

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение системы внешнего водоснабжения медной обогатительной
фабрики Республики Узбекистан

Обучающийся

Н.Р. Кузнецов

(Инициалы Фамилия)



(личная подпись)

Руководитель

О.В. Федяй

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

Тольятти 2024

Аннотация

В работе рассмотрена реконструкция распределительной электрической сети напряжением 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

На основе рассмотренных исходных технических данных, включающих электрическую схему, а также данные источников и потребителей системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, обоснована реконструкция распределительной электрической сети напряжением 10 кВ объекта исследования, предусматривающая замену магистральной схемы без резервирования на магистральную схему с резервированием и двухсторонним питанием. Установлено, что данная замена способствует значительному увеличению параметров и показателей надёжности, экономичности и безопасности, а также селективности релейной защиты объекта.

На основе полученных расчётных значений нагрузок потребительских трансформаторных подстанций 10/0,4 кВ (далее – ТП-10/0,4 кВ) скважин, а также рассчитанных значений токов короткого замыкания, выбраны и проверены силовые трансформаторы ТП-10/0,4 кВ, сечения и марки проводников, а также типономиналы электрических аппаратов.

Работа представлена расчётно-пояснительной запиской объёмом 59 печатных страниц, а также шестью чертежами графической части. Для наглядности визуализации материалов и данных в работе использованы 4 рисунка и 12 таблиц.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика системы внешнего водоснабжения объекта.....	6
1.1 Характеристика схемы и оборудования электрической сети системы внешнего водоснабжения объекта.....	6
1.2 Обоснование необходимости внесения изменений в существующую схему объекта	12
2 Реконструкция электрической части системы внешнего водоснабжения объекта.....	15
2.1 Выбор схемных решений для реконструкции распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения.....	15
2.2 Расчёт электрических нагрузок	17
2.3 Проверка силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ скважин.....	22
2.4 Выбор и проверка проводников магистралей 10 кВ	24
2.5 Расчёт токов короткого замыкания	29
2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов	34
3 Реконструкция схемы релейной защиты системы внешнего водоснабжения объекта.....	44
3.1 Выбор современных типов и устройств релейной защиты для применения на объекте.....	44
3.2 Расчёт уставок релейной защиты линий РП-10 кВ	47
Заключение	52
Список используемых источников.....	58

Введение

Системы внешнего водоснабжения горнорудной и металлургической промышленности (в частности, медных обогатительных фабрик) играют ключевую роль в обеспечении надежного и эффективного процесса производства.

Такие системы предназначены для постоянного обеспечения производственных объектов фабрики необходимым объемом пресной воды, которая используется в различных важнейших технологических процессах, таких, как флотация, гидрометаллургия и промывка медной руды.

Система водоснабжения выполняет важные функции, которые заключаются в охлаждении оборудования, растворении и транспортировке химических реагентов, а также обеспечении условий для оптимальной работы обогатительных установок. Технически такая система несет ответственность за управление потоками воды, поддержание стабильного давления и обеспечение качественных параметров воды, соответствующих технологическим требованиям стабильного и непрерывного производства.

Таким образом, эффективная система водоснабжения медной обогатительной фабрике имеет критическое значение для обеспечения стабильной, непрерывной и безотказной работы производства, безопасности персонала, минимизации потерь материалов и энергии, а также соблюдения экологических стандартов.

Одним из возможных направлений, способствующих решению поставленных задач, является повышение параметров надёжности, экономичности и безопасности работы системы электроснабжения объектов водоснабжения медной обогатительной фабрики [18], [20].

Данный вопрос обуславливает актуальность исследования и детально рассматривается в настоящей работе на примере медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Целью данной работы является реконструкция «распределительной

электрической сети напряжением 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан» [4].

Объектом исследования в данной работе является электрическая сеть системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Предметом исследования являются параметры и характеристики надёжности, экономичности и безопасности, полученные в результате внедрения мероприятий по реконструкции распределительной электрической сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения объекта исследования.

Таким образом, в работе выдвигается гипотеза, что при внедрении современных рациональных схемных решений на объекте исследования, в конечном результате будут улучшены показатели надёжности, экономичности и безопасности всей системы электроснабжения последнего. Данную гипотезу необходимо подтвердить в работе.

Принимая во внимание объект и предмет исследования, с учётом актуальности работы и выдвинутой гипотезы, в работе предлагается провести решение трёх основных задач:

- первая основная задача предполагает детальный анализ объекта исследования с постановкой проблем и последующим обоснованием их решения;
- вторая основная задача работы состоит в техническом обосновании предложенных мероприятий по реконструкции схемы распределительной электрической сети напряжением 10 кВ объекта исследования;
- третья основная задача заключается в реализации мероприятий по реконструкции системы релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) электрической сети объекта исследования.

Таким образом, при выполнении всех поставленных задач, основная цель работы будет достигнута.

1 Исходная характеристика системы внешнего водоснабжения объекта

1.1 Характеристика схемы и оборудования электрической сети системы внешнего водоснабжения объекта

В работе приводится характеристика схемы и оборудования электрической сети системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Рассматриваемая в работе медная обогатительная фабрика относится к горнорудной и металлургической промышленности. Этот тип промышленности занимается непосредственным извлечением и обработкой руд для получения металлических продуктов. В случае медной обогатительной фабрики, основным материалом является руда меди, которая подвергается специальным технологическим процессам для извлечения и концентрации медных минералов.

Известно, что технологический процесс медных обогатительных фабрик состоит из этапов обработки руды, включающих технологические процессы дробления, помола, флотации и гидрометаллургии, чтобы добиться извлечения и концентрации меди. В конечном итоге, этот процесс завершается получением медных концентратов или металлической меди, которые могут быть использованы в различных отраслях, например, в автомобилестроении, строительстве, электротехнической и других сферах и отраслях промышленности [4].

Система внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан играет одну из ключевых ролей в обеспечении производства, обеспечивая производственные объекты фабрики необходимым объемом пресной воды, которая используется в различных важнейших технологических процессах, таких, как флотация, гидрометаллургия и промывка медной руды [4].

По надёжности потребителей рассматриваемый в работе объект исследования относится ко II категории надёжности.

Питание системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики осуществляется по двухступенчатой схеме (с двумя узлами), «первым из которых является районная понизительная подстанция напряжением 110/10 кВ (далее – РТП-110/10 кВ), а вторым – распределительный пункт напряжением 10 кВ (далее – РП-10 кВ)» [4].

От РП-10 кВ питаются двумя магистральными линиями понизительные трансформаторные подстанции напряжением 10/0,4 кВ (далее – ТП-10/0,4 кВ), которые питают электрооборудование скважин на напряжении 0,38/0,22 кВ. Структурная схема электрической сети системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан представлена на рисунке 1.

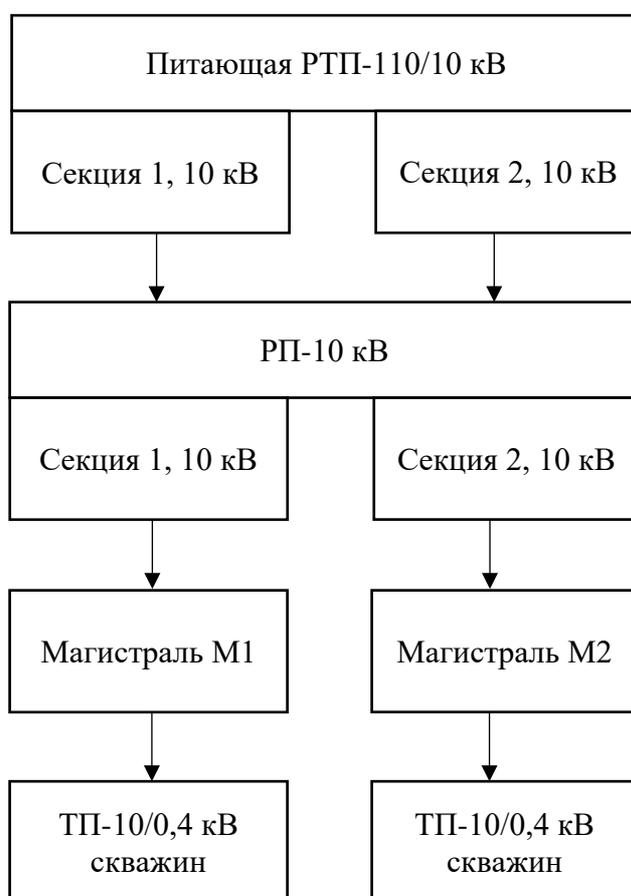


Рисунок 1 – Структурная схема электрической сети системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Далее необходимо рассмотреть схемы и оборудование всех элементов, приведённых на структурной схеме рисунка 1.

Первым основным элементом структурной схемы является питающая РТП-110/10 кВ (рисунок 1). Данная РТП-110/10 кВ является подстанцией с двумя силовыми трансформаторами и относится к энергосистеме Республики Узбекистан. Так как в исходных данных нет сведений о распределительном устройстве 110 кВ (далее – РУ-110 кВ) данной подстанции, а также о силовых трансформаторах, установленных на ней, в работе уделяется внимание схеме и оборудованию распределительного устройства 10 кВ (далее – РУ-10 кВ) РТП-110/10 кВ.

«РУ-10 кВ РТП-110/10 кВ выполнено по схеме, секционированной выключателем системы сборных шин. Такая система предусматривает две секции сборных шин 10 кВ с установленным между ними секционным выключателем. Этот выключатель в нормальном режиме отключён, обеспечивая отдельный режим работы секций сборных шин РУ-10 кВ РТП-110/10 кВ» [3].

При возникновении аварийного режима или вывода в ремонт оборудования на одной из питающих линий 10 кВ, секционный выключатель включается под действием системы автоматического включения резерва (АВР), чем обеспечивает питание секции сборных шин, которая осталась без электроснабжения. Таким образом, в схеме сохраняется резервирование даже в аварийном режиме.

В РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ установлено следующее основное оборудование:

- высоковольтные вакуумные выключатели напряжением 10 кВ марки РиМ ВВ-10-20/1000-У2-120 – 22 единицы;
- трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛК-10 – 65 единиц;
- ограничители перенапряжения ОПНп 10/12/10/400 – 19 блоков по 3 единицы в каждом блоке (всего – 57 единиц);
- трансформаторы напряжения марки НАМИТ-10 – 2 единицы;

- плавкие предохранители для защиты трансформаторов напряжения – 2 блока по 3 единицы в каждом (всего – 6 единиц).

Таким образом, установлено, что в РУ-10 кВ на питающей РТП-110/10 кВ схема – надёжная, а оборудование – современное, следовательно, данный элемент структурной схемы объекта исследования не нуждается в модернизации и реконструкции.

Следующим элементом структурной схемы электрической сети системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан выступает РП-10 кВ, который состоит на балансе фабрики.

Также, как и в РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ, в нём применяется схема с одной секционированной выключателем системой сборных шин. Данный выключатель в нормальном режиме отключён, обеспечивая отдельный режим работы секций сборных шин РУ-10 кВ РТП-110/10 кВ [3]. Принцип его работы аналогичен принципу работы секционного выключателя в РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ. Таким образом, в схеме РП-10 кВ сохраняется резервирование даже в аварийном режиме.

В РП-10 кВ медной обогатительной фабрики установлено следующее основное оборудование:

- высоковольтные вакуумные выключатели напряжением 10 кВ марки РИМ ВВ-10-20/1000-У2-120 – 7 единиц;
- трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛК-10 – 20 единиц;
- ограничители перенапряжения ОПНп 10/12/10/400 – 4 блока по 3 единицы в каждом блоке (всего – 12 единиц).

Всего в схеме РП-10 кВ фабрики предусмотрено семь ячеек с установленными в них выключателями:

- две вводные ячейки;
- две линейные ячейки;
- две резервные ячейки;
- одна секционная ячейка.

От двух линейных ячеек РП-10 кВ с помощью двух магистралей без резервирования (М1 и М2), получают питание трансформаторные подстанции скважин (ТП-10/0,4 кВ).

Все ТП-10/0,4 кВ – однострансформаторные с трансформаторами ТМ-100/10. Всего в схеме предусмотрено питание одиннадцати ТП-10/0,4 кВ скважин.

От первой магистрали получают питание следующие ТП-10/0,4 кВ скважин: 4-6-10-8-7-11, от второй магистрали – подстанции 3-2-1-5-9.

Конструктивно все ТП-10/0,4 кВ скважин выполнены в виде комплектных трансформаторных подстанций наружного исполнения (далее – КТПН) [6].

Такая конструкция проста в обслуживании и ремонте, а также экономична и надёжна (при условии своевременного обслуживания и ремонта) [10].

Все КТПН на объекте выполнены с воздушными вводами 10 кВ [6].

Для защиты каждой КТПН на стороне 10 кВ предусматриваются разъединители марки РЛНД-10/400, а на стороне 0,38/0,22 кВ – автоматы марки ВА различных типоминалов, а также рубильник марки ВР 32 (на номинальный ток 35 А).

Конструктивное выполнение ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики, а также схема ТП-10/0,4 кВ, представлены на графическом листе 4.

Установлено, что данные ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан рассматриваются как потребители, питающие конечную нагрузку скважин на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Так как на каждой из ТП-10/0,4 кВ есть приборы учёта и контроля электроэнергии, следовательно, в качестве исходных расчётных данных целесообразно принять значения фактической максимальной нагрузки каждой из данных подстанций. Данные сведения представлены в работе

форме таблицы 1. Также для оценки эффективности работы системы электроснабжения объекта исследования, в таблице 1 также проводится расчёт фактического коэффициента загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ.

Таблица 1 – Исходные технические данные фактической максимальной нагрузки ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование ТП-10/0,4 кВ	Марка и количество трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, $n \times S_{ном.т.}$, кВА	Наименование объекта, получающего питание от ТП-10/0,4 кВ	Технические данные фактической максимальной нагрузки ТП-10/0,4 кВ, кВт	Фактический коэффициент загрузки трансформаторов ТП-10/0,4 кВ, о.е.
ТП-1	1×100	Скважина №1	68,5	0,685
ТП-2	1×100	Скважина №2	60,2	0,602
ТП-3	1×100	Скважина №3	65,4	0,654
ТП-4	1×100	Скважина №4	64,5	0,645
ТП-5	1×100	Скважина №5	69,7	0,697
ТП-6	1×100	Скважина №6	63,2	0,632
ТП-7	1×100	Скважина №7	60,6	0,606
ТП-8	1×100	Скважина №8	65,5	0,655
ТП-9	1×100	Скважина №9	69,8	0,698
ТП-10	1×100	Скважина №10	70,2	0,702
ТП-11	1×100	Скважина №11	70,5	0,705
Всего	11×100	11 объектов	728,1	-

Таким образом, в результате проведения анализа исходных технических данных ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан установлено следующее:

- в системе электроснабжения объекта исследования находятся одиннадцать однострансформаторных ТП-10/0,4 кВ с трансформатором ТМ-100/10 на каждой из подстанций;
- каждая ТП-10/0,4 кВ питает свой объект (скважину);
- значение фактического коэффициента загрузки трансформаторов всех ТП-10/0,4 кВ находится в допустимом диапазоне (0,602-0,705 о.е.).

Описанная в работе исходная схема системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики представлена на графическом листе 2.

1.2 Обоснование необходимости внесения изменений в существующую схему объекта

Ранее в работе было определено, что схема электрической сети системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан включает питающую и распределительную сеть 10 кВ.

В результате проведённого анализа состояния схемы и оборудования электрической сети фабрики, «установлено, что схема распределительной сети 10 кВ объекта проектирования не отвечает требованиям нормативных документов по условию надёжности» [11].

Согласно исходным техническим данным на выполнение работы, установлено, что рассматриваемая система внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики относится к потребителям II категории надёжности, следовательно, требует двух независимых источников питания (резервирования) согласно [11].

Однако в схеме распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения объекта исследования такое резервирование отсутствует, так как для питания всех ТП-10/0,4 кВ скважин от РП-10 кВ применяются две магистральные линии М1 и М2 без резервирования, что является недопустимым для питания потребителей II категории надёжности, к которым относится также система внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики [11].

Таким образом, далее в работе необходимо выбрать и предложить такое схемное решение для применения в распределительной сети 10 кВ, которое максимально отвечало бы параметрам надёжности с одной стороны и экономичности – с другой.

Следовательно, внесение соответствующих изменений в схему распределительной сети 10 кВ объекта исследования, обосновано.

Ещё одной основной задачей является реконструкция системы релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) электрической сети напряжением 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, предполагающая замену устаревших реле на современные системы РЗА [1].

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения раздела, решена первая основная задача работы, которая предусматривала детальный анализ объекта исследования с постановкой проблем и последующим обоснованием их решения. Приведена характеристика схемы и оборудования электрической сети системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Составлена и охарактеризована структурная схема электрической сети системы внешнего водоснабжения объекта исследования.

В результате проведения анализа исходных технических данных ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан установлено следующее:

- в системе электроснабжения объекта исследования находятся одиннадцать однострансформаторных ТП-10/0,4 кВ с трансформатором ТМ-100/10 на каждой из подстанций;
- каждая ТП-10/0,4 кВ питает свой объект (скважину);
- значение фактического коэффициента загрузки трансформаторов всех ТП-10/0,4 кВ находится в допустимом диапазоне (0,602-0,705 о.е.).

В результате проведённого анализа состояния схемы и оборудования электрической сети фабрики, установлено, что схема распределительной сети 10 кВ объекта проектирования не отвечает требованиям нормативных документов по условию надёжности.

Согласно исходным техническим данным на выполнение работы, установлено, что рассматриваемая система внешнего водоснабжения медной

обогащительной фабрики относится к потребителям II категории надёжности, следовательно, требует двух независимых источников питания (резервирования). Однако в схеме распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения объекта исследования такое резервирование отсутствует, так как для питания всех ТП-10/0,4 кВ скважин от РП-10 кВ применяются две магистральные линии М1 и М2 без резервирования, что является недопустимым для питания потребителей II категории надёжности, к которым относится также система внешнего водоснабжения медной обогащительной фабрики. Таким образом, далее в работе необходимо выбрать и предложить такое схемное решение для применения в распределительной сети 10 кВ, которое максимально отвечало бы параметрам надёжности с одной стороны и экономичности – с другой (вторая основная задача).

Следовательно, внесение соответствующих изменений в схему распределительной сети 10 кВ объекта исследования, обосновано.

Установлено, что третьей основной задачей является реконструкция системы релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) электрической сети напряжением 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогащительной фабрики Республики Узбекистан, предполагающая замену устаревших реле на современные системы РЗА.

Приведённые мероприятия позволят значительно повысить параметры и показатели надёжности, безопасности и экономичности.

2 Реконструкция электрической части системы внешнего водоснабжения объекта

2.1 Выбор схемных решений для реконструкции распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения

Ранее в работе было установлено, что схема распределительной сети 10 кВ объекта исследования (две магистрали без резервирования) не соответствует требованиям нормативных документов по критериям надёжности.

Далее в работе необходимо выбрать и предложить такое схемное решение для применения в распределительной сети 10 кВ, которое максимально отвечало бы параметрам надёжности с одной стороны и экономичности – с другой.

При этом обеспечения необходимого уровня резервирования в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан (II категория надёжности) можно добиться следующими способами:

- полным изменением «схемы с магистральной на радиальную с питанием от РП-10 кВ;
- применением магистральной схемы с резервированием (с двухсторонним питанием) на стороне 10 кВ с питанием от РП-10 кВ;
- применением магистральной схемы с резервированием (с двухсторонним питанием)» [11] на стороне 0,4 кВ между соседними ТП-10/0,4 кВ.

Результаты сравнительного выбора наиболее рациональной схемы распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан после реконструкции приведены в таблице 2.

При этом основные критерии сравнения – достаточная надёжность при наименьших экономических вложениях.

Таблица 2 – «Результаты сравнительного выбора наиболее рациональной схемы распределительной сети 10 кВ системы» [11] внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан после реконструкции

Наименование схемного решения	Особенности схемного решения	Критерий надёжности	Критерий экономичности
Радиальная схема	Предполагает питание каждой ТП-10/0,4 кВ отдельной линией от РП-10 кВ	Надёжная, удовлетворяет требованиям для питания потребителей объекта	Самое неэкономичное решение, предполагающее значительные капиталовложения в сооружение 11 новых линий 10 кВ, а также значительного расширения РП-10 кВ (7 новых ячеек)
«Магистральная схема с двухсторонним питанием и резервированием на стороне 10 кВ» [11]	Предполагает сооружением двух резервных магистралей 10 кВ при их питании от РП-10 кВ	Надёжная, удовлетворяет требованиям для питания потребителей объекта	Из всех схемных решений – наиболее экономичная
Магистральная схема с резервированием на стороне 0,38/0,22 кВ	Предполагает сооружением парных резервных магистралей (перемычек) на напряжении 0,38/0,22 кВ при их питании от шин 0,4 кВ ТП-10/0,4 кВ скважин	Надёжная, удовлетворяет требованиям для питания потребителей объекта (при определённых условиях)	Неэкономичное решение, предполагающее сооружение минимум 5 новых линий 0,38/0,22 кВ, а также расширения РУ-0,4 кВ всех 11 ТП-10/0,4 кВ скважин

Таким образом, на основании сравнительного анализа предлагаемых схемных решений, обеспечивающих необходимый и достаточный уровень резервирования в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, предлагается принять магистральную схему с резервированием (с двухсторонним питанием) на стороне 10 кВ с обеспечением питанием от РП-10 кВ [19].

2.2 Расчёт электрических нагрузок

Проводится расчёт электрических нагрузок системы внешнего водоснабжения рассматриваемой медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Данный расчёт состоит из двух этапов:

- на первом этапе предполагается расчёт электрических нагрузок всех скважин объекта исследования;
- второй этап предусматривает расчёт электрических нагрузок двух основных и двух новых (резервных) магистралей для питания ТП-10/0,4 кВ скважин.

Известно, что нагрузка скважин определяется нагрузкой ТП-10/0,4 кВ, которые их питают.

Поэтому расчётная активная нагрузка каждой скважины принимается равной фактической максимальной нагрузке ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан по формуле [5]:

$$P_p = P_\phi, \text{кВт}, \quad (1)$$

где P_ϕ – значение фактической максимальной нагрузке ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

«Расчётная реактивная нагрузка скважин» [5]:

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi, \quad (2)$$

где « $\text{tg}\varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [5].

Расчётная полная нагрузка скважин [5]:

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

Расчётный ток скважин [5]:

$$I_{p.} = \frac{S_{p.}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.}}, \quad (4)$$

где $U_{н.}$ – номинальное напряжение, кВ.

Расчёт электрических нагрузок скважин проводится на примере скважины №1, которую питает ТП-1.

По условию (1):

$$P_{p.} = 68,5 \text{ кВт.}$$

По условию (2):

$$Q_{p.} = 68,5 \cdot 0,33 = 22,6 \text{ квар.}$$

По условию (3):

$$S_{p.} = \sqrt{68,5^2 + 22,6^2} = 72,1 \text{ кВА.}$$

По условию (4):

$$I_{p.} = \frac{72,1}{\sqrt{3} \cdot 10} = 4,2 \text{ А.}$$

Аналогично проведён расчёт электрических нагрузок остальных скважин с предоставлением результатов в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты расчёта электрических нагрузок скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование скважины	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Скважина №1	68,5	22,6	72,1	4,2
Скважина №2	60,2	19,9	63,4	3,7
Скважина №3	65,4	21,6	68,9	4,0
Скважина №4	64,5	21,3	67,9	3,9
Скважина №5	69,7	23,0	73,4	4,2
Скважина №6	63,2	20,9	66,6	3,8
Скважина №7	60,6	20,0	63,8	3,7
Скважина №8	65,5	21,5	68,9	4,0
Скважина №9	69,8	23,0	73,5	4,2
Скважина №10	70,2	23,2	73,9	4,3
Скважина №11	70,5	23,3	74,2	4,3
Всего	728,1	240,3	766,7	44,3

Второй этап предусматривает расчёт электрических нагрузок двух основных и двух новых (резервных) магистралей для питания ТП-10/0,4 кВ скважин.

От первой магистрали М1 получают питание следующие ТП-10/0,4 кВ скважин: 4-6-10-8-7-11, от второй магистрали М2 – подстанции 3-2-1-5-9.

Поэтому расчёт для двух данных магистралей М1 и М2 необходимо проводить отдельно.

Расчётная активная нагрузка каждой магистрали принимается равной сумме расчётных активных нагрузок ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, с учётом одновременности максимума нагрузок по формуле:

$$P_{.м.} = K_o \cdot \sum_{i=1}^n P_{p., кВт.} \quad (5)$$

где « K_o – коэффициент одновременности максимума нагрузок, о.е.» [7].

«Расчётная реактивная нагрузка магистрали» [7]:

$$Q_{м.} = K_o \cdot \sum_{i=1}^n Q_{p.,квар.} \quad (6)$$

где « $tg\varphi$ – значение коэффициента реактивной мощности, о.е.» [7]

«Расчётная полная нагрузка магистрали» [7]:

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

Расчётный ток магистрали [7]:

$$I_{м.} = \frac{S_{м.}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.}} \quad (8)$$

Расчёт электрических нагрузок скважин проводится на примере магистрали М1.

По условию (5):

$$P_{м.} = 0,8 \cdot (64,5 + 63,2 + 60,6 + 65,5 + 70,2 + 70,5) = 315,6 \text{ кВт.}$$

По условию (6):

$$Q_{м.} = 0,8 \cdot (21,3 + 20,9 + 20,0 + 21,5 + 23,2 + 23,3) = 104,2 \text{ квар.}$$

По условию (7):

$$S_{м.} = \sqrt{315,6^2 + 104,2^2} = 332,3 \text{ кВА.}$$

По условию (8):

$$I_{м.} = \frac{332,2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 19,2 \text{ А.}$$

Аналогично в работе проведён расчёт электрических нагрузок второй основной магистрали М2, секций сборных шин РП-10 кВ, а также всей системы электроснабжения объекта, с предоставлением результатов в форме таблицы 4.

Нагрузка резервных магистралей 10 кВ М3 и М4 принимается равной нагрузке основных магистралей, которые они резервируют.

Таблица 4 – Результаты расчёта электрических нагрузок магистралей системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование магистрали	P_p , кВт	Q_p , квар	S_p , кВА	I_p , А
Основные магистрали				
Магистраль М1	315,6	104,2	332,3	19,2
Магистраль М2	266,9	88,1	281,1	16,2
Резервные магистрали				
Магистраль М3	315,6	104,2	332,3	19,2
Магистраль М4	266,9	88,1	281,1	16,2
Секции сборных шин РП-10 кВ (максимальная нагрузка без резервирования)				
СШ1	582,5	192,3	613,2	35,4
СШ2	582,5	192,3	613,2	35,4
Всего по РП-10 кВ	1165,0	384,6	1226,8	70,9

Таким образом, в результате проведения расчёта электрических нагрузок, в работе рассчитаны следующие их значения:

- расчётные нагрузки отдельных скважин;
- расчётные нагрузки основных магистралей М1 и М2;
- расчётные нагрузки резервных магистралей М3 и М4;
- расчётные нагрузки секций сборных шин РП-10 кВ (максимальная нагрузка с резервированием);
- расчётные нагрузки РП-10 кВ (максимальная нагрузка с резервированием).

2.3 Проверка силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ скважин

Далее в работе «проводится проверка числа и мощности силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Известно, что проверка трансформаторов ТП-10/0,4 кВ осуществляется по их загрузке активной нагрузкой» [5].

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

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_p}{N \cdot \beta_t}, \quad (9)$$

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

P_p – значение расчетной активной нагрузки скважин, питающихся от данной ТП-10/0,4 кВ, кВт;

N – количество силовых трансформаторов ТП-10/0,4 кВ скважин, шт.;

β_t – нормируемый коэффициент загрузки силового трансформатора данной ТП-10/0,4 кВ скважины» [13].

На всех ТП установлены по одному силовому трансформатору марки ТМ-100/10.

В работе проводится проверка всех одиннадцати ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

На примере ТП-1 скважины №1 по условию (9):

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{68,5}{1 \cdot 0,9} = 76,1 \text{ кВА.}$$

Исходя из полученного результата расчёта, на ТП-1 скважины №1 системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан подтверждается рациональность выбора силового трансформатора марки ТМ-100/10 номинальной мощностью 100 кВА.

На остальных ТП-10/0,4 кВ проверка силовых трансформаторов выполнена аналогично с приведением полученных результатов в форме таблицы 5.

При этом, так как на всех ТП-10/0,4 кВ скважин установлено по одному трансформатору, проверка на допустимую перегрузку в послеаварийном режиме не проводится (в схеме предполагается резервирование группы ТП-10/0,4 кВ резервными магистралями на напряжении 10 кВ).

Таблица 5 – Результаты проверки силовых трансформаторов, установленных на ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование скважины	Наименование ТП-10/0,4 кВ	P_p , кВт	$S_{\text{ном.т.р}}$, кВА	Марка и количество трансформаторов на ТП-10/0,4 кВ, $n \times S_{\text{ном.т.}}$, кВА
Скважина №1	ТП-1	68,5	76,1	1×100
Скважина №2	ТП-2	60,2	66,9	1×100
Скважина №3	ТП-3	65,4	72,7	1×100
Скважина №4	ТП-4	64,5	71,7	1×100
Скважина №5	ТП-5	69,7	77,4	1×100
Скважина №6	ТП-6	63,2	70,2	1×100
Скважина №7	ТП-7	60,6	67,3	1×100
Скважина №8	ТП-8	65,5	72,7	1×100
Скважина №9	ТП-9	69,8	77,5	1×100
Скважина №10	ТП-10	70,2	78,0	1×100
Скважина №11	ТП-11	70,5	78,3	1×100

«В результате проведения проверки силовых трансформаторов, установленных на ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, установлено, что все силовые трансформаторы марки ТМ-100/10» [5], находящиеся на указанных подстанциях, обеспечат надёжную работу оборудования скважин объекта исследования.

2.4 Выбор и проверка проводников магистралей 10 кВ

В работе проводится проверка сечения проводников на существующих магистралях 10 кВ М1 и М2 распределительной сети 10 кВ, а также выбор проводников для применения на резервных магистралях М3 и М4 в результате проведения реконструкции системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Основой для выбора и проверки проводников в работе являются значения расчётных электрических нагрузок, полученных в работе ранее и приведённых в таблице 3.

На существующих магистралях используются следующие марки проводников распределительной сети 10 кВ:

- на магистрали М1 – провод марки АС-50/8 (суммарная длина – 8 км);
- на магистрали М2 – провод марки АС-50/8 (суммарная длина – 6 км).

Исходя из экономических соображений, на данных магистралях предлагается проверить данные проводники без их замены.

На новых резервных магистралях М3 и М4 распределительной сети 10 кВ предлагается принять к установке современные провода марки СИП-3.

Известно, что такие проводники обладают следующими особенностями [12]:

- высокая надёжность;
- безопасность применения;
- меньшее значение потерь мощности;
- большая пропускная способность;
- удобство монтажа, ремонта и обслуживания.

Монтаж таких проводников проводится специальными приспособлениями на существующих опорах, что значительно минимизирует расходы и ускоряет процесс проведения электромонтажных работ.

Таким образом, выбор проводников марки СИП-3 для применения на новых магистралях, обоснован.

«Известно, что выбор сечений воздушных линий электропередачи напряжением выше 1 кВ осуществляется по экономической плотности тока по известному выражению» [14]

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{м}}}{j_{\text{э}}}, \quad (10)$$

где $I_{\text{м}}$ – «рабочий ток нормального режима магистрали, А;
 $j_{\text{э}}$ – экономически выгодная плотность тока, А/мм²» [11].

«Значение расчётного максимального тока послеаварийного режима для магистральной линии с учётом резервирования» [14]

$$I_{\text{м.макс}} = 1,4 \cdot I_{\text{м}}. \quad (11)$$

«Выбранное сечение магистральной линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева рабочим током нормального режима работы» [14]:

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{м}}, \quad (12)$$

где $I_{\text{дон}}$ – «значение длительно – допустимого тока выбранного проводника стандартного сечения, А» [14].

«Также выбранное сечение магистральной линии электропередачи необходимо проверить по условию нагрева максимальным током в послеаварийном режиме работы» [14]

$$I_{\text{дон}} \geq I_{\text{м.макс}}, \quad (13)$$

«Выбранные сечения проводников магистралей, с учётом их суммарной длины, необходимо проверить на допустимую потерю

напряжения. Известно, что потери напряжения в магистральных линиях распределительной сети не должны превышать 5%» [11]:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_m \cdot L(R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi) \cdot 100}{n \cdot U_n}, \% \leq 5\%, \quad (14)$$

где L – суммарная длина магистрали, км;

R_0, X_0 – соответственно, удельные активное и индуктивное сопротивления провода, использованного на магистрали, Ом/км.

Также воздушные линии магистралей 10 кВ необходимо проверить по минимальному сечению (по условиям механической прочности), с учётом района по гололёду и ветру [11]:

$$S_{ст} \geq S_{мин}, \quad (15)$$

где $S_{ст}$ и $S_{мин}$ – соответственно стандартное и минимальное сечение проводника определённого класса напряжения и способа монтажа для данных климатических условий.

Известно, что для климатических условий Республики Узбекистан минимальное сечение проводников воздушных линий электропередачи принято равным 25 мм².

Проводится проверка сечения провода первой основной магистрали М1 системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

По условию (10):

$$F_9 = \frac{19,2}{1,1} = 17,5 \text{ мм}^2.$$

Расчётное сечение магистрального провода меньше сечения провода, применяемого на данной магистрали ($50 \text{ мм}^2 \geq 17,5 \text{ мм}^2$), следовательно, для дальнейших расчётов принимается существующее сечение провода АС, равное 50 мм^2 .

По условию (11):

$$I_{\text{м.макс}} = 1,4 \cdot 19,2 = 26,9 \text{ А.}$$

По условию (12):

$$210 \text{ А} \geq 19,2 \text{ А.}$$

По условию (13):

$$210 \text{ А} \geq 26,9 \text{ А.}$$

По условию (14):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 19,2 \cdot 8 \cdot (0,592 \cdot 0,94 + 0,4 \cdot 0,34) \cdot 100}{1 \cdot 10000} = 1,8\% \leq 5\%.$$

По условию (15):

$$50 \text{ мм}^2 \geq 25 \text{ мм}^2.$$

«Исходя из полученных результатов, установлено, что проверка существующего сечения провода магистрали М1 в нормальном и послеаварийном режимах, а также по допустимой потере напряжения и механическим условиям, выполняется» [11].

Таким образом, в работе расчётным путём подтверждено существующее сечение провода марки АС-50/8 для применения на магистрали М1.

«Результаты выбора и проверки сечения магистральных проводников распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан» [4] приведены в форме таблицы 6.

Таблица 6 – «Результаты выбора и проверки сечения магистральных проводников распределительной сети 10 кВ системы» [4] внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование магистрали	S_p , кВА	I_m , А	$I_{m.макс}$, А	$F_{э}$, мм	Марка провода магистрали	$I_{доп}$, А	ΔU , %
Основные магистрали (существующие)							
Магистраль М1	332,3	19,2	26,9	17,5	АС-50/8	210,0	1,80
Магистраль М2	281,1	16,2	22,7	14,7	АС-50/8	210,0	1,65
Резервные магистрали (новые)							
Магистраль М3	332,3	19,2	26,9	17,5	СИП-3 1×25	155,0	2,12
Магистраль М4	281,1	16,2	22,7	14,7	СИП-3 1×25	155,0	2,02

Таким образом, в результате выбора и проверки сечения магистральных проводников распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, получены следующие результаты:

- расчётным путём подтверждены сечения проводников марки АС-50/8 на основных магистралях М1 и М2;
- выбраны и проверены проводники марки СИП-3 1×25 для применения на новых резервных магистралях М3 и М4.

Все проводники основных и резервных магистралей распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан показаны на графическом листе 3 (схема после реконструкции объекта исследования).

Также узлы монтажа проводников СИП-3 1×25 новых резервных магистралей показаны на графическом листе 5.

2.5 Расчёт токов короткого замыкания

«Для расчёта токов короткого замыкания (далее – КЗ) в рассматриваемой распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, по принятой в работе схеме электроснабжения (графический лист 3) составляется схема замещения для данного участка электрической сети» [16], приведённая на рисунке 2.

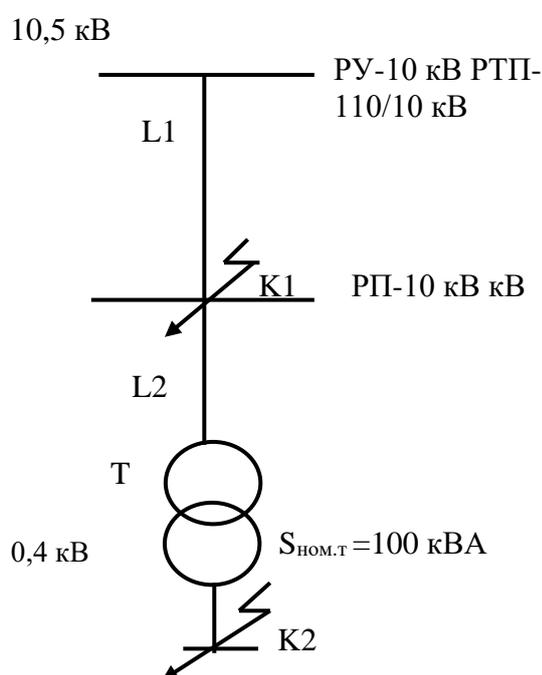


Рисунок 2 – «Исходная расчётная схема для расчёта токов КЗ в распределительной сети 10 кВ» [16] системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

В расчётной схеме рисунка 2 присутствуют следующие основные элементы:

- шины РУ-10 кВ РТП-110/10 кВ;
- шины РП-10 кВ;
- силовой трансформатор ТП-10/0,4 кВ скважин.

Связь между данными элементами осуществляется двумя воздушными линиями электропередачи $L1$ (провод марки АС-70/11, длина – 2,5 км) и $L2$ (провод марки АС-50/8, длина – 8 км).

Задачей расчёта токов КЗ в схеме рассматриваемой распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, «является определение трёхфазных токов короткого замыкания и ударных токов в следующих расчётных точках:

- точка К1 – точка КЗ в сети 10 кВ на шинах РП-10 кВ;
- точка К2» [16] – точка КЗ в сети 0,4 кВ на выводах силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ скважин.

Схема замещения для расчёта токов КЗ в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, представлена на рисунке 3.

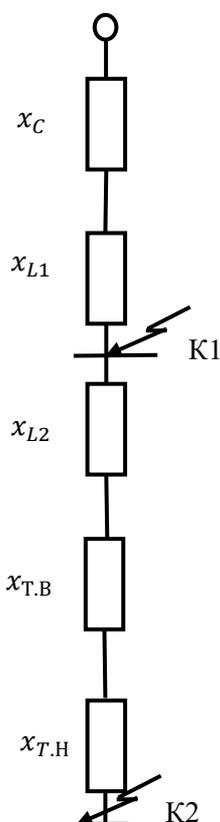


Рисунок 3 – Схема замещения для расчёта токов КЗ в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

«Выбираются базисные условия» [16]:

$$S_{\bar{o}} = 100 \text{ МВА.}$$

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

«Базисный ток» [16]:

$$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{\sqrt{3}U_{\bar{o}}}. \quad (16)$$

$$I_{\bar{o}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 5,67 \text{ кА.}$$

«Сопротивление энергосистемы» [16]:

$$X_c = X_{PY-10} \cdot \frac{S_{\bar{o}}}{S_{\bar{o}c}}. \quad (17)$$

$$X_C = 1,6 \cdot \frac{100}{100} = 1,6 \text{ Ом.}$$

Сопротивление воздушных линий 10 кВ определяется с учётом удельного сопротивления их проводов и длины:

$$X_L = X_0 \cdot L, \text{ Ом.} \quad (18)$$

Сопротивление воздушной линии 10 кВ $L1$, питающей РП-10 кВ от шин РУ-10 кВ РТП-110/10 кВ (провод марки АС-70/11, длина линии 2,5 км):

$$X_{L1} = 0,405 \cdot 2,5 = 1,01 \text{ Ом.}$$

Сопrotивление воздушной линии 10 кВ L_2 , питающей ТП-10/0,4 кВ скважины от шин РП-10 кВ (провод марки СИП-3 1×25, длина линии 8 км):

$$X_{L_2} = 0,68 \cdot 8 = 5,44 \text{ Ом.}$$

Сопrotивление силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ скважин при приведении к базисным условиям:

– обмотки ВН (10 кВ):

$$X_{T.B} = \frac{0,125 \cdot U_{\kappa} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.м.}} \quad (19)$$

$$X_{T.B} = \frac{0,125 \cdot 4,5 \cdot 100}{100 \cdot 0,1} = 5,63 \text{ Ом.}$$

– обмотки НН (0,4 кВ):

$$X_{T.H.} = \frac{1,75 \cdot U_{\kappa} \cdot S_{\sigma}}{100 \cdot S_{н.м.}} \quad (20)$$

$$X_{T.H.} = \frac{1,75 \cdot 4,5 \cdot 100}{100 \cdot 0,1} = 78,75 \text{ Ом.}$$

«Расчёт тока трёхфазного КЗ в точке К1 в именованных единицах при приведении к базисным условиям» [16]:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{E_c}{x_C + x_{L1}} \cdot I_{\sigma}, \text{ А,} \quad (21)$$

где « E_c – сверхпереходная ЭДС энергосистемы ($E_c=1$);

x_C – сопротивление системы, Ом;

x_{L1} – сопротивление питающей линии $L1$, Ом» [16].

Тогда расчётное значение тока трёхфазного КЗ в точке К1:

$$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{1}{1,6 + 1,01} \cdot 5,67 = 2,17 \text{ кА.}$$

Расчёт тока трёхфазного КЗ в точке К2 в именованных единицах при приведении к базисным условиям и с учётом трансформации напряжения на стороне 0,4 кВ трансформатора ТП-10/0,4 кВ скважин:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{E_c}{x_C + x_{L1} + x_{L2} + x_{T.B} + x_{T.H}} \cdot I_{\bar{o}} \cdot K_m, \text{ А,} \quad (22)$$

где K_m – коэффициент трансформации силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ скважин.

Для точки К2:

$$I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{1}{1,6 + 1,01 + 5,44 + 5,63 + 78,75} \cdot 5,67 \cdot \frac{10,5}{0,4} = 1,61 \text{ кА.}$$

«Значение ударного тока трёхфазного КЗ» [16]:

$$i_{y.K.i} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_{K.i}^{(3)}, \text{ кА,} \quad (23)$$

где « K_y – ударный коэффициент трёхфазного тока КЗ» [16].

Значение ударного тока в расчётной точке схемы К1 по (23):

$$i_{y.K.1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 2,17 = 4,3 \text{ кА.}$$

Значение ударного тока в расчётной точке схемы К2 по (23):

$$i_{y.k.2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,61 = 2,28 \text{ кА.}$$

Результаты расчёта токов КЗ в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан представлены в форме таблицы 7.

Таблица 7 – Результаты расчёта токов КЗ в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Точка КЗ	Результаты расчёта				
	$U_{\sigma}, \text{кВ}$	$I_{\sigma}, \text{кА}$	$I_{k3}^{(3)}, \text{кА}$	$k_{\nu\sigma}, \text{кА}$	$i_{\nu\sigma}, \text{кА}$
К1	10,5	5,67	2,17	1,4	4,30
К2	0,4	144,3	1,61	1,0	2,28

Результаты расчёта токов КЗ и ударных токов используются в работе далее при выборе и проверке электрических аппаратов.

2.6 Выбор и проверка электрических аппаратов

Проводится проверка электрических аппаратов, необходимых для защиты и коммутации распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

После внесения изменений в исходную схему электроснабжения объекта, заключающуюся во вводе в эксплуатацию двух резервных магистральных линий 10 кВ с целью обеспечения резервирования в распределительной сети, в работе необходимо проверить следующие электрические аппараты, установленные в РП-10 кВ, на соответствие новым расчётным условиям:

- выключатели ввода (2 единицы), секционный выключатель и выключатели линейные (4 единицы, включая нагрузку двух новых магистралей);
- трансформаторы тока (на всех перечисленных присоединениях);

- ограничители перенапряжения (на всех перечисленных присоединениях, кроме вводных ячеек).

Кроме того, на вводах 10 кВ к каждой ТП-10/0,4 кВ скважин, необходимо проверить разъединители, которые там установлены (для обеспечения условий безопасности путём образования «видимого разрыва» электрической цепи при выполнении монтажных, ремонтных и эксплуатационных работ).

Самыми ответственными коммутационными и защитными аппаратами являются выключатели высокого напряжения. Они коммутируют и защищают распределительную сеть 10 кВ от аварий, включая все существующие присоединения: вводные, секционное и линейные (с учётом двух новых магистралей, которые питаются от бывших незадействованных ячеек РП-10 кВ). Кроме того, секционный выключатель, установленный между секциями сборных шин на РП-10 кВ, обеспечивает резервирование путём автоматического включения и питания.

Далее в работе приводятся расчётные формулы для выбора выключателей высокого напряжения на объекте исследования.

«Выбор выключателей высокого напряжения производится, исходя из следующих условий:

- по номинальному напряжению» [8]:

$$U_{уст} \leq U_n. \quad (24)$$

где « $U_{уст}$, $U_{ном}$ – соответственно напряжения установки и номинальное напряжение выключателя» [8];

- «по максимальному рабочему току» [8]:

$$I_{раб.макс} \leq I_n. \quad (25)$$

где « $I_{\text{раб.макс}}$, I_n – соответственно, максимальный рабочий ток ПАВ режима электроустановки и номинальное значение тока выключателя» [8];

– «проверка выключателя на симметричный ток отключения» [8]:

$$I_{n\tau} \leq I_{\text{откн.н}} \quad (26)$$

где « $I_{n\tau}$ – значение периодической составляющей тока короткого замыкания в момент начала расхождения дугогасительных контактов;

$I_{\text{откн.н}}$ – номинальный ток отключения выключателя, кА» [8];

– «проверка выключателя на отключение асимметричного тока» [8]:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{n\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{\text{откн.н}} \cdot (1 + \beta_n), \quad (27)$$

где « $i_{a\tau}$ – значение аperiodической составляющей тока короткого замыкания в момент расхождения контактов;

β_n – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе КЗ;

τ – наименьшее время от начала короткого замыкания до момента расхождения дугогасительных контактов, определяется так» [8]:

$$t = t_{z.\text{мин}} + t_{c.в}, \quad (28)$$

где « $t_{z.\text{мин}}$ – минимальное время действия релейной защиты, с;

$t_{c.в}$ – собственное время отключения выключателя, с» [8];

– «на электродинамическую устойчивость выбранный выключатель проверяется по значению предельного сквозного тока КЗ» [8]:

$$i_y \leq i_{np.c}, \quad (29)$$

где « $i_{np.c}$ – действующее значение предельного сквозного тока КЗ;

i_y – ударный ток короткого замыкания в цепи выключателя» [8];

– «проверка выключателя на термическую стойкость по значению теплового импульса» [8]:

$$B_k \leq I_T^2 t_T, \quad (30)$$

где « B_k – тепловой импульс по расчёту, $A^2 \cdot c$;

I_T – предельный ток термической устойчивости, $A^2 \cdot c$;

t_T – длительность протекания тока устойчивости, c » [8].

«При этом тепловой импульс с учётом токов короткого замыкания и отключения цепи» [8]:

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a). \quad (31)$$

Для защиты и коммутации вводных, секционных и линейных присоединений, применяются современные высоковольтные вакуумные выключатели напряжением 10 кВ марки РИМ ВВ-10-20/1000-У2-120 – 7 единиц.

Известно, что такие выключатели – новые и современные, поэтому их замена нецелесообразна [2], [15]. Для выбора и проверки всех аппаратов используются данные расчётных нагрузок и токов короткого замыкания, полученные в работе ранее.

«Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан» [4], представлены в таблице 8.

Таблица 8 – «Сводные результаты выбора и проверки высоковольтных выключателей в распределительной сети 10 кВ системы» [4] внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Выключатели вакуумные 10 кВ марки РиМ ВВ-10-20/1000-У2-120 (вводные присоединения РП-10 кВ)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 70,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 2,17 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,17^2 \cdot 3 = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Выключатели вакуумные 10 кВ марки РиМ ВВ-10-20/1000-У2-120 (секционное присоединение РП-10 кВ)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 35,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 2,17 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,17^2 \cdot 3 = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Выключатели вакуумные 10 кВ марки РиМ ВВ-10-20/1000-У2-120 (линейные присоединения РП-10 кВ – магистрали М1 и М3)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 19,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 2,17 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,17^2 \cdot 3 = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Выключатели вакуумные 10 кВ марки РиМ ВВ-10-20/1000-У2-120 (линейные присоединения РП-10 кВ – магистрали М2 и М4)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 16,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 1000 \text{ А}$
	$I_{н.т} \leq I_{отк.ном}$	$I_{н.т} = 2,17 \text{ кА}$	$I_{отк.ном} = 20 \text{ кА}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,17^2 \cdot 3 = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Далее проводится проверка трансформаторов тока для установки на тех же присоединениях РП-10 кВ (вместе с выключателями). Для трансформаторов тока необходимо выбрать ближайший первичный ток аппарата, с целью улучшения показателей его работы.

«Сводные результаты выбора и проверки трансформаторов тока в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан» [16], представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Сводные результаты выбора и проверки трансформаторов тока в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛК-10 (вводные присоединения РП-10 кВ)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 70,9 \text{ А}$	$I_{ном} = 75 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,17^2 \cdot 3 = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛК-10 (секционное присоединение РП-10 кВ)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 35,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 40 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,17^2 \cdot 3 = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛК-10 (линейные присоединения РП-10 кВ – магистрали М1 и М3)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 19,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 20 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$
Трансформаторы тока 10 кВ марки ТЛК-10 (линейные присоединения РП-10 кВ – магистрали М2 и М4)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 16,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 20 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 20 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,17^2 \cdot 3 = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 20^2 \cdot 3 = 1200 \text{ кА}^2\text{с}$

Таким образом, в результате выбора и проверки трансформаторов тока (далее – ТТ) в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики, расчётным путём

подтверждена целесообразность дальнейшего применения ТТ марки ТЛК-10, установленных на РП-10 кВ.

Проводится проверка ограничителей перенапряжения на соответствие установке в электрической распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан. Ограничители перенапряжения (далее – ОПН), согласно схеме, устанавливаются на всех присоединениях, кроме вводных (они защищаются ОПН, установленные в РУ-10 кВ питающей РТП-110/10 кВ), а также на секционном присоединении (оно является внутренним присоединением и его защита обеспечивается наличием ОПН на линейных присоединениях РП-10 кВ).

«Сводные результаты выбора и проверки ограничителей перенапряжения в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики» [16], представлены в таблице 10.

Таблица 10 – «Сводные результаты выбора и проверки ограничителей перенапряжения в распределительной сети 10 кВ системы» [16] внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Ограничители перенапряжения марки ОПНп 10/12/10/400 (линейные присоединения РП-10 кВ – магистрали М1 и М3)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 19,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 12 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 12^2 \cdot 3 = 432 \text{ кА}^2\text{с}$
Ограничители перенапряжения марки ОПНп 10/12/10/400 (линейные присоединения РП-10 кВ – магистрали М2 и М4)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 16,2 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 12 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 2,17^2 \cdot 3 = 14,13 \text{ кА}^2\text{с}$	$B_K = 12^2 \cdot 3 = 432 \text{ кА}^2\text{с}$

Расчётным путём подтверждена целесообразность дальнейшего применения ОПН марки ОПНп 10/12/10/400, установленных на линейных присоединениях РП-10 кВ.

На вводах 10 кВ к каждой ТП-10/0,4 кВ скважин, необходимо проверить целесообразность установки разъединителей марки РЛНД-10/400.

Сводные результаты выбора и проверки разъединителей для коммутации ТП-10/0,4 кВ скважин распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики, представлены в таблице 11.

Так как на всех ТП-10/0,4 кВ скважин установлены трансформаторы марки ТМ-100/10, результаты выбора для всех таких подстанций будут одинаковы.

Таблица 11 – Сводные результаты выбора и проверки разъединителей для коммутации ТП-10/0,4 кВ скважин распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан

Наименование и место установки аппарата	Условие выбора	Расчетные данные сети	Паспортные технические данные
Разъединители РЛНД-10/400 (коммутация ТП-10/0,4 кВ магистралей скважин на стороне 10 кВ)	$U_{сети} \leq U_{ном}$	$U_{сети} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
	$I_{max} \leq I_{ном}$	$I_{max} = 8,09 \text{ А}$	$I_{ном} = 400 \text{ А}$
	$i_y \leq i_{дин.}$	$i_y = 4,30 \text{ кА}$	$i_{дин.} = 25 \text{ кА}$
	$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T$	$I_T^2 \cdot t_T = 14,13 \text{ кА}^2 \text{ с}$	$B_K = 25^2 \cdot 3 = 1875 \text{ кА}^2 \text{ с}$

Таким образом, в результате выбора и проверки разъединителей для коммутации ТП-10/0,4 кВ скважин распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, расчётным путём подтверждена целесообразность дальнейшего применения разъединителей марки РЛНД-10/400, установленных на стороне 10 кВ подстанций скважин объекта исследования.

При этом все выбранные аппараты показаны на схеме графического листа 3.

Выводы по разделу 2.

На основании сравнительного анализа предлагаемых схемных решений, обеспечивающих необходимый и достаточный уровень резервирования в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, предлагается принять магистральную схему с резервированием (с двухсторонним питанием) на стороне 10 кВ с питанием от РП-10 кВ.

В результате проведения расчёта электрических нагрузок, в работе рассчитаны следующие их значения:

- расчётные нагрузки отдельных скважин;
- расчётные нагрузки основных магистралей М1 и М2;
- расчётные нагрузки резервных магистралей М3 и М4;
- расчётные нагрузки секций сборных шин РП-10 кВ (максимальная нагрузка с резервированием);
- расчётные нагрузки РП-10 кВ (максимальная нагрузка с резервированием).

Установлено, что все силовые трансформаторы марки ТМ-100/10, находящиеся на указанных подстанциях, обеспечат надёжную работу оборудования скважин объекта исследования.

В результате выбора и проверки сечения магистральных проводников распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, получены следующие результаты:

- расчётным путём подтверждены сечения проводников марки АС-50/8 на основных магистралях М1 и М2;
- выбраны и проверены проводники марки СИП-3 1×25 для применения на новых резервных магистралях М3 и М4.

Решена задача расчёта токов КЗ в схеме рассматриваемой распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, которая заключалась в

определение трёхфазных токов короткого замыкания и ударных токов в следующих расчётных точках:

- точка К1 – точка КЗ в сети 10 кВ на шинах РП-10 кВ;
- точка К2 – точка КЗ в сети 0,4 кВ на выводах силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ скважин.

В результате выбора и проверки электрических коммутационных и защитных аппаратов в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики, расчётным путём подтверждена целесообразность дальнейшего применения вакуумных высоковольтных выключателей марки РиМ ВВ-10-20/1000-У2-120, трансформаторов тока марки ТЛК-10, а также ограничителей перенапряжения марки ОПНп 10/12/10/400, установленных на вводных, секционном и линейных присоединениях РП-10 кВ.

В результате выбора и проверки разъединителей для коммутации ТП-10/0,4 кВ скважин распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, расчётным путём подтверждена целесообразность дальнейшего применения разъединителей марки РЛНД-10/400, установленных на стороне 10 кВ подстанций скважин объекта исследования.

Таким образом, решена вторая основная задача работы, которая заключается в техническом обосновании предложенных мероприятий по реконструкции схемы распределительной электрической сети напряжением 10 кВ объекта исследования.

3 Реконструкция схемы релейной защиты системы внешнего водоснабжения объекта

3.1 Выбор современных типов и устройств релейной защиты для применения на объекте

Как было указано ранее, третья основная задача заключается в реализации мероприятий по реконструкции системы релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) электрической сети объекта исследования.

В связи с этим, проводится выбор современных типов и устройств релейной защиты для применения в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

В работе устройства РЗА устанавливаются на приводах выключателей высокого напряжения в РП-10 кВ.

Таким образом, необходимо обеспечить автоматическую защиту от ненормальных режимов работы следующих линий:

- вводные присоединения РП-10 кВ;
- линейные присоединения РП-10 кВ (магистральные линии для питания ТП-10/0,4 кВ скважин: М1 и М2 – основные магистрали, М3 и М4 – резервные магистрали);
- секционное присоединение РП-10 кВ.

«Известно, что на выключателях РП-10 кВ на вводных, линейных и секционных присоединениях, должны быть предусмотрены следующие виды защит:

- дифференциальная защита линий (ДЗЛ) – является основной РЗА линий и присоединений от внешних токов короткого замыкания, образует двухступенчатую защиту (вместе с МТЗ), устанавливается на всех присоединениях (вводных, линейных и секционных);

- максимальная токовая защита (МТЗ) – является основной защитой линий и присоединений от внутренних и внешних коротких замыканий, является вместе с ДЗЛ основной двухступенчатой защитой, перекрывая «мёртвую зону» ДЗЛ;
- защита от однофазных КЗ на землю (ЗОЗ) – защищает линии и присоединения от коротких замыканий на землю» [1].

«Кроме того, в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан (на выключателях РП-10 кВ), также необходимо предусмотреть установку автоматики» [1], которая способствует повышению надёжности, бесперебойности электроснабжения и эффективности работы СЭС.

Из устройств автоматики на выключателях РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики предусматриваются следующие типы:

- «устройство автоматического включения резерва (далее – АВР) – устанавливается на секционном выключателе РП-10 кВ;
- устройство автоматического повторного включения» [1] (далее – АПВ) – устанавливается на вводных и линейных присоединениях, так как к ним подключены воздушные линии электропередачи;
- устройство автоматической частотной разгрузки (далее – АЧР) – устанавливается на линейных выключателях основных магистралей.

Таким образом, в работе необходимо выбрать устройство РЗиА, которое будет обладать всеми вышеуказанными типами релейной защиты и автоматики.

Исходя из результатов анализа отечественных и зарубежных устройств РЗиА, для реализации поставленной задачи предлагается выбрать микропроцессорный блок релейной защиты серии УСО-I [17] (рисунок 4).



Рисунок 4 – «Внешний вид микропроцессорных блоков РЗиА унифицированной серии USC-I-11» [1]

«Такие блоки РЗиА серии USC-I марки имеют ряд существенных преимуществ:

- высокая надежность: блоки релейной защиты серии USC-I разрабатываются с учетом высокой степени надежности для обеспечения защиты силовых трансформаторов и линий от коротких замыканий, перегрузок и других аварийных режимов;
- быстродействие: блоки РЗиА серии USC-I способны быстро обнаруживать и реагировать на повреждения в электрических цепях силовых трансформаторов и линий, что позволяет предотвратить их повреждения оборудования и обеспечить безопасность работы всей энергосистемы;
- доступная ценовая категория, значительно меньшая стоимость, чем аналогичных продуктов других компаний;
- простота и удобство монтажа, ремонта и эксплуатации, доступный интерфейс, что упрощает их установку и обслуживание, а также настройку параметров и уставок срабатывания» [17].

Данные блоки принимаются в основе РЗиА СЭС объекта.

3.2 Расчёт уставок релейной защиты линий РП-10 кВ

Далее в работе необходимо провести непосредственный расчёт уставок релейной защиты выключателей вводных, линейных, а также секционного присоединения распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики.

Расчёт уставок проводится для устройства УСО-I, выбранного в работе ранее.

Для применения на объекте, выбирается двухступенчатая токовая защита, состоящая из ДЗЛ и МТЗ.

Для защиты от внешних ненормальных режимов, принимается ДЗЛ, которая «отстраивается» от максимальных рабочих токов всей системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики (с учётом резервирования).

ДЗЛ выступает в роли основной защиты системы электроснабжения. Она выполняется без выдержки времени срабатывания (защита мгновенного действия).

В качестве дополнительной защиты системы электроснабжения объекта, а также основной защиты на отходящих магистралях, принимается МТЗ. Такая защита срабатывает при возникновении ненормальных режимов во внутренней части схемы электроснабжения, а также на отходящих линиях. МТЗ выполняется с выдержкой времени, обеспечивая, таким образом, селективность системы РЗиА. Для защиты от однофазных замыканий на землю на всех линейных присоединениях устанавливается комплект ЗОЗ с постоянным током срабатывания, равным постоянному значению (1 А). Данная защита особенно важна для безопасности персонала [9].

«Ток срабатывания ДЗЛ» [1]:

$$I_{с.з} \geq K_n \cdot I_{раб.макс.}, \quad (32)$$

где « K_n – коэффициент надёжности ДЗЛ» [1].

«Коэффициент чувствительности ДЗЛ» [1]:

$$K_q = \frac{K_{cx}^{(k)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.}^{(3)}}{I_{с.з}} \geq 1,5. \quad (33)$$

Расчёт уставок ДЗЛ проводится на примере вводного присоединения к РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики (принимается максимальный расчётный ток всей системы сборных шин, а именно – двух секций РП-10 кВ):

$$I_{с.з} \geq 1,3 \cdot 70,9 = 92,17 \text{ A.}$$

$$K_q = \frac{1}{1} \cdot \frac{2170}{92,17} = 23,5 \geq 1,5.$$

«Выражение для выбора уставок МТЗ линий» [1]:

$$I_{с.з} \geq K_{отс} \cdot K_{сзн} \cdot I_{раб.макс}. \quad (34)$$

«Коэффициент чувствительности МТЗ» [1]:

$$K_q = \frac{K_{cx}^{(k)}}{K_{cx}^{(3)}} \cdot \frac{I_{к.}^{(3)}}{I_{с.з}} \geq 1,2, \quad (35)$$

Расчёт уставок МТЗ проводится на примере вводного присоединения к РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики (принимается максимальный расчётный ток одной секции сборных шин РП-10 кВ):

$$I_{с.з} \geq 1,05 \cdot 1,1 \cdot 35,4 = 40,89 \text{ A.}$$

$$K_{\text{ч}} = \frac{1}{1} \cdot \frac{2170}{40,89} = 53,07 \geq 1,2.$$

Расчёт уставок РЗиА остальных присоединений РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики проведён аналогично с приведением полученных результатов в форме таблицы 12.

Таблица 12 – Результаты выбора уставок РЗиА линейных присоединений РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики

Наименование линии	Тип РЗиА	$I_{\text{с.з.}}, \text{А}$	$t_{\text{с.з.}}, \text{с}$	Тип автоматики
Вводы РП-10 кВ	ДЗ	92,17	-	АПВ
	МТЗ	40,89	0,5	
	ЗОЗ	1,0	-	
Секционное присоединение 10 кВ	ДЗ	92,17	-	АВР
	МТЗ	40,89	1,0	
	ЗОЗ	1,0	-	
Магистраль М1	ДЗ	49,92	-	АПВ, АЧР
	МТЗ	22,18	1,5	
	ЗОЗ	1,0	-	
Магистраль М2	ДЗ	42,12	-	АПВ, АЧР
	МТЗ	18,71	1,5	
	ЗОЗ	1,0	-	
Магистраль М3	ДЗ	49,92	-	АПВ, АЧР
	МТЗ	22,18	1,5	
	ЗОЗ	1,0	-	
Магистраль М4	ДЗ	42,12	-	АПВ, АЧР
	МТЗ	18,71	1,5	
	ЗОЗ	1,0	-	

Таким образом, все линейные присоединения РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики, будут надёжно защищены от всех ненормальных режимов, а также будет повышена надёжность и бесперебойность электроснабжения за счёт применения устройств автоматики.

Следовательно, третья основная задача работы решена в полном объёме.

Выводы по разделу 3.

В работе решена третья основная задача, которая заключается в реализации мероприятий по реконструкции системы релейной защиты и автоматики электрической сети объекта исследования.

В связи с этим, проведён выбор современных типов и устройств релейной защиты для применения в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Исходя из результатов анализа отечественных и зарубежных устройств РЗА, для реализации поставленной задачи предложено выбрать микропроцессорный блок релейной защиты серии УСО-1, который обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с аналогичными продуктами.

Установлено, что на объекте исследования устройства РЗА устанавливаются на приводах выключателей высокого напряжения в РП-10 кВ. Таким образом, обеспечена автоматическая защита от ненормальных режимов работы следующих линий:

- вводные присоединения РП-10 кВ;
- линейные присоединения РП-10 кВ (магистральные линии для питания ТП-10/0,4 кВ скважин: М1 и М2 – основные магистрали, М3 и М4 – резервные магистрали);
- секционное присоединение РП-10 кВ.

Для обеспечения надёжной защиты указанных присоединений, для применения на объекте, выбрана двухступенчатая токовая защита, состоящая из ДЗЛ и МТЗ. Для защиты от внешних ненормальных режимов, принимается ДЗЛ, которая «отстраивается» от максимальных рабочих токов всей системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики (с учётом резервирования). ДЗЛ выступает в роли основной защиты системы электроснабжения. Она выполняется без выдержки времени срабатывания (защита мгновенного действия).

В качестве дополнительной защиты системы электроснабжения объекта, а также основной защиты на отходящих магистралях, принимается МТЗ. Такая защита срабатывает при возникновении ненормальных режимов во внутренней части схемы электроснабжения, а также на отходящих линиях. МТЗ выполняется с выдержкой времени, обеспечивая, таким образом, селективность системы РЗА.

Для защиты от однофазных замыканий на землю на всех линейных присоединениях устанавливается комплект ЗОЗ с постоянным током срабатывания, равным постоянному значению (1 А).

Расчитаны уставки всех указанных типов РЗА.

Из устройств автоматики на выключателях РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики предусматриваются следующие типы:

- устройство автоматического включения резерва (далее – АВР) – устанавливается на секционном выключателе РП-10 кВ;
- устройство автоматического повторного включения (далее – АПВ) – устанавливается на вводных и линейных присоединениях, так как к ним подключены воздушные линии электропередачи;
- устройство автоматической частотной разгрузки (далее – АЧР) – устанавливается на линейных выключателях основных магистралей.

Таким образом, все линейные присоединения РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики, будут надёжно защищены от всех ненормальных режимов, а также будет повышена надёжность и бесперебойность электроснабжения за счёт применения устройств автоматики. Третья основная задача работы решена в полном объёме.

Заключение

В работе проведена реконструкция распределительной электрической сети напряжением 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

В результате выполнения раздела, решена первая основная задача работы, которая предусматривала детальный анализ объекта исследования с постановкой проблем и последующим обоснованием их решения.

В связи с этим, в разделе приведена характеристика схемы и оборудования электрической сети системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Составлена и охарактеризована структурная схема электрической сети системы внешнего водоснабжения объекта исследования. Установлено, что такая схема включает питающую и распределительную сеть 10 кВ.

В результате проведения анализа исходных технических данных ТП-10/0,4 кВ скважин системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан установлено следующее:

- в системе электроснабжения объекта исследования находятся одиннадцать однотрансформаторных ТП-10/0,4 кВ с трансформатором ТМ-100/10 на каждой из подстанций;
- каждая ТП-10/0,4 кВ питает свой объект (скважину);
- значение фактического коэффициента загрузки трансформаторов всех ТП-10/0,4 кВ находится в допустимом диапазоне (0,602-0,705 о.е.).

В результате проведённого анализа состояния схемы и оборудования электрической сети фабрики, установлено, что схема распределительной сети 10 кВ объекта проектирования не отвечает требованиям нормативных документов по условию надёжности.

Согласно исходным техническим данным на выполнение работы, установлено, что рассматриваемая система внешнего водоснабжения медной

обогащительной фабрики относится к потребителям II категории надёжности, следовательно, требует двух независимых источников питания (резервирования). Однако в схеме распределительной сети 10 кВ системы электроснабжения объекта исследования такое резервирование отсутствует, так как для питания всех ТП-10/0,4 кВ скважин от РП-10 кВ применяются две магистральные линии М1 и М2 без резервирования, что является недопустимым для питания потребителей II категории надёжности, к которым относится также система внешнего водоснабжения медной обогащительной фабрики.

Таким образом, в работе необходимо выбрать и предложить такое схемное решение для применения в распределительной сети 10 кВ, которое максимально отвечало бы параметрам надёжности с одной стороны и экономичности – с другой (вторая основная задача). Следовательно, внесение соответствующих изменений в схему распределительной сети 10 кВ объекта исследования, обосновано.

Установлено, что третьей основной задачей является реконструкция системы релейной защиты и автоматики (далее – РЗА) электрической сети напряжением 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогащительной фабрики Республики Узбекистан, предполагающая замену устаревших реле на современные системы РЗА. Приведённые мероприятия по реконструкции схемы электрических соединений и системы РЗА распределительной электрической сети 10 кВ, позволят значительно повысить параметры и показатели надёжности, безопасности и экономичности.

На основании сравнительного анализа предлагаемых схемных решений, обеспечивающих необходимый и достаточный уровень резервирования в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогащительной фабрики Республики Узбекистан, предлагается принять магистральную схему с резервированием (с двухсторонним питанием) на стороне 10 кВ с питанием от РП-10 кВ.

В результате проведения расчёта электрических нагрузок, в работе рассчитаны следующие их значения:

- расчётные нагрузки отдельных скважин;
- расчётные нагрузки основных магистралей М1 и М2;
- расчётные нагрузки резервных магистралей М3 и М4;
- расчётные нагрузки секций сборных шин РП-10 кВ (максимальная нагрузка с резервированием);
- расчётные нагрузки РП-10 кВ (максимальная нагрузка с резервированием).

Установлено, что все силовые трансформаторы марки ТМ-100/10, находящиеся на указанных подстанциях, обеспечат надёжную работу оборудования скважин объекта исследования.

В результате выбора и проверки сечения магистральных проводников распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, получены следующие результаты:

- расчётным путём подтверждены сечения проводников марки АС-50/8 на основных магистралях М1 и М2;
- выбраны и проверены проводники марки СИП-3 1×25 для применения на новых резервных магистралях М3 и М4.

Решена задача расчёта токов КЗ в схеме рассматриваемой распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, которая заключалась в определении трёхфазных токов короткого замыкания и ударных токов в следующих расчётных точках:

- точка К1 – точка КЗ в сети 10 кВ на шинах РП-10 кВ;
- точка К2 – точка КЗ в сети 0,4 кВ на выводах силового трансформатора ТП-10/0,4 кВ скважин.

В результате выбора и проверки электрических коммутационных и защитных аппаратов в распределительной сети 10 кВ системы внешнего

водоснабжения медной обогатительной фабрики, расчётным путём подтверждена целесообразность дальнейшего применения вакуумных высоковольтных выключателей марки РиМ ВВ-10-20/1000-У2-120, трансформаторов тока марки ТЛК-10, а также ограничителей перенапряжения марки ОПНп 10/12/10/400, установленных на вводных, секционном и линейных присоединениях РП-10 кВ.

В результате выбора и проверки разъединителей для коммутации ТП-10/0,4 кВ скважин распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан, расчётным путём подтверждена целесообразность дальнейшего применения разъединителей марки РЛНД-10/400, установленных на стороне 10 кВ подстанций скважин объекта исследования.

Таким образом, решена вторая основная задача работы, которая заключается в техническом обосновании предложенных мероприятий по реконструкции схемы распределительной электрической сети напряжением 10 кВ объекта исследования.

В работе решена третья основная задача, которая заключается в реализации мероприятий по реконструкции системы релейной защиты и автоматики электрической сети объекта исследования.

В связи с этим, проведён выбор современных типов и устройств релейной защиты для применения в распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики Республики Узбекистан.

Исходя из результатов анализа отечественных и зарубежных устройств РЗиА, для реализации поставленной задачи предложено выбрать микропроцессорный блок релейной защиты серии УСО-І, который обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с аналогичными продуктами.

Установлено, что на объекте исследования устройства РЗиА устанавливаются на приводах выключателей высокого напряжения в РП-10 кВ.

Таким образом, обеспечена автоматическая защита от ненормальных режимов работы следующих линий:

- вводные присоединения РП-10 кВ;
- линейные присоединения РП-10 кВ (магистральные линии для питания ТП-10/0,4 кВ скважин: М1 и М2 – основные магистрали, М3 и М4 – резервные магистрали);
- секционное присоединение РП-10 кВ.

Для обеспечения надёжной защиты указанных присоединений, для применения на объекте, выбрана двухступенчатая токовая защита, состоящая из ДЗЛ и МТЗ.

Для защиты от внешних ненормальных режимов, принимается ДЗЛ, которая «отстраивается» от максимальных рабочих токов всей системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики (с учётом резервирования). ДЗЛ выступает в роли основной защиты системы электроснабжения. Она выполняется без выдержки времени срабатывания (защита мгновенного действия).

В качестве дополнительной защиты системы электроснабжения объекта, а также основной защиты на отходящих магистралях, принимается МТЗ.

Такая защита срабатывает при возникновении ненормальных режимах во внутренней части схемы электроснабжения, а также на отходящих линиях. МТЗ выполняется с выдержкой времени, обеспечивая, таким образом, селективность системы РЗиА.

Для защиты от однофазных замыканий на землю на всех линейных присоединениях устанавливается комплект ЗОЗ с постоянным током срабатывания, равным постоянному значению (1 А).

Рассчитаны уставки всех указанных типов РЗиА.

Из устройств автоматики на выключателях РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики предусматриваются следующие типы:

- устройство автоматического включения резерва (далее – АВР) – устанавливается на секционном выключателе РП-10 кВ;
- устройство автоматического повторного включения (далее – АПВ) – устанавливается на вводных и линейных присоединениях, так как к ним подключены воздушные линии электропередачи;
- устройство автоматической частотной разгрузки (далее – АЧР) – устанавливается на линейных выключателях основных магистралей.

Таким образом, все линейные присоединения РП-10 кВ распределительной сети 10 кВ системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики, будут надёжно защищены от всех ненормальных режимов, а также будет повышена надёжность и бесперебойность электроснабжения за счёт применения устройств автоматики. Третья основная задача работы решена в полном объёме.

Таким образом, в результате выполнения работы установлено, что реконструированная системы внешнего водоснабжения медной обогатительной фабрики отвечает основным требованиям нормативных документов.

Список используемых источников

1. Агафонов А.И., Бростилова Т. Ю., Джазовский Н. Б. Современная релейная защита и автоматика электроэнергетических систем: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 300 с.
2. Вакуумные выключатели РИМ ВВ 6-10 кВ. [Электронный ресурс]: URL: <https://вакуумныйвыключатель.рф/> (дата обращения: 18.01.2024).
3. ГОСТ Р 59279-2020 «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств от 35 до 750 кВ подстанций». [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177281> (дата обращения: 18.01.2024).
4. Как обрабатывать медную руду: методы обогащения и оборудование [Электронный ресурс]: URL: <https://www.ftmmachinery.com/ru/blog/how-to-process-copper-ore-beneficiation-methods-and-equipment.html> (дата обращения: 18.01.2024).
5. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. М.: Академия, 2021. 400 с.
6. КТПН 100/10/0,4. [Электронный ресурс]: URL: <https://forca.ru/spravka/kru-i-ktp/ktpn-10/04-kv.html> (дата обращения: 18.01.2024).
7. Куксин А.В. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие. М.: Инфра-Инженерия, 2021. 156 с.
8. Немировский А.Е. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций. М.: Инфра-Инженерия, 2020. 174 с.
9. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (Приказ от 15 декабря 2020 г. № 903н / Приказ от 29 апреля 2022 г. № 279н). Изд-во Мини-Тайп, 2023. 216 с.
10. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Изд-во ДЕАН, 2022. 192 с.

11. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. Изд-во ЦентрМаг, 2022. 584 с.

12. Провод СИП-3 1×25 [Электронный ресурс]: URL: https://cable.ru/cable/marka-sip_3_1x25_20.php#tab_parameters (дата обращения: 18.01.2024).

13. Сибикин Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. М.: Форум, 2021. 383 с.

14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 406 с.

15. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. Изд-во Директ-Медиа, 2020. 463 с.

16. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. Учебное пособие. М.: Форум, Инфра-М, 2022. 365 с.

17. УСО-I [Электронный ресурс]: URL: https://www.счетчики66.pf/goods/237500374-ustroystvo_sopryazheniya_uso_i (дата обращения: 18.01.2024).

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. Щербаков Е.Ф., Александров Д.С. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях. М.: Форум, Инфра-М, 2019. 495 с.

20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. Москва: Министерство энергетики, 2020. 142 с.