэтому выбор данного класса напряжения на ГПП обогатительной фабрики полностью целесообразен [14].

Поэтому в работе остаётся номинальный класс низшего напряжения на ГПП-35/10 кВ, равный 10 кВ.

При проверке правильности выбора целесообразных и оптимальных схем электрических соединений на ГПП-35/10 кВ в системе электроснабжения обогатительной фабрики, необходимо учесть количество присоединений (число отходящих линий) [7].

Далее в работе проводится обоснование выбора принятых схем электрических соединений обогатительной фабрики, предварительно выбранных ранее.

Согласно исходных данных, потребители ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения обогатительной фабрики, включают в себя десять отходящих линий (три двухтрансформаторных цеховые ТП-10/0,4 кВ, составляющие шесть линий, а также четыре линии к высоковольтным электродвигателям компрессорной), питающихся на напряжении 10 кВ от шин главной понизительной подстанции.

С учётом этого, составляется уточнённая структурная схема понижающей подстанции ПС-35/10 кВ (рисунок 1).

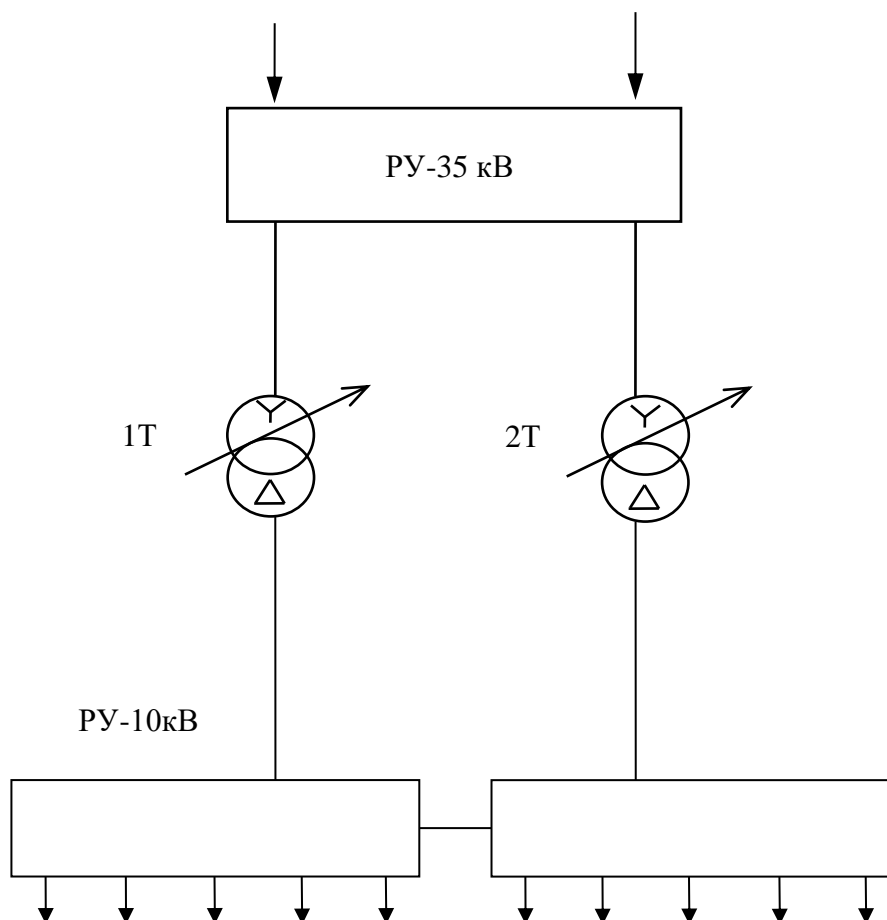


Рисунок 1 – Уточнённая структурная схема ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики

«Так как большинство потребителей обогатительной фабрики относятся к I и II категориям надёжности, следовательно, они требуют двух независимых источников питания» [14] и соответствующего уровня резервирования [7]. Поэтому, в первую очередь, необходимо обеспечить в схеме данные условия.

Для ОРУ-35 кВ тупиковой главной понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ для обогатительной фабрики применяется схема электрических соединений «Два блока с выключателями и неавтоматической перемычкой со стороны линий» [7] с установленными двумя разъединителями в ремонтной перемычке (в нормальном режиме работы отключены), а также с применением двух блоков «выключатель –

разъединитель» на линиях (графический лист 3). Эта же схема выбрана в результате реконструкции на предварительном этапе, а на данном этапе полностью обоснована. Поэтому она применяется в работе.

В схеме ОРУ-35 кВ тупиковой главной понизительной подстанции переменного напряжения 35/10 кВ для обогатительной фабрики, рассматриваемой в работе, применяется отдельный режим работы линий, рекомендованный нормами [10].

РУ-10 кВ главной понизительной подстанции 35/10 кВ обогатительной фабрики выполнено с применением ячеек наружной установки двухстороннего обслуживания типа КРУН-К-59 (производитель – ЗАО «Завод высоковольтного оборудования» (ЗАО «ЗВО»)) с установленными в них выключателями с использованием втычных контактов вместо разъединителей [18].

Исходя из рекомендаций [7], а также исходных данных к выполнению работы, при количестве отходящих линий $n=10$, которое имеется согласно исходных данных, для РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики применяется схема «Одна рабочая секционированная выключателем система сборных шин». Эта же схема выбрана в результате реконструкции на предварительном этапе, а на данном этапе полностью обоснована. Поэтому она применяется в работе.

В схеме РУ-10 кВ тупиковой подстанции ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики, рассматриваемой в работе, применяется отдельный режим работы, рекомендованный нормами [10].

«Секционный выключатель 10 кВ в нормальном режиме работы отключён, включаясь под действием устройства автоматического включения резерва (АВР) при исчезновении напряжения по каким-то причинам на одной из секций сборных шин напряжением 10 кВ» [10].

Принятые и обоснованные в работе схемы электрических соединений РУ-35 кВ и РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики, полученные в результате реконструкции, представлены на графическом листе 2.

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Согласно приведённым и обоснованным ранее мероприятиям по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения обогатительной фабрики, осуществляемую путём внедрения основных положений нормативных документов, в работе необходимо провести расчёт электрических нагрузок системы электроснабжения обогатительной фабрики, на основании чего далее провести выбор и проверку электрических сетей, аппаратов и проводников.

Кроме того, в связи с применением выбранной схемы электрических соединений системы электроснабжения обогатительной фабрики, необходимо также учитывать условия резервирования на стороне 10 кВ, которые осуществлены путём дополнительного подключения нагрузки линий 10 кВ в схеме РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ в послеаварийном режиме [16].

Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения обогатительной фабрики является фактическая установленная номинальная нагрузка потребителей, которая принимается равной расчётной активной нагрузке.

«В работе проводится расчёт нагрузок цехов и участков обогатительной фабрики, который включает непосредственное определение расчетных силовой, осветительной и суммарной нагрузок по методу коэффициента спроса» [16].

«Расчётная активная нагрузка силовых потребителей до 1 кВ цехов и участков обогатительной фабрики, кВт» [16]:

$$P_{p.} = K_c P_n, \quad (2)$$

где P_n – «значение суммарной номинальной активной мощности цеха (участка) обогатительной фабрики, кВт» [14];

K_c – «справочное значение коэффициента спроса цеха (участка)

обогащительной фабрики» [14].

«Расчетная реактивная нагрузка силовых электроприёмников до 1 кВ цехов и участков обогащительной фабрики, квар» [16]:

$$Q_{p.} = P_{p.} \cdot tg\varphi, \quad (3)$$

где $tg\varphi$ – «значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [14]

«Расчётная нагрузка осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) проектируемой системы электроснабжения обогащительной фабрики, кВт» [16]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{н.o}, \quad (4)$$

где $K_{c.o}$ – «коэффициент спроса приемников освещения соответствующего цеха (участка) обогащительной фабрики (справочные данные)» [4];

$P_{н.o}$ – «суммарная номинальная мощность приемников освещения соответствующего цеха обогащительной фабрики, кВт» [14].

«При этом значение последней составляющей рассчитывается таким образом» [16]:

$$P_{н.o} = P_{уд.o} F, \quad (5)$$

где $P_{уд.o}$ – «удельная мощность освещения» [4] соответствующего цеха (участка) обогащительной фабрики, кВт/м² (справочные технические данные) [4];

F – площадь соответствующего цеха (участка) обогащительной фабрики согласно генплану, м².

«Полная нагрузка силовых и осветительных приёмников соответствующего цеха (участка) обогатительной фабрики» [16]

$$S_{p.} = \sqrt{(P_{н.} + P_{н.о})^2 + Q_p^2}. \quad (6)$$

Значение расчётных активной и реактивной нагрузки силовых электроприёмников напряжением выше 1 кВ соответствующего цеха (участка) реконструируемой системы электроснабжения рассматриваемой в данной работе обогатительной фабрики [16]:

$$S_{p.} = \sqrt{P_{p.}^2 + Q_p^2}. \quad (7)$$

«Предварительные потери активной и реактивной мощности в цеховых трансформаторах ТП-10/0,4 кВ» [14] системы электроснабжения обогатительной фабрики на этапе реконструкции можно рассчитать таким образом [16]:

$$\Delta P_{ТП} = 0,02S_{p.н}, \text{ кВт}; \quad (8)$$

$$\Delta Q_{ТП} = 0,1S_{p.н}, \text{ квар}. \quad (9)$$

Предварительные потери активной мощности в силовых трансформаторах ГПП-35/10 кВ рассматриваемой в работе системы электроснабжения обогатительной фабрики на этапе реконструкции можно рассчитать таким образом [16]:

$$\Delta P_{Т.ГПП} = 0,02S_{p.Σ}, \text{ кВт}; \quad (10)$$

$$\Delta Q_{Т.ГПП} = 0,1S_{p.Σ}, \text{ квар}. \quad (11)$$

По приведённым выше условиям (2) – (11) проводится расчёт нагрузок цехов и участков реконструируемой системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Также в работе проводится предварительный расчёт потерь активной мощности в силовых трансформаторах на питающей ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, и суммарной нагрузки обогатительной фабрики в целом по предприятию.

Результаты расчёта осветительной электрической нагрузки цехов и участков проектируемой системы электроснабжения обогатительной фабрики в работе сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчетные электрические нагрузки освещения обогатительной фабрики

Наименование цеха (участка)	А, м	В, м	$F_{ц}$, м ²	$P_{уд.о.}$, Вт/м ²	$P_{ном.о.}$, кВт	тип лампы	$K_{пр.а}$	$tg\varphi_o$	$P_{р.о.}$, кВт	$Q_{р.о.}$, квар
Производственный	50	60	3000	15	45	LED	1,05	0,43	44,89	19,35
Цех обработки первичного сырья	45	80	3600	15	54	LED	1,05	0,43	53,87	23,22
Компрессорная	30	50	1500	15	22,5	LED	1,05	0,43	22,44	9,675
Цех готовой продукции	40	40	1600	15	24	LED	1,05	0,43	23,94	10,32
Административно-складской комплекс	70	40	2800	12	33,6	LED	1,05	0,43	33,52	14,45
Наружное освещение территории обогатительной фабрики	250	150	37500	4	150	LED	1,05	0,43	149,63	64,5
Всего по обогатительной фабрике	-	-	50000	-	329,1	-	-	-	328,28	141,51

Результаты расчёта силовой электрической нагрузки цехов и участков системы электроснабжения обогатительной фабрики в работе сведены в таблицу 5.

В работе их расчёт проводится по исходным и справочным данным и показателям [4].

Таблица 5 – Расчетные силовые электрические нагрузки обогатительной фабрики

Наименование цеха (участка)	$\Sigma P_{уст},$ кВт	$k_{и}$	$\cos\varphi$	$tg\varphi$	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВ·А	$I_p,$ А
Производственный	5300	0,35	0,6	1,33	1855	2467,2	3086,8	169,7
Цех обработки первичного сырья	3400	0,4	0,65	1,17	1360	1591,2	2093,2	115,1
Компрессорная	400	0,3	0,7	1,02	120	122,4	171,4	9,4
(в т.ч. СТД 10 кВ)	1260	0,7	0,9	0,48	882	423,36	978,3	53,8
Цех готовой продукции	5500	0,65	0,65	1,17	3575	4182,8	5502,4	302,5
Административно-складской комплекс	500	0,8	0,8	0,75	400	300	500	27,5
Всего по фабрике	-	-	-	-	8192	9086,9	12234	672,6

Результаты расчёта суммарной электрической нагрузки цехов и участков СЭС обогатительной фабрики в работе сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты расчёта суммарной электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения обогатительной фабрики

Наименование цеха (участка)	$P_{р.н},$ кВт	$P_{р.о},$ кВт	$Q_{р.н},$ квар	$Q_{р.о},$ квар	$P_p,$ кВт	$Q_p,$ квар	$S_p,$ кВ·А	$\Delta P_{т},$ кВт	$\Delta Q_{т},$ квар
Производственный	1855	44,89	2467,2	19,35	1899,89	2486,6	3129,3	62,59	312,93
Цех обработки первичного сырья	1360	53,87	1591,2	23,22	1413,87	1614,4	2146	42,92	214,6
Компрессорная	120	22,44	122,4	9,675	142,44	132,08	194,3	3,89	19,43
(в т.ч. СТД 10 кВ)	882	-	423,36	-	882	423,36	978,3	19,57	97,83
Цех готовой продукции	3575	23,94	4182,8	10,32	3598,94	4193,1	5525,8	110,52	552,58
Административно-складской комплекс	400	33,52	300	14,45	433,52	314,45	535,6	10,71	53,56
Наружное освещение территории фабрики	-	149,63	-	64,5	149,63	64,5	162,9	3,26	16,29
Итого на стороне 10 кВ (без КРМ)	8192	328,29	9087	141,52	8520,29	9228,5	12672,2	253,44	1267,22
Потери в трансформаторах ГПП (с КРМ)	-	-	-	-	8520,29	6728,5	10856,7	217,13	1085,67
Итого на стороне ВН фабрики	-	-	-	-	8737,42	7814,1	11721,8	-	-

Полученные в работе результаты расчёта электрических нагрузок потребителей системы электроснабжения обогатительной фабрики используются в работе далее при проверке силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ, цеховых ТП-10/0,4 кВ на допустимую загрузку, а также при выборе и проверке электрических аппаратов и проводников спроектированной системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Данные задачи решаются в работе далее.

2.3 Выбор числа и мощности силовых трансформаторов ГПП

С учётом принятой схемы электрических соединений системы электроснабжения обогатительной фабрики, в результате которой в схеме электрических соединений внедрены соответствующие мероприятия по её реконструкции, описанные и обоснованные в работе ранее, необходимо провести выбор и проверку силовых трансформаторов ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики на допустимую загрузку активной мощностью как в нормальном, так и послеаварийном режиме работы системы.

При выборе силового трансформатора для установки на ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики должны выполняться условия выбора и проверки, с учётом того, что рекомендуемая загрузка трансформатора должна быть не более 70% в нормальном режиме работы [2]

$$S_{ном} \geq \frac{S_P}{n \cdot K_3}, \quad (12)$$

где n – «количество трансформаторов, шт.» [11];

K_3 – «коэффициент загрузки трансформатора ГПП, о.е.» [11].

По уравнению (12) для ГПП-35/10 кВ проводится выбор мощности силовых трансформаторов

$$S_{ном} \geq \frac{11721,8}{2 \cdot 0,7} = 8372,7 \text{ кВА.}$$

Предварительно в работе выбирается для установки на ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики, два силовых трансформатора номинальной мощностью 10000 кВА каждый с высшим напряжением 35 кВ и низшим напряжением 10 кВ [14].

Данный силовой трансформатор имеет две обмотки и выбран для умеренного климата [3].

Параметры выбранных трансформаторов для установки на ГПП обогатительной фабрики приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Параметры выбранных трансформаторов для установки на ГПП обогатительной фабрики

Тип трансформатора	P_x , кВт	P_k , кВт	U_k ; %	$I_{х.х}$; %	$S_{ном}$, кВА	$K_{зг}$
ТМН-10000/35	3,85	33,5	7,5	0,3	4000	0,77

«Фактический коэффициент загрузки силового трансформатора ГПП в нормальном режиме» обогатительной фабрики определяется таким образом [5]:

$$K_3 = \frac{S_P}{n \cdot S_{ном}} \leq 0,7. \quad (13)$$

Исходя из уравнения (13):

$$K_3 = \frac{11721,8}{2 \cdot 10000} = 0,59 \leq 0,7.$$

«Условия проверки по нагрузке выбранного трансформатора в нормальном режиме выполняются» [11].

Осуществляется проверка этого же силового трансформатора в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй питающей линии или трансформатора по каким-либо причинам [11].

Проверка проводится при условии работы, когда один из силовых трансформаторов ГПП по какой-либо причине вышел из строя и требуется автоматическое переключение его нагрузки на другой трансформатор, оставшийся в работе.

Проверяется выбранный трансформатор по перегрузочной способности при аварийном отключении второго трансформатора.

«Фактический коэффициент загрузки силового трансформатора ГПП в послеаварийном режиме» [11] обогатительной фабрики определяется таким образом (принимается максимальное значение коэффициента резервирования, равное 1,4, потому что выбираемый силовой трансформатор для установки на ГПП находится в эксплуатации с 2018 года, т.е. не более 5 лет [8]. Поэтому:

$$1,4 \cdot S_{ном} \geq S_P. \quad (14)$$

Исходя из уравнения (14):

$$1,4 \cdot 10000 = 14000 \text{ кВА} \geq 11721,8 \text{ кВА}.$$

Условие проверки силового трансформатора ГПП-35/10 кВ в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ, в работе выполняется.

Следовательно, выбранные в работе силовые трансформаторы марки ТМН-10000/35, питающие нагрузку первой и второй секций сборных шин напряжением 10 кВ системы электроснабжения обогатительной фабрики,

удовлетворяет условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном и послеаварийном режимах работы.

Поэтому данные трансформаторы выдержит указанную фактическую проектную нагрузку и могут быть окончательно приняты для установки на ГПП-35/10 кВ проектируемой системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Выбранные в работе трансформаторы ГПП-35/10 кВ совпадают с ранее установленными трансформаторами на данной ГПП, следовательно, с учётом реконструкции схемы электрических соединений, они в замене не нуждаются.

2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов цеховых ТП

«Ориентировочно выбор числа и мощности цеховых трансформаторов может производиться по удельной плотности нагрузки» [8]:

$$\sigma_{уд} = S_{см} / F_{ц}, \text{кВА} / \text{м}^2, \quad (15)$$

где $S_{см}$ – «полная нагрузка» [14] (среднее значение) цеха, кВ·А;

$$S_{см} = K_{зг} S_p, \quad (16)$$

где $F_{ц}$ – площадь цеха по генплану, м².

Для производственного цеха обогатительной фабрики:

$$\sigma_{уд1} = 3129,3 / 3000 = 1,04 \text{ кВА} / \text{м}^2. \quad (17)$$

«Проводится выбор числа и мощности силовых трансформаторов цеховых ТП-10/0,4 кВ» [16] обогатительной фабрики с учётом выбранной схемы электрических соединений объекта реконструкции.

«Мощность силовых трансформаторов для установки на цеховых ТП-10/0,4 кВ определяется по следующему условию» [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\sum P_p}{N\beta_t}, \quad (18)$$

где $S_{\text{ном.т.р}}$ – «значение полной номинальной расчетной мощности силового трансформатора, кВА» [12];

$\sum P_p$ – «суммарное значение расчетной активной нагрузки цехов (участков), питающихся от данной цеховой ТП-10/0,4 кВ, кВт» [12];

N – «количество силовых трансформаторов данной цеховой ТП-10/0,4 кВ, шт.» [12];

β_m – «коэффициент загрузки силового трансформатора данной цеховой ТП-10/0,4 кВ» [4].

«Согласно (18) для ТП-1, питающей производственный и цех обработки первичного сырья» [14]

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{1899,89 + 1413,87}{2 \cdot 0,8} = 2071,1 \text{ кВА.}$$

«Исходя из полученных расчётных значений, выбирается силовой трансформатор марки ТМ-2500/10» [13].

«На цеховой ТП-1 устанавливаются два силовых трансформатора марки ТМ-2500/10» [13].

«Наибольшую РМ, которую целесообразно передать через трансформаторы в сеть НН без превышения предусмотренного $\beta_{\text{ном.т}}$, определяется по формуле, квар» [14]:

$$Q_{\text{max,т}} = \sqrt{(N_{\text{опт}} \beta_{\text{ном.т}} S_{\text{ном}})^2 - P_{\text{см}}^2}. \quad (19)$$

Для ТП-1

$$Q_{\max,m} = \sqrt{(2 \cdot 0,8 \cdot 2500)^2 - 3313,76^2} = 2240,3 \text{ квар.}$$

«Суммарная мощность конденсаторных батарей напряжением 0,4 кВ составит, квар» [20]:

$$Q_{\text{НБК}} = Q_p - Q_{\max,m}. \quad (20)$$

«При $Q_{\text{НБК}} < 0$, установка КУ на данной подстанции не требуется» [20].

Для ТП-1

$$Q_{\text{НБК}} = 4101 - 2240,3 = 1860,7 \text{ квар.}$$

Выбирается для установки на цеховой ТП-1 2 КУ марки КРМ «ВЕГ» 0,4-800, суммарная скомпенсированная РМ на ТП-1 составит $Q_{\text{НБК.ст}} = 2 \cdot 800 = 1600$ квар.

Эта мощность вычитается из суммарной реактивной нагрузки ТП [21]

$$Q_{\text{mn}} = Q_p - Q_{\text{НБК.ст}} \quad (21)$$

Для ТП-1

$$Q_{\text{mn}} = 4104 - 1600 = 2504 \text{ квар.}$$

После этого пересчитывается значение нагрузки ТП после компенсации РМ [21].

На других цеховых ТП обогатительной фабрики, полученных в результате проведения реконструкции, выбор и проверка силовых трансформаторов аналогичны.

Полученные результаты, а также исходные данные для выбора, сведены в таблицу 8.

Кроме того, в таблице 8 проведена дополнительная проверка распределения цехов и участков системы электроснабжения обогатительной фабрики, исходя из их мощности, расположения на плане предприятия и категории надёжности.

При этом отдельные двухтрансформаторные подстанции ТП-10/0,4 кВ обязательно должны быть предусмотрены для питания потребителей I и II категорий надёжности.

Участки и цеха, которые питают потребители III категорий надёжности обогатительной фабрики, подключаются к шинам 0,4 кВ уже принятых цеховых ТП-10/0,4 кВ по возможности равномерно. Как видно из таблицы 8, в работе предусмотрена установка трёх цеховых ТП-10/0,4 кВ.

Таблица 8 – Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов системы электроснабжения обогатительной фабрики

№ ТП	Наименование цеха	$F_{ц}$, м ²	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВ·А	$\sigma_{уд}$, кВ·А/м ²	$n \times S_{ном.т}$, кВ·А
ТП-1	Производственный	3000	1899,89	2486,6	3129,3	1,04	2x2500
	Цех обработки первичного сырья	3600	1413,87	1614,4	2146	0,6	
ТП-2	Компрессорная	1500	142,44	132,08	194,3	0,78	2x1000
	(в т.ч. STD 10 кВ)		882	423,36	978,3		
	Административ-ное здание	2800	433,52	314,45	535,6	0,19	
ТП-3	Цех готовой продукции	1600	3598,94	4193,1	5525,8	3,45	2x2500

Выбор компенсации реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях системы электроснабжения обогатительной фабрики представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Выбор компенсации реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях системы электроснабжения обогатительной фабрики

№ ТП	Наименование цеха	$Q_{\max.m}$, квар	$Q_{НБК}$, квар	$Q_{НБК.ст}$, квар	P_{mn} , кВт	Q_{mn} , квар	S_{mn} , кВ·А
ТП-1	Производственный	2240,3	1860,7	2x800= 1600	3313,76	2504	4153,4
	Цех обработки первичного сырья						
ТП-2	Компрессорная	659,2	210,69	2x100= 200	1457,96	669,89	1604,5
	(в т.ч. СТД 10 кВ) Административно- складской комплекс						
ТП-3	Цех готовой продукции	1745,7	2447,4	2x1200=2 400	3598,94	1793,1	4020,9

Все выбранные трансформаторы цеховых ТП-10/0,4 кВ с учётом выбранных устройств компенсации реактивной мощности в работе показаны на графическом листе 2.

Все цеховые ТП-10/0,4 кВ на обогатительной фабрике выполняются комплектными, что является современным технологическим решением и рекомендовано требованиями [1,10].

2.5 Построение картограммы электрических нагрузок

В работе для определения эффективного и рационального места установки ГПП-35/10 кВ обогатительной фабрики, необходимо провести расчёт и построить картограмму электрических нагрузок.

«Известно, что картограмма электрических нагрузок в общем случае представляет собой размещенные на генплане окружности, площади которых в выбранном масштабе равны расчетным мощностям цехов и участков обогатительной фабрики, кВт» [15]:

$$P_{p,i} = \pi R_i^2 m. \quad (22)$$

«Искомое значение радиуса круга» [15]:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_{p,i}}{\pi m}}, \quad (23)$$

где « $P_{p,i}$ – расчетная активная мощность i -го цеха, кВт» [15];

m – «масштаб мощности, $m = 1$ кВт/мм²» [15].

«Угол заштрихованного сектора, соответствующего площади, равной расчётной мощности осветительной нагрузке соответствующих цехов и участков, рассчитывается так» [15]:

$$\varphi = 360 \frac{P_{p,o}}{P_p}. \quad (24)$$

«Результаты расчета картограммы цехов и участков фабрики оформляются в форме таблицы 10» [15].

Таблица 10 – Построение картограммы цехов и участков фабрики

№, п/п	Наименование цеха (участка)	$P_{p,o}$, кВт	P_p , кВт	X, м	Y, м	$P_p \cdot X$, кВт·м	$P_p \cdot Y$, кВт·м	R, м	φ , °
1	Производственный	44,89	1899,89	50	100	94994,5	189989,0	24,60	8,51
2	Цех обработки первичного сырья	53,87	1413,87	40	30	56554,8	42416,1	21,22	13,72
3	Компрессорная (включая СТД 10 кВ)	22,44	1024,44	150	120	153666,0	122932,8	18,06	7,89
4	Цех готовой продукции	23,94	3598,94	220	100	791766,8	359894,0	33,85	2,39
5	Административно-кладской комплекс	33,52	433,52	140	50	60692,8	21676,0	11,75	27,84
6	Итого	178,66	8370,66			1157674,9	736907,9		

Следующим этапом является определение места расположения ГПП-35/10 кВ для питания СЭС фабрики.

Координаты центра электрических нагрузок (ЦЭН) для установки в них ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения обогатительной фабрики [24]:

$$X_0 = \frac{\sum P_{p,i} X_i}{\sum P_{p,i}}, \quad (25)$$

$$Y_0 = \frac{\sum P_{p,i} Y_i}{\sum P_{p,i}}, \quad (26)$$

где X_i, Y_i – расчётные координаты центров нагрузок отдельных цехов и участков, м (согласно плану расположения).

$$X_0 = \frac{1157674,9}{8370,66} = 138,3 \text{ м.}$$

$$Y_0 = \frac{736907,9}{8370,66} = 88 \text{ м.}$$

Картограмма электрических нагрузок приведена на графическом листе 1 работы. Также на данном графическом листе отмечен ЦЭН с координатами (138,3; 88) м.

Примерно в районе ЦЭН (идеально – точно в ЦЭН, если позволяют условия) должна быть размещена главная понизительная подстанция (ГПП) обогатительной фабрики. ГПП не должна загромождать проходов и проездов, поэтому она смещается немного выше от ЦЭН по оси Y в сторону западного крыла цеха №3 по плану (компрессорная).

Расчётное расположение ГПП-35/10 кВ системы электроснабжения обогатительной фабрики совпадает с исходным расположением данной ГПП объекта реконструкции.

Следовательно, при таком расположении потери электроэнергии в системе электроснабжения системы электроснабжения обогатительной фабрики будут минимизированы, а эффективность передачи электроэнергии – оптимальной.

2.6 Выбор сечения проводников

Проводится выбор и проверка сечения проводников напряжением 35 кВ и 10 кВ реконструируемой системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Выбору и проверке в работе подлежат следующие проводники напряжением 35 кВ и 10 кВ согласно реконструированной схеме электрических соединений системы электроснабжения обогатительной фабрики:

– питающая сеть 35 кВ – воздушная линия от энергосистемы до ОРУ-35 кВ ГПП обогатительной фабрики напряжением 35 кВ;

– распределительная сеть 10 кВ – от секций сборных шин напряжением 10 кВ ГПП до потребительских цеховых ТП-10/0,4 кВ.

«Известно, что выбор сечений кабельных и воздушных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности тока по выражению» [11]:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{н}}}{j_{\text{э}}}, \quad (27)$$

где $I_{\text{н}}$ – «рабочий ток нормального режима кабельной линии электропередачи, А» [11];

$j_{\text{э}}$ – «экономически выгодная плотность тока, А/мм²» [11].

Рабочий ток нормального режима кабельной линии определяется, исходя из рассчитанной ранее в работе нагрузки [11]:

$$I_{\text{н}} = \frac{S_{\text{р}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.}}}, \quad (28)$$

где $S_{\text{р}}$ – «расчётная полная нагрузка линии, кВА» [11].

Значение расчётного максимального «тока послеаварийного режима для линии с учётом резервирования» [11]:

$$I_a = 1,4 \cdot I_n. \quad (29)$$

«Выбранное сечение кабельной линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева рабочим током нормального режима работы» [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_n, \quad (30)$$

где $I_{\text{доп}}$ – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [4].

«Также выбранное сечение кабельной линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы» [4]

$$I_{\text{доп}} \geq I_a. \quad (31)$$

«Известно, что потери напряжения в линиях питающей сети определяется так» [4]:

$$\Delta U = \frac{PR_l + QX_l}{U_n^2} \cdot 100, \%. \quad (32)$$

По допустимой потере напряжения воздушная линия 35 кВ не проверяется, что обусловлено экономическими критериями [11].

Поэтому в работе по данному критерию проверке подлежат только кабельные линии 10 кВ.

«Проводятся расчёты и выбор сечения провода питающей ВЛ-35 кВ» [4]:

$$I_p = \frac{11721,8}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} \approx 96,7 \text{ А.}$$

$$I_{p.\max} = \frac{11721,8}{\sqrt{3} \cdot 35} = 193,4 \text{ А.}$$

«Сечение провода питающей ВЛ-35 кВ» [1]

$$F_{\text{э}} = \frac{96,7}{1,1} = 87,9 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из результатов расчёта, в работе предварительно принимается ближайшее стандартное сечение провода $F_{\text{см}} = 95 \text{ мм}^2$ марки АС-95/16 с допустимым током $I_{\text{дон}} = 330 \text{ А}$ » [4].

«Проверка ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в нормальном режиме» [4]

$$330 \text{ А} \geq 96,7 \text{ А.}$$

«Проверка выбранного сечения провода питающей ВЛ-35 кВ по допустимому перегреву в послеаварийном режиме также выполняется» [4]

$$330 \text{ А} \geq 193,4 \text{ А.}$$

«Исходя из результатов проверок, в работе окончательно принимается провод на питающей ВЛ-35 кВ марки АС-95/16 с $I_{\text{дон}} = 330 \text{ А}$ » [4].

По аналогичной методике выбора и проверки, в работе проведён выбор кабельных линий распределительной сети напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ (выбираются только по допустимому нагреву), питающих двухтрансформаторные цеховые ТП-10/0,4 кВ системы электроснабжения

обогащательной фабрики с приведением результатов выбора в форме таблицы 11.

Таблица 11 – Результаты выбора кабельных линий 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения обогащательной фабрики

Линия	Кол-во линий	S_p , кВА	$I_{p.n.}$, А	$I_{p.av.}$, А	Площадь сечения, мм ²			Марка	L, м	R, Ом/ км	X, Ом/ км	$\Delta U\%$
					по $J_{эк}$	по допус тимо му наг- реву	принято					
Уном = 10 кВ												
ГПП-ТП1	2	4153,4	114,2	228,4	81,6	95	3x95	АСБ	40	0,31	0,083	0,21
ГПП-ТП2	2	1604,5	44,1	88,2	31,5	35	3x35	АСБ	20	0,84	0,095	1,12
ГПП-ТП3	2	4020,9	110,5	221	78,9	95	3x95	АСБ	80	0,31	0,083	0,68
ГПП-СТД	2	978,3	26,9	53,8	19,2	25	3x25	АСБ	90	1,17	0,099	1,52
Уном = 0,38/0,22 кВ												
ТП1-РП1	2	3129,3	2258,4	3161,8	-	7x185	7 шт. 3x185+1x95	АВВГ	10	0,16	0,059	1,17
ТП1-РП2	2	2146	1548,7	2168,2	-	5x185	5 шт. 3x185+1x95	АВВГ	30	0,16	0,059	1,47
ТП2-РП3	2	194,3	140,2	196,3	-	70	3x70+1x35	АВВГ	10	0,42	0,061	2,37
ТП2-РП5	1	535,6	386,5	541,1	-	2x95	2 шт. 3x95+1x50	АВВГ	20	0,31	0,06	2,18
ТП3-РП4	2	5525,8	3987,9	5583,1	-	12x185	12 шт. 3x185+1x95	АВВГ	10	0,16	0,059	0,24

«Выбранные в работе силовые кабели напряжением 10 кВ и 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения объекта удовлетворяют всем требуемым условиям выбора и проверки по допустимому нагреву в нормальном и послеаварийном режимах работы» [23], а также по допустимой потере напряжения и механической прочности в выбранном классе напряжения. Все выбранные кабельные линии в работе показаны на предложенной разработанной схеме электрических соединений системы электроснабжения обогащательной фабрики, полученной путём внедрения основных мероприятий по реконструкции схемы электрических соединений (графический лист 2).

2.7 Расчёт токов короткого замыкания

Для расчёта токов короткого замыкания (далее – КЗ) в рассматриваемой системе электроснабжения обогатительной фабрики, по принятой в работе схеме электроснабжения (графический лист 2) составляется схема замещения для данного участка сети, а также для всей схемы в целом.

Построение схемы замещения для участка сети обогатительной фабрики проводится в работе согласно методике [12].

Так как в предложенной в работе реконструированной схеме электрических соединений каждый трансформатор работает на свою секцию шин 10 кВ отдельно (применяется отдельный режим работы), с целью упрощения, для расчёта токов КЗ рассматривается один из участков «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», по которой составляется схема замещения (рисунок 2).

Для остальных участков схемы типичных участков сети «линия – трансформатор – шины 10 кВ – нагрузка», результаты полученных токов КЗ будут отличаться незначительно, находясь в допустимых пределах принятых погрешностей [12].

На другой ветви в общей схемы замещения сети системы электроснабжения обогатительной фабрики, рассматриваемого в работе, показывается и учитывается подпитка от высоковольтных синхронных двигателей 10 кВ [12].

Расчет КЗ производится с выключенным АВР и двумя СД, запитанными от одного кабеля (рисунок 2).

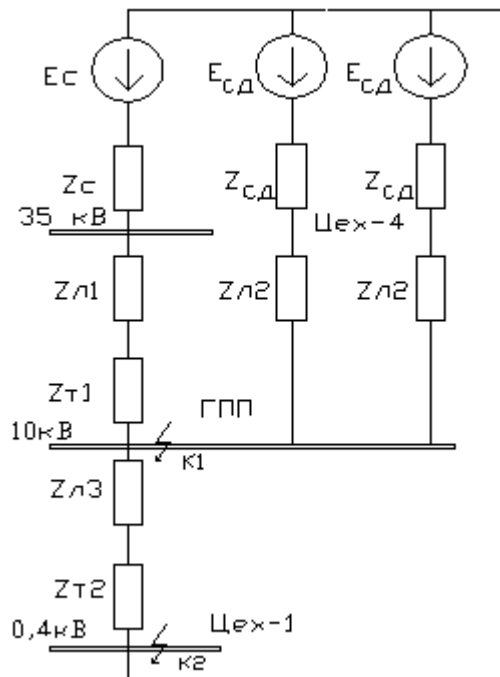


Рисунок 2 – Схема замещения для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения обогатительной фабрики, составленная по реконструированной схеме электроснабжения

«Выбираются базисные условия» [15]:

$$S_{\sigma} = 100 \text{ МВА.}$$

$$U_{\sigma.BH} = 1,05 \cdot U_{ном} = 1,05 \cdot 35 = 36,75 \text{ кВ.}$$

$$U_{\sigma.HH} = 1,05 \cdot U_{ном} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

«Сопротивление системы, приведенное к 10 кВ, Ом» [15]:

$$X_c = X_{*c} \cdot \frac{U_c^2}{S_c} \cdot \left(\frac{U_{HH}}{U_{BH}} \right)^2, \quad (33)$$

где X_{*c} – «относительное сопротивление системы, приведенное к

U_c » [15];

S_c – «мощность энергосистемы» [15].

$$X_c = 0,3 \cdot \frac{35^2}{100} \cdot \left(\frac{11}{35}\right)^2 = 0,35 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление трансформаторов, приведенное к 10 кВ, Ом» [15]:

$$X_m = \kappa^2 \cdot \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{н.тр}}, \quad (34)$$

$$R_m = \kappa^2 \cdot P_\kappa \cdot \frac{U_{ном}}{S_{н.тр}}, \quad (35)$$

где u_k – «напряжение КЗ трансформатора, %» [15].

«Для трансформатора ГПП (ТМН – 10000/35)» [15]:

$$X_{T1} = 0,31^2 \cdot \frac{7,5}{100} \cdot \frac{35^2}{10} = 2,21 \text{ Ом;}$$

$$R_{T1} = 0,31^2 \cdot 0,0335 \cdot \frac{35}{10} = 0,25 \text{ Ом.}$$

«Для цехового трансформатора ТП-1 (ТМ-2500/10)» [15]:

$$X_{T1} = \frac{5,5}{100} \cdot \frac{10,5^2}{2,5} = 3,79 \text{ Ом.}$$

$$R_{T1} = 0,0073 \cdot \frac{10,5}{0,63} = 2,03 \text{ Ом.}$$

«Сопротивление и начальная ЭДА СТД-10 кВ компрессорной» [15]:

$$x_{CD} = x'' \cdot \frac{U_n^2 \cdot \eta \cdot \cos \varphi}{P_n}, \text{ Ом.} \quad (36)$$

$$E_{CD} = \sqrt{(U_n \cdot \cos \varphi)^2 + (U_n \cdot \sin \varphi - I_n \cdot x'')^2}, \quad (37)$$

где P_n – «номинальная мощность двигателя» [15];

η – КПД;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности;

I_n – номинальный ток, А;

x'' – сверхпереходное сопротивление, Ом.

$$x_{CD} = 0,24 \cdot \frac{10^2 \cdot 0,92}{0,63} = 17,66 \text{ Ом.}$$

$$E_{CD} = \sqrt{(10 \cdot 0,9)^2 + (10 \cdot 0,44 - 38 \cdot 0,24)^2} = 10,16 \text{ кВ.}$$

Сопротивление линий:

$$Z_l = (x + jr) \cdot L, \quad (38)$$

где L – длина линии, км.

«Для Л1: ВЛ-35 кВ – $r_{уд} = 0,625$ ом/км, $x_{уд} = 0,4$ Ом/км» [15].

«Для Л2: КЛ-10 кВ – $r_{уд} = 1,24$ ом/км, $x_{уд} = 0,08$ Ом/км» [15].

«Для Л3: КЛ-10 кВ – $r_{уд} = 0,84$ ом/км, $x_{уд} = 0,095$ Ом/км» [15].

Сопротивление Л1, приведенное к 10 кВ:

$$Z_{Л1} = (0,625 + j \cdot 0,4) \cdot 4 \cdot 0,31^2 = 0,24 + j \cdot 0,15 \text{ Ом.}$$

Сопротивление Л2:

$$Z_{Л2} = (1,24 + j \cdot 0,08) \cdot 0,1 = 0,12 + j \cdot 0,008 \text{ Ом.}$$

Сопротивление Л3:

$$Z_{ЛЗ} = (0,84 + j \cdot 0,095) \cdot 0,1 = 0,084 + j \cdot 0,01 \text{ Ом.}$$

«Проводится расчет токов КЗ в сети 10 кВ» [15].

«Расчет токов КЗ выполняется в именованных единицах» [15]:

$$I_k^{(3)} = \frac{E_C}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\Sigma}}, A, \quad (39)$$

где $Z_{k\Sigma}$ – «суммарное сопротивление до точки КЗ, Ом» [15];

E_C – «напряжение системы, кВ» [15].

Суммарное эквивалентное сопротивление параллельных ветвей системы и СТД-10 кВ компрессорной, Ом:

$$Z_1 = \left(\frac{1}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}} + \frac{2}{Z_{СД} + Z_{Л2}} \right)^{-1}. \quad (40)$$

$$Z_1 = 0,29 + j \cdot 2,35 \text{ Ом.}$$

$$E_C = \left(\frac{E_C}{Z_C + Z_{Л1} + Z_{Т1}} + \frac{2E_{СД}}{Z_{СД} + Z_{Л2}} \right) \cdot Z_1. \quad (41)$$

$$E_C = 10,82 + j0,024 = 10,82 \text{ кВ.}$$

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{10,82}{\sqrt{3} \cdot |0,272 + j \cdot 2,134|} = 2,9 \text{ кА.}$$

«Постоянная времени для расчётной точки К1, с» [15]:

$$T_{A1} = \frac{x_{\Sigma} R = 0}{\omega \cdot r_{\Sigma} X = 0} = \frac{\left(\frac{1}{X_C + X_{Л1} + X_{Т1}} + \frac{2}{X_{СД} + X_{Л2}} \right)^{-1}}{\omega \cdot \left(\frac{1}{R_{Л1} + R_{Т1}} + \frac{2}{R_{Л2}} \right)^{-1}}. \quad (42)$$

$$T_{A1} = \frac{2,134}{314 \cdot 0,276} = 0,025 \text{ с.}$$

«Ударный коэффициент» [15]:

$$k_{y\partial} = 1 + e^{0,01/T_{A1}}. \quad (43)$$

$$k_{y\partial 1} = 1 + e^{0,01/0,025} = 2,5.$$

«Ударный ток в точке К1, кА» [15]:

$$i_{y\partial 1} = k_{y\partial} \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}. \quad (44)$$

$$i_{y\partial 1} = 2,5 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,9 = 10,25 \text{ кА.}$$

«Проводится расчет токов КЗ в сети 0,4 кВ (за силовым трансформатором цеховой ТП-1)» [15].

«Расчет токов КЗ производится в именованных единицах» [15].

«При этом параметры схемы замещения приводятся к ступени напряжения сети, на которой находится расчетная точка КЗ» [15].

«Результирующие активное и индуктивное сопротивления короткозамкнутой цепи до точки К2» [15]:

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| (Z_1 + Z_{T2} + Z_{ЛЗ}) \cdot (K_T)^2 + R_{\partial\partial} \right|, \quad (45)$$

где $R_{\partial\partial}$ – «добавочное сопротивление контактов, принимается в работе

$R_{\partial\partial} = 15 \text{ мОм}$ для РУ-0,4 кВ ТП» [15].

По условию (45):

$$Z_{\Sigma 2(0,4)} = \left| (0,29 + j2,35 + 2,03 + j9,63 + 0,084 + j0,0095) \cdot 0,04^2 + 0,015 \right| = 0,02 + j0,019 \text{ Ом.}$$

$$I_{k3}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot (0,02 + j0,019)} = 11,56 - j12,17 = 16,8 \text{ кА.}$$

«Постоянная времени для расчётной точки К2» [15]:

$$T_{A2} = \frac{0,19}{314 \cdot 0,02} = 0,03 \text{ с.}$$

«Ударный коэффициент в расчётной точке К2» [15]:

$$k_{y\partial 2} = 1 + e^{0,01/0,03} \approx 1,4.$$

«Ударный ток КЗ в точке К2» [15]:

$$i_{y\partial 2} = 16,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,4 = 33,3 \text{ кА.}$$

«Полученные в работе результаты расчётов токов КЗ в расчётных точках схемы в системе электроснабжения обогатительной фабрики приведены в работе в форме таблицы 12» [15].

Таблица 12 – «Полученные результаты расчётов токов КЗ и ударных токов в расчётных точках схемы в системе электроснабжения обогатительной фабрики» [15]

Точка КЗ	$I_{k3}^{(3)}, \text{кА.}$	$T_A, \text{с.}$	$k_{y\partial}, \text{кА.}$	$i_{y\partial}, \text{кА.}$
К1	2,9	0,025	2,5	10,25
К2	16,8	0,03	1,4	33,3

2.8 Выбор и проверка электрических аппаратов

В работе выбору и проверке подлежат электрические аппараты напряжением 35 кВ и 10 кВ, установленные в ОРУ-35 кВ и РУ-10 кВ системы электроснабжения обогатительной фабрики.

В работе ОРУ-35 кВ ГПП обогатительной фабрики выполнено открытым, поэтому выбор электрических аппаратов для установки в ОРУ-35 кВ будет проводиться только для аппаратов наружной установки [22].

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по и формулам» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (46)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (47)$$

«Кроме того, выбранные аппараты высокого напряжения подлежат следующим проверкам по условиям отключения токов КЗ и ударных токов, а также на термическую и динамическую стойкость по условиям», приведённым ниже [12].

Для «отключающих аппаратов проводится проверка на симметричный ток отключения» [12]:

$$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (48)$$

«В данном случае учитывается симметричный (трёхфазный) ток КЗ» [12].

«Для отключающих аппаратов в данной работе должна быть проведена проверка на отключение апериодической составляющей тока КЗ» [12]:

$$i_{а.т} \leq i_{а.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (49)$$

где $\beta_{ном}$ – «номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе» [12];
 $i_{a.ном}$ – «номинальное допустимое значение аperiodической составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка электрических аппаратов на электродинамическую стойкость» [12]:

- «по условию номинального тока отключения» [12]

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (50)$$

- «по величине ударного тока» [6]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (51)$$

где $i_{дин.}$ – «номинальный ток электродинамической стойкости аппарата».

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (52)$$

где I_T – «предельный ток термической стойкости по каталогу» [12];

t_T – «длительность протекания тока термической стойкости, с» [12].

По приведённым условиям выбора и проверки электрических аппаратов, проводится их выбор с приведением результатов в форме таблиц.

В работе детально рассматривается выбор вводного высоковольтного выключателя на ОРУ-35 кВ для защиты и коммутации высоковольтной линии напряжением 35 кВ, питающей силовой трансформатор ГПП-35/10 кВ.

Таких линий в работе две (по числу трансформаторов ГПП с учётом принятого раздельного режима).

Максимальный рабочий ток питающей линии 35 кВ с учётом подключения дополнительной нагрузки соседней линии в ПАВ-режиме работы:

$$I_{\max} = \frac{11725,9}{\sqrt{3} \cdot 35} = 193,4 \text{ А.}$$

По значению максимального рабочего тока линии, а также учитывая номинальный класс напряжения, в работе предварительно выбирается вакуумный выключатель наружной установки типа ВР35НС-35-20/1600-3/3 УХЛ1 со встроенными трансформаторами тока.

Производится основная проверка выбранного выключателя 35 кВ:

$$I_t^2 t = 1200 \text{ кА}^2 \text{ с} > 2,9^2 \cdot (5,2 + 0,023) = 97,49 \text{ кА}^2 \text{ с.}$$

$$\sqrt{2} \cdot 2,9 + 10,25 = 15 \text{ кА}^2 \text{ с} > \sqrt{2} \cdot 10,3 \left(1 + e^{\frac{-(0,05+0,1)}{0,007}}\right) = 14,8 \text{ кА}^2 \text{ с.}$$

Условия выбора и проверки выполняются.

Выбор высоковольтных выключателей для установки их в РУ-10 кВ ГПП-35/10 кВ выполняется аналогично и результаты выбора представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты выбора высоковольтных выключателей 10 кВ

Место установки	Марка	Условие	Расчёт	Каталог
ТП-1, ТП-2, ТП-3	ВВ/TEL-10- 20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 228,4 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2 \text{ с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$
СТД	ВВ/TEL-10- 20/630-У2-48	$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 53,8 \text{ А}$	$I_n = 630 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2 \text{ с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$

Продолжение таблицы 13

Место установки	Марка	Условие	Расчёт	Каталог
Вводной и секционный выключатели	ВВ/TEL-10-20/1000-У2-48	$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_n = 10 \text{ кВ}$
		$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 676,9 \text{ А}$	$I_n = 1000 \text{ А}$
		$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 80 \text{ кА}$
		$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 4000 \text{ кА}^2\text{с}$
		$I_{нт} \leq I_{откн}$	$I_{нт} = 16,8 \text{ кА}$	$I_{откн} = 20 \text{ кА}$

Результаты выбора разъединителей напряжением 35 кВ сведены в таблицу 14.

Таблица 14 – Результаты выбора разъединителей 35 кВ

Разъединитель марки РГ-2-35/600		
Условие выбора	Данные расчёта	Данные каталога
$U_{уст} \leq U_n$	$U_{уст} = 35 \text{ кВ}$	$U_n = 35 \text{ кВ}$
$I_{раб.макс} \leq I_n$	$I_{раб.макс} = 193,4 \text{ А}$	$I_n = 600 \text{ А}$
$i_y \leq i_{нр.с}$	$i_y = 10,25 \text{ кА}$	$i_{нр.с} = 20 \text{ кА}$
$B_k \leq I_T^2 t_T$	$B_k = 97,49 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_T^2 t_T = 2000 \text{ кА}^2\text{с}$

Результаты выбора и проверки трансформатора тока 10 кВ на вводе в РУ-10 кВ приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Выбор трансформаторов тока 10 кВ

Марка ТТ	Условия	Данные расчёта	Данные каталога
ТПК-10	$U_{уст} \leq U_{ном}$	$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 676,9 \text{ А}$	$I_n = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин}$	$i_y = 33,3 \text{ кА}$	$i_{дин} = 45,7 \text{ кА}$
	$B_k \leq I_m^2 \cdot K_m$	$B_k = 68,4 \text{ кА}^2\text{с}$	$I_m^2 \cdot K_m = 972 \text{ кА}^2\text{с}$

Остальные трансформаторы тока на отходящих линиях 10 кВ выбираются аналогично. На стороне 35 кВ выбирать трансформаторы тока не требуется, так как они встроены в выключатели. На стороне 10 кВ выбирается трансформатор напряжения типа НТМИ-10-66У3 с номинальной вторичной нагрузкой 200 ВА при классе точности 0,5. Все выбранные аппараты показаны в графической части работы (листы 2 и 3). Все они в полной мере удовлетворяют условиям выбора и проверок в системе электроснабжения.

Выводы по разделу 2.

Исходя из результатов анализа исходных технических данных, источников питания, потребителей и технологического процесса, в работе обоснованы и внедрены следующие практические мероприятия по реконструкции системы электроснабжения обогатительной фабрики, в результате чего приняты и проверены следующие технические решения:

- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована схема электрических соединений системы электроснабжения обогатительной фабрики, полученная в результате проведения реконструкции первоначальной схемы электрических соединений, и отличающейся надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

- проведены выбор и проверка трансформаторов ГПП-35/10 кВ (ТМН-10000/35) и цеховых ТП-10/0,4 кВ (ТМ различного типономинала) на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

- осуществлён выбор и проверка сечения проводников, в результате чего выбраны современные кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10, а также провод питающей воздушной линии напряжением 35 кВ марки АС-95/16;

- выбраны и проверены современные типы и марки электрических аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для установки их в соответствующих РУ на ГПП-35/10 кВ объекта реконструкции.

Выбор и проверки всего оборудования и сетей для реконструкции системы электроснабжения обогатительной фабрики в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания.

Мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений системы электроснабжения обогатительной фабрики обоснованы и подтверждены на основании принятия и внедрения оптимальных технических решений.

3 Обеспечение норм по охране труда

3.1 Обеспечение нормативных положений по охране труда

Условия для обеспечения нормативных положений по охране труда является важнейшим звеном в производственной деятельности любого предприятия.

Во главе организации по охране труда стоит директор предприятия. Он отвечает за весь процесс, контролирует его выполнение и соблюдение норм. На предприятии (обогащательной фабрике), обслуживающем оборудование предприятия, есть служба по охране труда, работниками которых проводится разъяснительная и предупредительная работа среди рабочего персонала предприятия: разработка документации, проведения инструктажей, а также дней охраны труда и соответствующих мероприятий по охране труда в зависимости от направлений (электробезопасность, пожарная безопасность, экологическая безопасность и прочее).

Структура службы охраны труда на предприятии (обогащательной фабрике), представлена на рисунке 3.

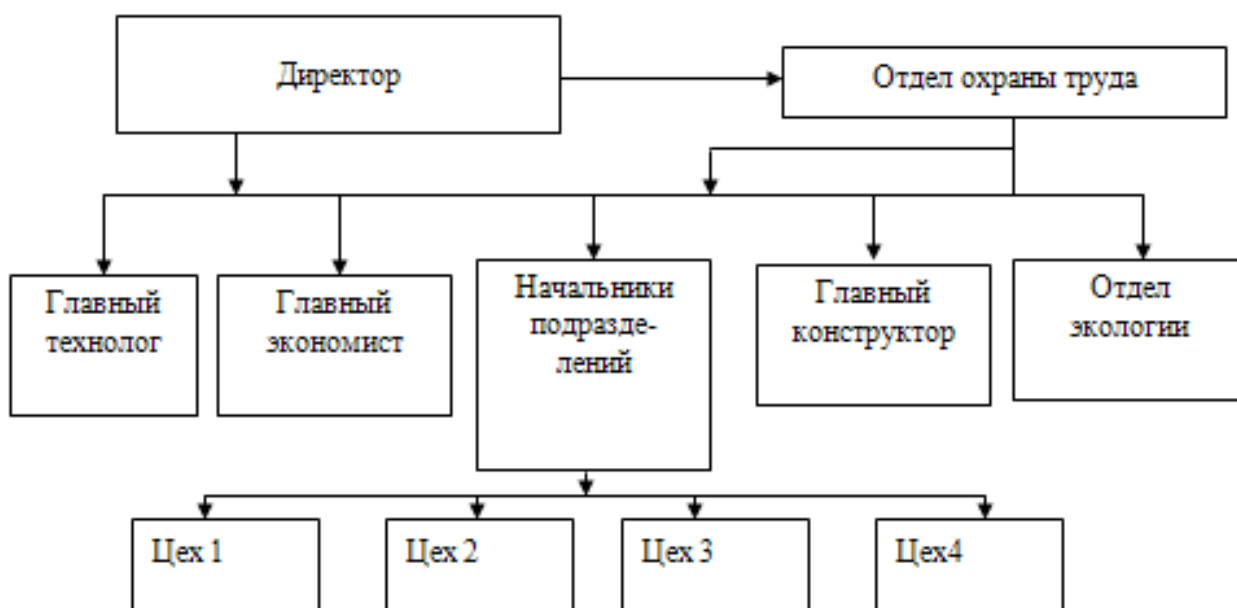


Рисунок 3 – Структура службы охраны труда на предприятии (обогащательной фабрике)

В структуру охраны труда также входит отдел экологии. Также следует отметить, что помимо отдела охраны труда на предприятии (обогажительной фабрике), обслуживающем оборудование предприятия, непосредственную ответственность за соблюдение охраны труда в подразделениях несут и руководители этих подразделений: начальники служб, смен, участков, мастера и прочие ответственные работники, которые назначаются приказами по предприятию.

Для всех работников, согласно действующего законодательства [7], установлены минимально допустимые квалификационные группы [7]. В базу знаний этих работников входит владение элементарными электротехническими знаниями электроустановок, на которых они работают, при четком представлении об опасности электрического тока и приближении к токоведущим частям [7].

Лицам, ответственным за безопасную организацию работ, следует, в первую очередь, решить такие вопросы:

- разработать и утвердить инструкции по эксплуатации оборудования;
- организовать контроль за учетом и выдачей документации в установленные сроки;
- установить и оформить личные карты учета выдачи документации работникам по установленной форме;
- периодическое опробование, обновление и проверка пригодности должностных инструкций и нормативных положений на предприятии;
- выдавать приказы работодателя об утверждении должностных инструкций и нормативных положений на предприятии;
- завести и поддерживать в надлежащем виде журналы по охране труда (пронумерованные, прошнурованные и скрепленные печатью);
- обеспечение со стороны работодателя надлежащего ухода по всем вопросам охраны труда.

Полный контроль за выполнением мероприятий по охране труда возлагается на директора предприятия.

3.2 Охрана труда на обогатительной фабрике

Все мероприятия по охране труда на предприятии (обогатительной фабрике) объединяются в комплекс, который согласован с условиями технологического процесса.

Выполнение поставленных задач необходимо строго регламентировать с нарядами и распоряжениями, в которых прописываются основные мероприятия при выполнении работ на объекте.

Перед началом работ обязательно должен быть проведён первичный инструктаж, а при непосредственном начале работ – инструктаж на рабочем месте.

Инструктажи проводятся старшими инженерами (начальниками) служб и подразделений с обязательной фиксацией в журнале инструктажей.

Лица, которые не прошли инструктаж своевременно, до работы не допускаются.

Также при работах в электроустановках обязательно следует проверять целостность и срок испытаний диэлектрической защиты, к которой относятся коврики, подставки, прокладки, очки, штанги и многие другие приспособления для безопасного проведения работ.

Электрики выполняют широкий спектр задач, включая чтение технических чертежей электрических систем, использование различных типов ручных и электроинструментов, таких как трубогибы, инструменты для зачистки проводов и вольтметры, а также поиск и устранение неисправностей, чтобы обеспечить идеальную работу всех компонентов электрической системы.

Обязанности электрика согласно нормам по охране труда на предприятии (обогатительной фабрике), следующие:

- установка, техническое обслуживание и ремонт электрооборудования, электропроводки и систем освещения;
- чтение технические схемы и чертежи;

- выполнение общее техническое обслуживание электрооборудования;
- осмотр трансформаторы, автоматические выключатели и другие электрические компоненты;
- устранение неполадок с электричеством с помощью соответствующих тестовых устройств;
- ремонт и замена оборудования, электропроводки или светильников;
- соблюдение государственные и местные строительные нормы и правила национального электротехнического кодекса;
- ремонт автоматического выключателя;
- хорошее знание систем отопления и кондиционирования;
- хорошее знание различного контрольно-измерительного оборудования.

Хорошее знание своих обязанностей в совокупности со строгим соблюдением нормативов по охране труда приносит ощутимый результат и способно сохранить здоровье и жизнь персоналу.

Также на предприятии (обогащительной фабрике) необходимо внедрять мероприятия по экологии и предотвращению аварийных ситуаций.

Аварийные ситуации на объекте могут возникнуть в таких случаях:

- повреждение изоляции оборудования и сетей;
- несрабатывание либо позднее срабатывание устройств релейной защиты;
- грубое нарушение установленных правил и норм технологического процесса;
- неправильные оперативные переключения в цепях электроустановок и сетей объекта;
- ввод в эксплуатацию просроченного и непроверенного оборудования и сетей;
- использование технологического оборудования и сетей не по назначению;

- нарушение правил техники безопасности и пожарной безопасности на объекте;

- прочие производственные и непроизводственные факторы.

Анализ воздействия объекта на окружающую среду на предприятии (обогащительной фабрике) заключается в проявлении следующих факторов:

- возможность утечки масла в грунт из силовых трансформаторов подстанции;

- возможное попадание на объект животных и их поражение электрическим током и дугой;

- загрязнение грунта отходами тяжёлых металлов при технологическом процессе на объекте;

- загрязнение воздуха выбросами производственной деятельности объекта;

- утечка в грунт септиков и стоков в результате непроизводственной деятельности на объекте.

Известно, что работы выполняются по наряду-допуску либо по распоряжению.

В первом случае наряд – это долгосрочное задание на выполнение работ, которое не ограничивается одним рабочим днём и может быть продлён вплоть до месяца.

Как правило, наряд имеет право выдавать лицо из числа оперативно-технических работников либо инженерного персонала.

За получение наряда-допуска ответственные лица расписываются в журнале выдачи нарядов и распоряжений.

Распоряжение, в отличие от наряда-допуска, носит краткосрочный характер.

Распоряжение, как правило, выдаётся на одни рабочие сутки и, в отличие от наряда-допуска, не продлевается.

Распоряжение, также как и наряд-допуск, имеет право выдавать лицо из числа оперативно-технических работников либо инженерного персонала.

За получение распоряжения ответственные лица расписываются в журнале выдачи нарядов и распоряжений.

Мероприятия по обеспечению охраны труда на предприятии (обогащительной фабрике), включают, в основном, две составляющие: техническую и организационную.

Далее проводится краткое описание основных мероприятий каждой из них.

Известно, что все мероприятия по охране труда при работе на электрооборудовании делятся на организационные и технические.

Организационные показывают, насколько хорошо налажена организация выполнения работ на объекте и предусматривает проведение инструктажей, выдачу нарядов и распоряжений, а также контроль за проведением работ.

Организационные мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются в организации выполнения работ строго по инструкции и нормам охраны труда, назначение ответственных лиц для контроля выполнения работ и норм безопасности, выдачу нарядов и распоряжений для выполнения работ, допуск персонала к работе, организацию работ на рабочем месте, премирование исполнительных работников и наказание злостных нарушителей.

Перечень основных организационных мероприятий по охране труда на предприятии (обогащительной фабрике) согласован с основным технологическим процессом.

Технические мероприятия нужны для того, чтобы предотвратить техническое поражение током обслуживающего персонала.

К ним относятся мероприятия по проверке отсутствия напряжения, оперативные переключения, вывод оборудования в ремонт, вывешивание плакатов, установка заграждений и многие другие. Технические мероприятия по недопущению поражения электрическим током заключаются во внедрении технических мер при строгом соблюдении всех нормативов.

К таким мероприятиям также относятся внедрение полных технических составляющих при выполнении, работ, как-то: установка запрещающих, предписывающих и информационных плакатов на месте работы, ограждение рабочего места, проведение оперативных переключений, заземление оборудования.

Пожарная безопасность объекта исследования в работе обеспечивается применением и использованием следующих мероприятий:

- применением негорючих материалов в электроустановках и несгораемых конструкций оборудования, зданий и сооружений;
- наличием средств пожаротушения на объекте (пожарный щит, огнетушители, гидранты и т.п.);
- профилактическими проверками и инспекциями, выявляющих общее состояние пожарной безопасности оборудования;
- работой пожарной дружины на объекте, а также постоянным источником связи с пожарной инспекцией.

На объекте в обязательном порядке должны быть предусмотрены пожарные извещатели и система пожарной сигнализации, которые должны предупреждать обслуживающий персонал о пожаре.

Такие системы должны быть полностью автоматизированы и питаться от бесперебойного источника питания, который не зависит от основных централизованных источников.

Проверку системы пожарной сигнализации следует проводить в строго установленные и регламентированные сроки.

Кроме того, в обязательном порядке на объекте должна быть предусмотрена система пожаротушения.

Все системы пожаротушения должны обязательно быть автоматизированными.

В последние годы рекомендуется применять модульную систему пожаротушения, в которой совмещены несколько упомянутых выше систем пожаротушения.

Такая модульная система позволяет тушить пожары любого класса в зависимости от вида возгорания.

Например, горящую электропроводку нельзя тушить водой, что обуславливает применение модульной системы пожаротушения на объекте исследования.

С точки зрения пожаробезопасности, наибольшую опасность представляет на объекте силовой трансформатор и прочее маслonaполненное оборудование, в котором существует высокая вероятность пожара и взрыва.

Поэтому данные объекты необходимо контролировать самым тщательным образом как во время обходов (плановых и неплановых), так и во время проверок.

При выполнении работ на подстанции необходимо строго соблюдать мероприятия по нормам экологической безопасности.

Среди опасностей также следует упомянуть и экологическую опасность, актуальность которой всё больше приобретает смысл в последние годы.

Загрязнение окружающей среды в свете изменения климата стало злободневной темой.

Все указанные мероприятия обязательны к применению и внедрению в систему электроснабжения производства.

Экологическая безопасность на объекте исследования при нормальных стандартных условиях находится под контролем руководства согласно [17].

Законодательная база по экологической безопасности регламентирует как административную, так и уголовную ответственность за нарушение закона.

Такое развитие ситуации необходимо предусмотреть и бороться с её возникновением и возможными последствиями на законодательном уровне, согласно действующих законов.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения данного раздела работы, осуществлена разработка мероприятий по технике безопасности, а также пожарной и

экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Путём проведения выборочного анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности.

Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения производства, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям.

На основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Указанные мероприятия по технике безопасности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ на электрооборудовании и в электрических сетях, должны быть приняты и внедрены в реконструируемую систему системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Заключение

В результате выполнения работы разработан проект реконструкции системы электроснабжения обогатительной фабрики при соблюдении заданных требований к надежности схемы электроснабжения и качеству электроэнергии, передаваемой потребителям.

Для реализации основной цели работы, в работе осуществлено последовательное решение следующих основных поставленных задач:

- проведён исходный анализ системы электроснабжения обогатительной фабрики, с детальным рассмотрением и анализом технологии и циклов производства, технических характеристик составляющих, а также потребителей участков и цехов объекта реконструкции;

- детально рассмотрены и систематизированы по категории надёжности и производственной среде цеха и участки системы электроснабжения обогатительной фабрики. На основании приведённых исходных данных, а также нормативных сведений и источников, обоснована необходимость и целесообразность разработки качественного проекта системы электроснабжения объекта;

- исходя из исходных технических данных, в работе предложена и обоснована реконструируемая схема электрических соединений системы электроснабжения обогатительной фабрики, которая отличается надёжностью, экономичностью и безопасностью проведения работ;

- проведены выбор и проверка трансформаторов ГПП-35/10 кВ марки ТМН-10000/35 и цеховых ТП-10/0,4 кВ марки ТМ различных типоминалов, на потребляемую мощность, а также на допустимую загрузку активной мощностью в нормальном и послеаварийном режимах;

- осуществлён выбор и проверка сечения проводников, в результате чего выбраны современные кабели напряжением 10 кВ марки АСБ-10, а также провод для питающей воздушной линии напряжением 35 кВ марки АС-95/16;

- выбраны и проверены современные типы и марки электрических

аппаратов напряжением 35 кВ и 10 кВ для установки их в соответствующих РУ на ГПП-35/10 кВ объекта реконструкции. Выбор всего оборудования для реконструкции системы электроснабжения производства в работе проведён на основании результатов расчёта электрических нагрузок и токов короткого замыкания;

– путём проведения выборочного анализа, в работе установлены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на безопасность проведения работ, а также на факторы пожарной и экологической безопасности. Особое внимание уделено обязанностям обслуживающего персонала системы электроснабжения производства, обеспечивающие электробезопасность и сводящие травматизм к минимальным показателям;

– на основании проведённого анализа, разработан комплекс мероприятий, позволяющих качественно повысить критерии безопасности жизнедеятельности, а также пожарной и экологической безопасности при выполнении работ в электроустановках и сетях системы электроснабжения обогатительной фабрики.

Реконструированная система электроснабжения обогатительной фабрики отличается надёжностью схемы электрических соединений ГПП-35/10 кВ и цеховых ТП-10/0,4 кВ, а также электробезопасностью, минимумом затрат на обслуживание и ремонт, что позволяет свести межремонтный и эксплуатационный период до минимума, и, кроме того, значительно повысить показатели энергоэффективности и экономичности объекта реконструкции и его потребителей.

Результаты работы соответствуют всем требованиям основных нормативных документов.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е. Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2018. 416 с.
2. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
3. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
4. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2016. 184 с.
5. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). – М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
6. Михайлов Ю. М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2017. 224 с.
7. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для ВУЗов. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
8. Никитенко Г. В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. – СПб.: Лань, 2018. 316 с.
9. Обогащительная фабрика. [Электронный ресурс]: URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BE%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B0%D0%B1%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0
(дата обращения: 14.04.2022).

10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.
11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
13. Рожкова Л. Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.
14. Сибикин Ю. Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.
15. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. - 312 с.
17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750 кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 14.04.2022).
18. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
19. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.
20. Copley P. Marketing Communications Management: Concepts and Theories, Cases and Practices. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2018. 441 p.
21. Hirsch J.E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research

Output that Takes into Account the Effect of Multiple Co-authorship. *Scientometrics*, 2020, vol. 85, no. 3, pp. 741–754. doi: 10.1007/s11192-010-0193-9

22. Lezhniuk P., Netrebskiy V., Teptia V., Vydmysh V. Hamilton's Principle as the Method of Self-Optimization Electric Systems. *Nauka i Studia. Przemysl.* 2019. №5 (136). P. 63–69. ISSN 1561–6894.

23. Lezhnyuk P.D., Petrushenko O.J., Petrushenko J.V. Approximation of implicitly expressed optimality criteria by pozynom and analysis of their sensitivity. Materials digest of the XXXIX international Research and Practice Conference “Physico-mathematical and technical sciences as postindustrial foundation of the informational society evolution”. London, 2018. P. 23–26.

24. Potter E.H. *Branding Canada. Projecting Canada's Soft Power through Public Diplomacy.* Montreal: McGill-Queen's University Press, 2019. 464 p.