

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 ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая
Компания»

Студент

А.С.Почашев

(И.О. Фамилия)



(личная подпись)

Руководитель

Д.А.Нагаев

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

Аннотация

Целью данной работы является разработка проекта реконструкции понизительной трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

Объектом исследования является понизительная трансформаторная подстанция ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

Предметом исследования являются схема электрических соединений, а также оборудование распределительных устройств напряжением 6 кВ и 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

В работе проведено решение основных поставленных задач:

- постановка задач исследования;
- непосредственная разработка проекта реконструкции понизительной трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания»;
- разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда, а также по экологической безопасности на объекте исследования.

В результате выполнения работы необходимо осуществить комплексную разработку проекта реконструкции понизительной трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» при неукоснительном соблюдении установленных норм качества электроэнергии, передаваемой потребителям, а также основных требований надёжности, экономичности и безопасности.

В работе 63 страницы печатного текста и 6 чертежей формата А1.

Содержание

| | |
|--|----|
| Введение..... | 4 |
| 1 Анализ исходных данных..... | 6 |
| 1.1 Характеристика объекта проектирования | 6 |
| 1.2 Требования к схемам электроснабжения..... | 8 |
| 1.3 Обзор состояния проблемы и обоснование необходимости проведения реконструкции | 11 |
| 2 Разработка проекта реконструкции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания»..... | 13 |
| 2.1 Реконструкция схемы электрических соединений ТП-6/0,4 кВ | 13 |
| 2.2 Расчёт электрических нагрузок ТП-6/0,4 кВ..... | 14 |
| 2.3 Расчёт и выбор компенсирующих устройств..... | 22 |
| 2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов | 23 |
| 2.5 Выбор и проверка проводников | 26 |
| 2.6 Расчёт токов короткого замыкания | 31 |
| 2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов | 36 |
| 2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии на ТП-6/0,4 кВ | 41 |
| 2.9 Разработка мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения цеха 10 | 43 |
| 3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда | 47 |
| 3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности | 47 |
| 3.2 Обеспечение экологической безопасности | 54 |
| 3.3 Расчет контура заземления ТП-6/0,4 кВ | 56 |
| Заключение | 59 |
| Список используемой литературы | 62 |

Введение

Одним из главных направлений развития предприятий современного нефтехимического комплекса является концентрация и специализация производства, широкое внедрение современных методов производства, а также результатов научно-технического прогресса и мирового опыта.

В настоящее время в нефтехимическом комплексе все производственные процессы электрифицированы, так как активно внедряются и повсеместно используются прогрессивные технологии и современные машины, работа которых организована по поточным линиям.

На современном этапе развитие деятельности организаций нацелено на получение большего количества готовой продукции высокого качества с минимальными затратами и потерями.

Правильная организация производственного цикла, а также оптимизация систем электроснабжения, реконструкция схем электрических соединений и модернизация оборудования, является одним из способов повышения рентабельности нефтехимического комплекса и всей отрасли в целом.

Перечисленные аспекты обуславливают актуальность данной работы.

Целью данной работы является разработка проекта реконструкции понизительной трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

Объектом исследования является понизительная трансформаторная подстанция ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

Предметом исследования являются схема электрических соединений, а также оборудование распределительных устройств напряжением 6 кВ и 0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

В работе проведено решение основных поставленных задач:

– постановка задач исследования. Для решения поставленных задач в

разделе приводятся требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий;

– непосредственная разработка проекта реконструкции понизительной трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания». Для решения данной задачи проводится следующие исследования: проводится реконструкция схемы электрических соединений ТП-6/0,4 кВ, включающая принятия соответствующих технических решений по выбору схемы электроснабжения, проводников и электрических аппаратов;

– разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда, а также по экологической безопасности на ТП – 6/0,4 кВ.

Работа выполняется с использованием требований, норм и основных положений рекомендованной технической литературы и документов с использованием типовых проектов.

1 Анализ исходных данных

1.1 Характеристика объекта проектирования

Рассматриваемая в работе понизительная трансформаторная подстанция ТП-6/0,4 кВ питает цех 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», являющегося вспомогательным подразделением отдела, специализирующееся на производстве бензола и его соединений, непосредственно обеспечивая сложный технологический процесс энергетическими мощностями.

В 2018 году в цеху 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» была проведена реконструкция с установкой нового, современного оборудования, отвечающего мировым стандартам и имеющим повышенные энергетические характеристики. В частности, из основного производственного оборудования были полностью обновлены насосный парк, производственные компрессоры и вытяжные вентиляторы.

После проведения работ по замене оборудования и частичном перепрофилировании функций и задач, цех 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», который питает рассматриваемая в работе ТП-6/0,4 кВ, относится ко II категории надёжности потребителей согласно требованиям и нормам [1].

Как было указано ранее, объектом исследования в работе является понизительная трансформаторная подстанция ТП-6/0,4 кВ, которая непосредственно питает цех 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

Данная ТП-6/0,4 кВ была введена в эксплуатацию в 1978 году и с тех пор практически не модернизировалась.

В условиях расширения производства, роста мощностей и требований к схемам и системам электроснабжения современных предприятий нефтехимического комплекса данный аспект требует конструктивного и комплексного решения.

На данный момент на рассматриваемой в работе ТП-6/0,4 кВ находится один трансформатор ТМ-400/6.

Питание ТП-6/0,4 кВ осуществляется кабелем ААБ-6 (3×120) от распределительного пункта 6 кВ (далее – РП-6 кВ) АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

На сегодняшний день в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ на питающем РП-6 кВ АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», предусмотрен устаревший высоковольтный выключатель марки ВМП-10, который выработал свой ресурс.

Отходящие линии осуществляют питание силовых распределительных щитов (СРШ), от которых питаются производственные механизмы и оборудование цеха 10 на напряжении 0,38/0,22 кВ.

Технические данные оборудования используются для расчёта электрических нагрузок ТП-6/0,4 кВ, питающего цех 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», а также при выборе основных технических решений по модернизации объекта исследования.

Характеристика основного технологического оборудования цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», который питается от рассматриваемая в работе ТП-6/0,4 кВ, в работе приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика технологического оборудования цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания»

| Наименование оборудования | Параметры оборудования | | | |
|---|------------------------|------------|---------------|------------|
| | $P_{ном}$, кВт | η , % | $\cos\varphi$ | $K_{пуск}$ |
| Компрессор подачи толуола | 5,5 | 0,87 | 0,91 | 7,5 |
| Главный привод комплекса первичной очистки | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |
| Насос технической воды | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |
| Компрессор подачи бензола | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |
| Привод каталитического риформинга 1 ступени | 5,5 | 0,87 | 0,91 | 7,5 |

Продолжение таблицы 1

| Наименование оборудования | Параметры оборудования | | | |
|---|------------------------|------------|---------------|------------|
| | $P_{ном}$, кВт | η , % | $\cos\varphi$ | $K_{пуск}$ |
| Привод каталитического риформинга 2 ступени | 5,5 | 0,87 | 0,91 | 7,5 |
| Фильтрационный комплекс | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |
| Вакуум-фильтр | 7,5 | 0,87 | 0,88 | 7,5 |
| Дренажный насос | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |
| Подогреватель технический | 8 | 0,92 | 1,0 | 2,5 |
| Привод установки сернокислотной очистки | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |
| Привод каталитической гидроочистки | 18,5 | 0,92 | 0,92 | 7,5 |
| Насос ректификации рафината | 2,2 | 0,83 | 0,87 | 6,5 |
| Привод установки полимеризации | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |
| Насос установки полимеризации | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |
| Вентилятор вытяжной | 3 | 0,84 | 0,88 | 6,5 |
| Ректификационная колонна | 22 | 0,96 | 1,0 | 3 |
| Привод установки гидрирования | 11 | 0,88 | 0,9 | 7,5 |

1.2 Требования к схемам электроснабжения

При выборе схемы электроснабжения цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», следует учесть нормативные требования, которые разработанная схема электроснабжения обязана будет обеспечить [1-4]:

- максимальная близость потребителей электроэнергии к своему источнику питания с целью минимизации потерь напряжения и, в конечном итоге, потерь электроэнергии в сети и оборудовании;
- сквозное секционирования сети, а также устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР) и противоаварийной автоматики с включением резерва (ПАВР);
- отдельный режим работы двух трансформаторов на понизительных трансформаторных подстанциях. Параллельный режим работы, согласно [12], применяется в крайнем случае для потребителей II

категории при условии отличия потерь напряжения в силовых трансформаторах не более 5%. При этом номинальная мощность этих силовых трансформаторов и марка самих трансформаторов может не совпадать;

- обеспечение необходимой надёжности потребителей в нормальном, форсированном и послеаварийном режимах работы энергосистемы. При этом послеаварийный режим считается наиболее тяжёлым и результаты его расчёта используются для проверки аппаратов на термическую стойкость к сквозным токам короткого замыкания [7,8];

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

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

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

На основе приведённых требований нормативных документов [1-4], предъявляемых к схемам электроснабжения рассматриваемого в работе цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» а также исходных технических характеристик основного и вспомогательного оборудования, приведённых в работе, проводится проектирование системы электроснабжения цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая

Компания».

Для этих потребителей может быть применена радиальная схема, если несколько потребителей располагаются на значительном отдалении друг от друга, либо применение рекомендуемой магистральной схемы нецелесообразно по техническим и (или) экономическим причинам.

Поэтому на первом этапе проектирования прежде всего следует рассмотреть классификацию основных технологических механизмов, узлов и подразделений в целом, и, исходя из приведённых выше аргументов и особенностей, выбрать ту схему, которая в полной мере будет соответствовать требованиям [1-4].

Известно, что возможные сбои и аварии во многих системах электроснабжения предприятий нефтехимической отрасли связаны с угрозой жизни и здоровью людей, возникновением опасности экологических катастроф в связи с выбросов вредных и опасных веществ в атмосферу, воду и грунт, повреждением дорогостоящего оборудования, возникновением переходных процессов в энергосистеме [7].

Надёжная работа систем электроснабжения предприятий нефтехимической отрасли в целом напрямую зависит от надёжности основных производственных агрегатов и обеспечивается при выполнении условий нормативных документов [1-4].

Производственные цеха (узлы, участки) предприятий нефтехимической отрасли, которые играют второстепенную производственную роль и не настолько важны, как основные технологические механизмы, относятся ко II категории надёжности.

Они также требуют двух независимых источников питания, однако система автоматического включения резерва для таких потребителей не обязательна.

К III категории надёжности относятся все остальные цеха (узлы, участки) предприятий нефтехимической отрасли, которые не участвуют в производственном процессе, а являются вспомогательными звеньями.

Такие цеха (узлы, участки) следует питать от одного источника без резервирования.

Современные трансформаторные подстанции, как правило, выполняются в виде комплектных устройств (КТП), имеющих значительное преимущество перед закрытыми (ЗТП) и открытыми (ОТП) подстанциями.

«Данные основные требования нормативных документов обязательны к применению при разработке и реализации принятых решений (внедрении) в системах электроснабжения» [12,16] предприятий нефтехимической отрасли.

По этой причине указанные мероприятия подлежат разработке и практической реализации в работе далее.

1.3 Обзор состояния проблемы и обоснование необходимости проведения реконструкции

Как было указано ранее, после установки нового оборудования в цеху 10 и ориентацией его на производственный цикл, данный цех 10 является вспомогательным производственным отделением (единицей) АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», следовательно, по надёжности электроснабжения его можно полноправно отнести ко II категории надёжности по [12].

Известно, что подразделения, относящиеся к этой категории, должны иметь два независимых источника питания с обеспечением необходимого резервирования [12].

Однако ТП-6/0,4 кВ, питающая указанный цех 10, на данный момент получают питание от РП-6 кВ предприятия одной кабельной линией без резервирования, что является недопустимым согласно требований [12].

Также требуется модернизация оборудование рассматриваемой в работе ТП-6/0,4 кВ, питающей цех 10, вследствие его износа и выработки ресурса. Они устарели технически и нуждаются в модернизации, которая не

проводилась с момента ввода в эксплуатацию данной понизительной цеховой подстанции.

Следовательно, исходя из данной информации, основными мероприятиями по реконструкции ТП-6/0,4 кВ в работе являются [6,8,12]:

- установка на рассматриваемой в работе ТП-6/0,4 кВ двух силовых трансформаторов при их питании от разных источников;

- реконструкция магистральной схемы РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ с заменой её на радиальную схему электроснабжения, с последующей установкой дополнительных электрических аппаратов напряжением 6 кВ в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ для защиты и коммутации нового источника питания (силового трансформатора). При этом на основе расчёта электрических нагрузок в работе также проводится модернизация РУ-6 кВ, заключающаяся в выборе современных (инновационных) электрических аппаратов и проводников;

- «проверка необходимости компенсации реактивной мощности» [12];

- «обеспечение питания всех СРШ цеха 10 по радиальной схеме от ТП-6/0,4 кВ» [12];

- модернизация проводников, электрических аппаратов, а также средств учёта и контроля электроэнергии ТП-6/0,4 кВ» [12].

Схема электрических соединений рассматриваемой ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» до проведения её реконструкции, приведена в графической части работы на листе 1.

Выводы по разделу 1.

В результате выполнения первого раздела работы, на основе технических и теоретических данных, обоснована необходимость проведения реконструкции ТП-6/0,4 кВ.

В связи с этим, разработан план реконструкции, который осуществляется на основании расчётов в работе далее.

2 Разработка проекта реконструкции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания»

2.1 Реконструкция схемы электрических соединений ТП-6/0,4 кВ

Согласно разработанному плану мероприятий, проводится реконструкция ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», предусматривающая следующие конкретные мероприятия:

- применение второго ввода от источника питания (РП-6 кВ предприятия), который подключается ко второй секции сборных шин РП-6 кВ по условию резервирования и секционирования [1];
- изменение магистральной схемы питания РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ на радиальную двухлучевую;
- установка дополнительных коммутационных и защитных аппаратов в РУ-6 кВ для защиты и коммутации второго источника питания ТП-6/0,4 кВ;
- применение в схеме ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» на стороне НН секционированной системы сборных шин с резервированием секционным автоматическим выключателем с устройством АВР (автоматического включения резерва);
- применение новейших разработок кабельной продукции и электрической аппаратуры в процессе реконструкции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

Все указанные мероприятия по реконструкции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» рассмотрены в работе детально и подтверждены соответствующими расчётами и проверками.

Схема электрических соединений ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», полученная в результате

внедрения данных мероприятий по реконструкции, приведена в графической части работы на листе 2.

2.2 Расчёт электрических нагрузок ТП-6/0,4 кВ

Активная и реактивная нагрузки ТП-6/0,4 кВ [10]:

$$P_{см} = P_{ном} \cdot k_u, \text{кВт.} \quad (1)$$

$$Q_{см} = P_{см} \cdot \text{tg} \varphi, \text{квар.} \quad (2)$$

Согласно [10]:

$$k_u = \frac{P_{см}}{P_{ном}}. \quad (3)$$

Эффективное количество ЭП ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» [10]

$$n_э = \frac{(\sum P_{ном})^2}{P_{ном}^2}. \quad (4)$$

Расчетная активная нагрузка группы электроприемников ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» [10]

$$P_p = P_{см} \cdot k_p, \text{кВт.} \quad (5)$$

При этом [10]

$$\cos \varphi_{ср.взв} = \frac{\sum P_{ном} \cdot \cos \varphi}{\sum P_{ном}}. \quad (6)$$

«Расчетная реактивная нагрузка ТП-6/0,4 кВ цеха 10» [10]:

$$Q_p = P_{см} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{ср.взв} \cdot k_{pp}, \text{квар.} \quad (7)$$

«Полная расчётная нагрузка силовых электроприемников ТП-6/0,4 кВ цеха 10» [10]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{кВА.} \quad (8)$$

Расчетный ток группы ЭП на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» напряжением 0,38/0,22 кВ [10]:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}}, \text{А.} \quad (9)$$

Пиковый ток электроприёмников ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» [10]:

$$I_{пик} = I_{н.п.} + (I_p - k_u \cdot I_n), \text{А,} \quad (10)$$

где I_n – «номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током в рассматриваемой группе, А» [10].

Распределение электроприёмников цеха 10 по силовым распределительным шкафам (далее – СРШ) показано в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение электроприёмников по СРШ в системе электроснабжения цеха 10

| № СРШ | Наименование оборудования | $P_{ном}$, кВт | Количество, шт |
|-------|---|-----------------|----------------|
| СРШ 1 | Главный привод комплекса первичной очистки | 11 | 2 |
| | Вентилятор вытяжной | 3 | 1 |
| | Ректификационная колонна | 22 | 3 |
| | Насос технической воды | 11 | 2 |
| СРШ 2 | Компрессор подачи бензола | 11 | 1 |
| | Подогреватель технический | 8 | 2 |
| | Фильтрационный комплекс | 11 | 3 |
| | Насос ректификации рафината | 2,2 | 1 |
| | Компрессор подачи толуола | 5,5 | 1 |
| СРШ 3 | Привод каталитического риформинга 1 ступени | 5,5 | 2 |
| | Привод каталитического риформинга 2 ступени | 5,5 | 4 |
| | Вакуум-фильтр | 7,5 | 2 |
| СРШ 4 | Дренажный насос | 11 | 2 |
| | Привод установки сернокислотной очистки | 11 | 2 |
| | Привод каталитической гидроочистки | 18 | 3 |
| СРШ 5 | Привод установки полимеризации | 11 | 3 |
| | Насос установки полимеризации | 11 | 2 |
| | Привод установки гидрирования | 11 | 2 |

По формулам (1) – (10) проводится практический расчёт нагрузок ТП-6/0,4 кВ, питающей цех 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

В работе детально рассмотрен расчет электрических нагрузок на примере СРШ-1 ТП-6/0,4 кВ, питающей цех 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» по условиям (1) – (10).

$$P_{см} = 10 \cdot 2 \cdot 0,14 = 2,8 \text{ кВт.}$$

$$Q_{см} = 2,8 \cdot 1,73 = 4,85 \text{ квар.}$$

$$\begin{aligned}
k_u &= \frac{31,24}{122} = 0,26. \\
n_3 &= 7,33 \text{шт.} \\
K_p &= 1,23 [2]. \\
P_p &= 31,24 \cdot 1,23 = 38,43 \text{кВт.} \\
\cos \varphi_{\text{ср.взв}} &= 0,5 \rightarrow \operatorname{tg} \varphi_{\text{ср.взв}} = 1,75. \\
Q_p &= 1,1 \cdot 31,24 \cdot 1,75 = 60,31 \text{квар.} \\
S_p &= \sqrt{38,43^2 + 60,31^2} = 71,51 \text{кВ} \cdot \text{А.} \\
I_p &= \frac{71,51}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 108,65 \text{А.} \\
I_{\text{мик}} &= 286,5 + (108,65 - 0,2 \cdot 95,5) = 376,05 \text{А.}
\end{aligned}$$

Нагрузки остальных СРШ ТП-6/0,4 кВ, питающей цех 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», рассчитаны аналогично.

Расчетная нагрузка освещения цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» в работе определяется так [12,18,19]:

$$P_{p.o} = K_{c.o} P_{\text{ном.о}} K_{\text{пр.а}}, \text{ кВт}, \quad (11)$$

где $K_{c.o} = 0,95$ – значение нормируемого коэффициента спроса осветительной нагрузки [14].

Активная осветительная нагрузка цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» [18,19]

$$P_{\text{ном.о}} = P_{\text{уд.о}} F_{\text{ц}}, \text{ кВт}. \quad (12)$$

Реактивная осветительная нагрузка цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» [18,19]

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_o, \text{ квар}, \quad (13)$$

где $\operatorname{tg} \varphi_o$ – коэффициент реактивной мощности освещения.

Кроме силовой нагрузки, нужно рассчитать нагрузку освещения на объекте.

Осветительная нагрузка цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» согласно (11) – (13):

$$P_{уд.о} = 15 \text{ Вт/м}^2.$$

$$P_{ном.о} = 500 \cdot \frac{15}{1000} = 7,5 \text{ кВт.}$$

$$P_{р.о} = 7,5 \cdot 1,05 \cdot 0,95 = 7,4 \text{ кВт.}$$

$$Q_{р.о} = 7,5 \cdot 0,43 = 3,2 \text{ квар.}$$

$$S_{р.о} = \sqrt{7,4^2 + 3,2^2} = 8,1 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

$$I_{р.о} = \frac{8,1}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 12,5 \text{ А.}$$

Результаты расчётов электрических нагрузок цеха 10 и питающей его ТП-6/0,4 кВ АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов электрических нагрузок ТП-6/0,4 кВ

| Наименование оборудования | Кол-во, шт | P_i , кВт | | K_u | $\cos\varphi$ | $tg\varphi$ | $P_{см.}, кВт/ Q_{см.},$ квар | | $n_э$ | K_p | Максимальные расчетные нагрузки | | | | | |
|---|------------|--------------------|--------------------|-------|---------------|-------------|----------------------------------|--------------------|-------|-------|------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|---|
| | | $P_{ном.},$ кВт | $P_{сумь},$ кВт | | | | $P_{см.},$ кВт | $Q_{см.},$ квар | | | $P_p.,$ кВт | $Q_p.,$ квар | $S_p.,$ кВ·А | $I_p.,$ А | $I_n.,$ А. | |
| | | СРШ1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Главный привод комплекса первичной очистки | 2 | 11 | 22 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 2,80 | 4,85 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Вентилятор вытяжной | 1 | 3 | 3 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 0,42 | 0,73 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Ректификационная колонна | 3 | 22 | 66 | 0,2 | 0,4 | 2,29 | 13,20 | 30,24 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Насос технической воды | 2 | 11 | 22 | 0,65 | 0,8 | 0,75 | 13,00 | 9,75 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Итого СРШ1 | 8 | - | 113 | 0,26 | 0,5 | 1,75 | 31,24 | 48,72 | 7,33 | 1,23 | 38,43 | 60,31 | 71,51 | 108,7 | 376,1 | |
| СРШ2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Компрессор подачи бензола | 1 | 11 | 11 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 1,4 | 2,42 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Подогреватель технический | 2 | 8 | 16 | 0,8 | 1 | 0 | 12,8 | 0 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Фильтрационный комплекс | 3 | 11 | 33 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 3,61 | 6,26 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Насос ректификации рафината | 1 | 2,2 | 2,2 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 0,31 | 0,53 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Компрессор подачи толуола | 1 | 5,5 | 5,5 | 0,1 | 0,5 | 1,73 | 0,35 | 0,61 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Итого СРШ2 | 8 | - | 67,7 | 0,32 | 0,64 | 1,20 | 18,47 | 9,82 | 7,08 | 1,28 | 23,64 | 24,45 | 34,1 | 51,7 | 192,7 | |

Продолжение таблицы 3

| Наименование оборудования | Кол-во, шт | P_i , кВт | | K_u | $\cos\varphi$ | $tg\varphi$ | $P_{см.}$, кВт/ $Q_{см.}$, квар | | $n_э$ | K_p | Максимальные расчетные нагрузки | | | | |
|--|------------|---------------------|---------------------|-------|---------------|-------------|---|---------------------|-------|-------|------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|
| | | $P_{ном.}$, кВт | $P_{сум.}$, кВт | | | | $P_{см.}$, кВт | $Q_{см.}$, квар | | | P_p , кВт | Q_p , квар | S_p , кВ·А | I_p , А | I_n , А. |
| СРШЗ | | | | | | | | | | | | | | | |
| Привод каталитического риформинга 1 степени | 2 | 5,5 | 11 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 1,54 | 2,67 | - | - | - | - | - | - | - |
| Привод каталитического риформинга 2 степени | 4 | 5,5 | 22 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 3,08 | 5,33 | - | - | - | - | - | - | - |
| Вакуум-фильтр | 2 | 7,5 | 15 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 2,10 | 3,64 | - | - | - | - | - | - | - |
| Итого СРШЗ | 8 | - | 48 | 0,14 | 0,50 | 1,73 | 6,72 | 11,64 | 7,84 | 1,78 | 11,96 | 12,80 | 17,52 | 26,6 | 135,5 |
| СРШ4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Дренажный насос | 2 | 11 | 22 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 2,80 | 4,85 | - | - | - | - | - | - | - |
| Привод установки сернокислотной очистки | 2 | 11 | 22 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 2,80 | 4,85 | - | - | - | - | - | - | - |
| Привод каталитической гидроочистки | 3 | 18 | 54 | 0,8 | 1 | 0 | 43,20 | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| Итого СРШ4 | 7 | - | 98 | 0,52 | 0,79 | 0,78 | 48,80 | 9,70 | 6,44 | 1,13 | 55,14 | 42,05 | 69,35 | 105,4 | 246,5 |

Продолжение таблицы 3

| Наименование оборудования | Кол-во, шт | P_i , кВт | | K_u | $\cos\varphi$ | $tg\varphi$ | $P_{см.}$, кВт/ $Q_{см.}$, квар | | $n_э$ | K_p | Максимальные расчетные нагрузки | | | | |
|--------------------------------|------------|---------------------|---------------------|-------|---------------|-------------|---|---------------------|-------|-------|------------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|
| | | $P_{ном.}$, кВт | $P_{сум.}$, кВт | | | | $P_{см.}$, кВт | $Q_{см.}$, квар | | | P_p , кВт | Q_p , квар | S_p , кВ·А | I_p , А | I_n , А. |
| СРШ5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Привод установки полимеризации | 3 | 18 | 54 | 0,8 | 1 | 0 | 43,20 | 0 | - | - | - | - | - | - | - |
| Насос установки полимеризации | 2 | 11 | 22 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 1,40 | 2,42 | - | - | - | - | - | - | - |
| Привод установки гидрирования | 2 | 11 | 22 | 0,14 | 0,5 | 1,73 | 1,40 | 2,42 | - | - | - | - | - | - | - |
| Итого СРШ5 | 6 | - | 66 | 0,63 | 0,65 | 1,18 | 18,23 | 9,41 | 5,95 | 1,28 | 23,34 | 23,70 | 33,26 | 50,53 | 191,7 |
| Рабочее освещение | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 7,4 | 3,2 | 8,1 | 12,5 | - |
| Аварийное освещение | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,7 | 0,3 | 0,8 | 1,3 | - |
| Всего по ТП-6/0,4 кВ | - | - | - | - | - | 1,33 | - | - | - | - | 152,51 | 163,3 | 223,5 | 339,6 | 831,9 |

2.3 Расчёт и выбор компенсирующих устройств

«Расчётная реактивную мощность компенсирующего устройства 0,4 кВ для установки на шинах РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ» [6,14] системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 определяем так:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_{\kappa}), \text{ квар.} \quad (14)$$

По условию (14) для проектируемой системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 152,51(1,328 - 0,39) = 128,72 \text{ квар.}$$

«Так как на ТП-6/0,4 кВ устанавливается два силовых трансформатора, следовательно, число устройств для компенсации реактивной мощности должно быть парным, поэтому выбирается для установки две комплектных конденсаторных установки типа УК БН-0,38-50-50УЗ.

При этом суммарная мощность выбранных КУ на всей ТП-6/0,4 кВ составляет $2 \cdot 50 = 100$ квар» [6,8].

Фактическое значение коэффициентов [18,19]

$$tg\varphi_{\kappa} = tg\varphi - \frac{Q_{к.см.}}{\alpha \cdot P_p}, \text{ квар.} \quad (15)$$

По (15)

$$tg\varphi_{\kappa} = 1,328 - \frac{100 + 28,75}{0,9 \cdot 152,51} = 0,33$$

«После определения фактического значения коэффициента мощности производится пересчёт значений нагрузок ТП-6/0,4 кВ с учётом выбранных КУ» [8,14] проектируемой системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 (за вычетом скомпенсированной реактивной мощности на шинах 0,4 кВ в РУ-0,4 кВ ТП6/0,4 кВ):

$$P_p = 152,51 \text{ кВт.}$$

$$Q_p = 163,31 - 100 = 63,31 \text{ квар.}$$

$$S_p = \sqrt{152,51^2 + 63,31^2} = 165,2 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Полученные уточнённые значения расчётных электрических нагрузок в результате установки компенсирующих устройств на шинах 0,4 кВ понизительной ТП-6/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10, используются в работе далее.

2.4 Выбор и проверка силовых трансформаторов

Так как ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 является понизительной подстанцией, которая питает потребители системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10, большинство из которых относится к I и II категориям надёжности, следовательно, на данной понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 принимается к установке два силовых трансформатора [12,15].

При проектировании системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10, в работе также проводится необходимая проверка силовых трансформаторов на перегрузочную способность как в нормальном, так и в максимальном (послеаварийном) режиме работы.

Однако для точного выбора силовых трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 необходимо учесть величину

реактивной мощности и степень её компенсации в проектируемой системе электроснабжения.

Известно, что для двухтрансформаторных ТП-6/0,4 кВ, которые питают потребители I и II категорий надёжности, мощность силового трансформатора определяется из соотношения [12]

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{\Sigma P_{\text{р.}}}{N \beta_{\text{т}}}, \quad (16)$$

где $S_{\text{ном.т}}$ – «паспортная мощность трансформатора, установленного на ТП-6/0,4 кВ, кВА» [12];

N – «число трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ, шт» [12];

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

По условию выбора (16)

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{165,2}{2 \cdot 0,7} = 117,9 \text{ кВА}.$$

По [12] выбран для установки на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 силовой трансформатор ТМГ-160/6 в количестве двух единиц.

Проверка выбранного типа силового трансформатора в нормальном режиме [12]

$$K_3^{\text{н}} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{р}}}{S_{\text{ном.т}}} \leq 0,7. \quad (17)$$

Проверка выбранного типа силового трансформатора в максимальном (послеаварийном или ПАВ) режиме [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (18)$$

Согласно (17)

$$K_3^n = \frac{165,2}{160 \cdot 2} = 0,52 \leq 0,7.$$

Согласно (18)

$$K_3^{n.ав} = \frac{165,2}{160 \cdot (2-1)} = 1,03 \leq 1,4.$$

Условия проверок как в нормальном, так и послеаварийном режиме для выбранных силовых трансформаторов ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 выполняется.

Поэтому в работе окончательно принимается два силовых трансформатора номинальной мощностью 160 кВА для установки на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10.

Конструктивно питающая понизительная ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 выполнена в виде закрытой подстанции с применением комплектных распределительных устройств.

Дополнительная проверка выбранных силовых трансформаторов на ТП-6/0,4 кВ проводится после выбора устройств компенсации реактивной мощности.

Конструкция выбранного типа силового трансформатора с целью установки на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 представлена в графической части работы.

2.5 Выбор и проверка проводников

Для выбора сечения кабельной линии необходимо определить рабочий ток нормального режима по следующему условию [7,9]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (19)$$

При этом максимальный расчётный ток кабельной линии с двумя силовыми кабелями в послеаварийном режиме работы с учётом резервирования и допустимой перегрузки определяется так [11]:

$$I_{p.маx} = 1,4I_{p.маx}. \quad (20)$$

Условие проверки выбранного сечения кабельной линии в послеаварийном режиме согласно требованиям [11]:

$$I_{дон} \geq I_{p.маx}, \quad (21)$$

где $I_{дон}$ – «длительно – допустимый ток силового кабеля стандартного сечения, А» [1];

$I_{p.маx}$ – «максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

Проводится выбор силовых кабелей питающей кабельной линии электропередачи системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 согласно [17,19]

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{p.}}{j_{\text{э}}}. \quad (22)$$

Проводится выбор кабельных линий для питания ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» от шин РП-6 кВ завода.

На реконструируемой ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» в результате проведения реконструкции выбраны два силовых трансформатора ТМГ-160/6, работающих на нагрузку в раздельном режиме, поэтому выбор кабелей 6 кВ для них будет одинаков:

$$I_p = \frac{160}{\sqrt{3} \cdot 6} = 15,4 \text{ A.}$$

$$F_s = \frac{15,4}{1,6} = 9,6 \text{ мм}^2.$$

Однако по условиям механической прочности в работе принимается ближайшее минимальное стандартное сечение $F=16 \text{ мм}^2$ с допустимым током $I_{дон}=90 \text{ A}$ [12].

Значение максимального расчётного тока выбранного сечения, для питания ТП-6/0,4 кВ цеха 10 от шин РП-6 кВ АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» с учётом резервирования

$$I_{p.\max} = 1,4 \cdot 15,4 = 21,56 \text{ A.}$$

Проверка соблюдается

$$90 \text{ A} \geq 21,56 \text{ A.}$$

Окончательно принимаются питающие кабели к силовым трансформаторам реконструируемой ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» марки АСБ-6 (3×16), прокладка – в земле.

Проводится выбор сечения кабелей 0,38/0,22 кВ питающей сети системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10.

Принимаются к использованию в сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 силовые негорючие кабели марки АВБбШвнг, которые рекомендованы к установке [17].

Проводится выбор кабеля, питающего СРШ1 системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10. Предварительно принимается для питания ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 кабель марки АВБбШвнг 5×35 для которого $I_{дон} = 130$ А [9].

Условие проверки на ПАВ-режим выбранного сечения кабеля выполняется

$$130 \geq 1 \cdot 125 / 1 = 125, А.$$

Окончательно для питания СРШ1 выбирается силовой кабель марки АВБбШвнг 5×35 с $I_{дон} = 130$ А [9].

Выбор сечения остальных кабелей питающей силовой сети напряжением 0,38/0,22 кВ, получающих питание от шин РУ-0,4 кВ ТП-6/0,4 кВ проектируемой системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10, проведён аналогично и результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Выбор сечения кабелей питающей силовой сети напряжением 0,38/0,22 кВ

| Номер СРШ | Марка кабельной линии | $I_{дон}, А$ |
|-----------|-----------------------|--------------|
| СРШ1 | АВБбШвнг 5×35 | 130 |
| СРШ2 | АВБбШвнг 5×25 | 105 |
| СРШ3 | АВБбШвнг 5×25 | 105 |
| СРШ4 | АВБбШвнг 5×35 | 130 |
| СРШ5 | АВБбШвнг 5×25 | 105 |
| ЩРО | АВБбШвнг 5×4 | 19 |
| ЩАО | АВБбШвнг 5×2,5 | 14 |

Аналогично выбирается сечение кабелей распределительной сети (таблица 5).

В работе для кабелей распределительной сети напряжением 0,38/0,22 кВ, питающей отдельные потребители системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 от шин ТП-6/0,4 кВ, принимаются современные медные пятижильные кабели марки ВВГнг-LS, не поддерживающие горения и поэтому рекомендованные к использованию в электроустановках по условиям пожарной безопасности, а также в силу надёжности и экономичности [12].

Кабели марки ВВГнг-LS хорошо зарекомендовали себя для использования в электроустановках всех типов, поэтому могут быть рекомендованы к использованию в сетях системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 [12].

Для электроприёмника №1 цеха 10

$$I_{дон.} \geq 10,49 / 1 = 10,49 \text{ A};$$

$$I_{дон.} \geq 1 \cdot 12,5 = 12,5 \text{ A}.$$

Выбираются для питания электроприёмника №1 цеха 10 от СРШ-1 кабель марки ВВГнг-LS 5×1,5, $I_{дон} = 19 \text{ A}$ [10], прокладка – в пластмассовой трубе диаметром 32 мм в траншее с последующей заливкой пола бетонной смесью [10].

Такой способ прокладки минимизирует повреждение кабельной линии, которая будет находиться в трубе с последующей заливкой пола бетонной смесью.

Выбранные в работе марки и сечения кабельных линий с соответствующими марками проводников системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 наносятся на графический лист 2.

Для остальных электроприёмников распределительной силовой системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 сети напряжением 0,38/0,22 кВ выбор кабелей аналогичен и сведён в таблицу 5.

Таблица 5 – Выбор кабелей распределительной сети 0,38/0,22 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10

| Наименование оборудования | I_p , А | Параметры выбранной кабельной линии | |
|---|-----------|-------------------------------------|---------------|
| | | Марка кабеля | $I_{доп}$, А |
| Компрессор подачи толуола | 10,49 | ВВГнг-LS 5×1,5 | 19,0 |
| Главный привод комплекса первичной очистки | 19,18 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Насос технической воды | 19,18 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Компрессор подачи бензола | 19,18 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Привод каталитического риформинга 1 ступени | 10,49 | ВВГнг-LS 5×1,5 | 19,0 |
| Привод каталитического риформинга 2 ступени | 10,49 | ВВГнг-LS 5×1,5 | 19,0 |
| Фильтрационный комплекс | 19,18 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Вакуум-фильтр | 14,80 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Дренажный насос | 18,42 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Подогреватель технический | 12,15 | ВВГнг-LS 5×1,5 | 19,0 |
| Привод установки сернокислотной очистки | 16,50 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Привод каталитической гидроочистки | 27,35 | ВВГнг-LS 5×4 | 32,0 |
| Насос ректификации рафината | 4,63 | ВВГнг-LS 5×1,5 | 19,0 |
| Привод установки полимеризации | 18,42 | ВВГнг-LS 5×4 | 32,0 |
| Насос установки полимеризации | 19,18 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Вентилятор вытяжной | 6,13 | ВВГнг-LS 5×1,5 | 19,0 |
| Привод установки гидрирования | 24,66 | ВВГнг-LS 5×2,5 | 27,0 |
| Ректификационная колонна | 33,8 | ВВГнг-LS 5×6 | 42,0 |

Все выбранные в работе силовые кабельные линии питающей и распределительной сети удовлетворяют условиям выбора и проверки согласно требованиям нормативных документов [1,4,12].

Они показаны на графическом листе 2.

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Для расчёта токов КЗ в системе электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», разработана расчётная схема, а также её схема замещения (рисунок 1).

На рисунке 1 показаны расчётные точки, в которых необходимо определить токи короткого замыкания (КЗ): точки К1, К2 и К3.

Принимаются базисные условия для расчёта токов короткого замыкания: базисная мощность равна номинальной мощности силового трансформатора на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания», выбранного после реконструкции (160 кВА), базисные напряжения – на стороне 6 кВ (ВН) – 6 кВ, на стороне НН – 0,4 кВ.

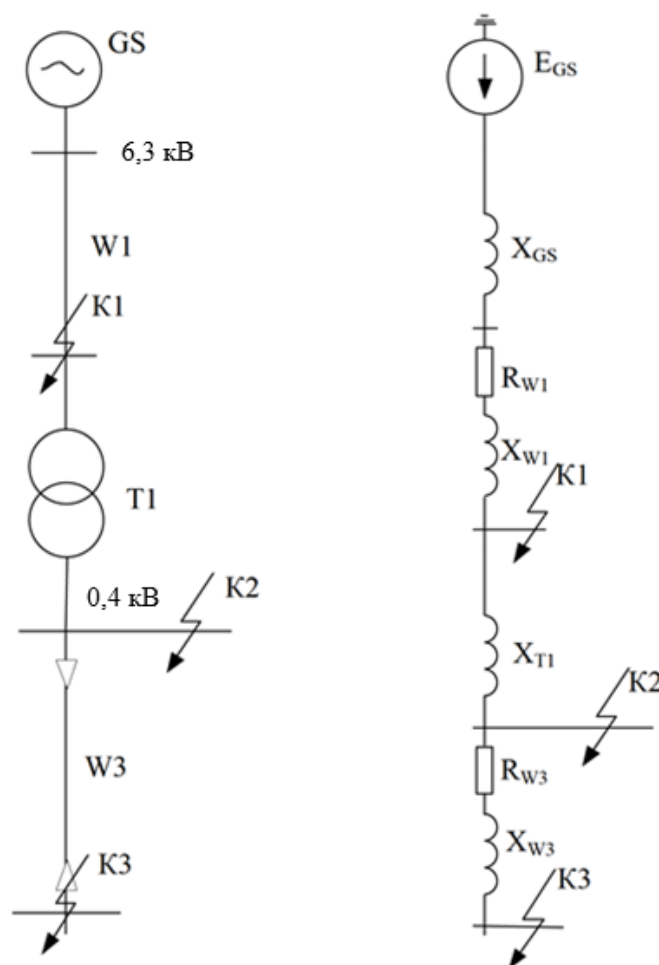


Рисунок 1 – Однолинейная расчетная схема и схема замещения сети

Значение базисного ток в схеме на стороне ВН и НН определяется по следующему условию:

$$I_B = \frac{S_{\bar{6}}}{\sqrt{3} \cdot U_B}. \quad (23)$$

Согласно (23) на сторонах ВН и НН

$$I_{B.VH} = \frac{0,16}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 0,015 \text{ кА.}$$

$$I_{B.HH} = \frac{0,16}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,23 \text{ кА.}$$

В работе расчет параметров схемы замещения проводится в относительных единицах.

ЭДС энергосистемы принимается равной $E_c = 1$, индуктивное сопротивление энергосистемы $x_c = 0,005$ о.е.

Значение индуктивного сопротивления кабельной линии электропередачи определяется из условия:

$$X_W = \frac{1}{n} \cdot X_{yd.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\bar{6}}}{U_B^2}. \quad (24)$$

где L -длина линии, 6 км.

Для линии W1 (6 кВ), питающей реконструируемую ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания»

$$X_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 6 \cdot \frac{0,16}{6,3^2} = 0,005 \text{ о.е.}$$

Значение активного сопротивления кабельной ЛЭП [1]

$$R_W = \frac{1}{n} \cdot R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_{\delta}}{U_B^2}. \quad (25)$$

Для кабельной линии W1 (6 кВ), питающей реконструируемую ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания»

$$R_{W1} = \frac{1}{2} \cdot 0,46 \cdot 6 \cdot \frac{0,16}{6,3^2} = 0,006 \text{ о.е.}$$

Согласно (24)

$$X_{W3} = 0,09 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{0,4^2} = 0,0135 \text{ о.е.}$$

Согласно (25)

$$R_{W3} = 0,62 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,16}{0,4^2} = 0,093 \text{ о.е.}$$

Индуктивное сопротивление силового трансформатора, установленного на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» в результате проведения реконструкции

$$X_{T1} = \frac{1}{n} \cdot \frac{U_{к.з.}}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{H.T}}. \quad (26)$$

$$X_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,16}{0,16} = 0,0525 \text{ о.е.}$$

После расчёта параметров схемы замещения, далее в работе проводится расчёт токов короткого замыкания в расчётных точках схемы по условию

$$I_k^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_\delta. \quad (28)$$

Перед расчётом по условию (28) необходимо также определить полные сопротивления цепи КЗ к указанным точкам.

Полное сопротивление цепи КЗ до точки К1

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (27)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,005)^2 + 0,006^2} = 0,012 \text{ o.e.}$$

Ток трёхфазного тока КЗ в расчётной точке К1

$$I_{k1}^{(3)} = \frac{1}{0,012} \cdot 0,015 = 1,25 \text{ кА.}$$

Полное сопротивление и ток КЗ в расчётной точке К2

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (29)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525)^2 + 0,006^2} = 0,062 \text{ o.e.}$$

$$I_{k2}^{(3)} = \frac{1}{0,062} \cdot 0,23 = 3,71 \text{ кА.}$$

Полное сопротивление и ток КЗ в точке К3

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T + X_{w3})^2 + (R_{w1} + R_{w3})^2}. \quad (30)$$

$$Z_{\Sigma k3} = \sqrt{(0,005 + 0,005 + 0,0525 + 0,0135)^2 + (0,006 + 0,093)^2} = 0,125 \text{ o.e.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(3)} = \frac{1}{0,125} \cdot 0,23 = 1,84 \text{ кА.}$$

Ударный ток трёхфазного КЗ определяется так:

$$I_{y\partial} = \sqrt{2} \cdot K_{y\partial} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (31)$$

Ударный ток трёхфазного КЗ в расчётных точках К1-К3

$$I_{y\partial.\kappa 1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,25 = 2,47 \text{ кА.}$$

$$I_{y\partial.\kappa 2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 3,71 = 5,25 \text{ кА.}$$

$$I_{y\partial.\kappa 3} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 1,84 = 2,6 \text{ кА.}$$

Ток двухфазного КЗ [12]

$$I_{\kappa}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (32)$$

Следовательно

$$I_{\kappa 1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,25 = 1,08 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 3,71 = 3,21 \text{ кА.}$$

$$I_{\kappa 3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,84 = 1,59 \text{ кА.}$$

Полученные в работе результаты расчётов токов КЗ приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчётов токов КЗ

| Точка КЗ | U _б , кВ | I _б , кА | K _{...n} | I ⁽³⁾ кА | I ⁽²⁾ кА | I _{уд} , кА |
|----------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| К1 | 10,5 | 0,015 | 1,40 | 1,25 | 1,08 | 2,47 |
| К2 | 0,4 | 0,23 | 1,00 | 3,71 | 3,21 | 5,25 |
| К3 | 0,4 | 0,23 | 1,00 | 1,84 | 1,59 | 2,60 |

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Для защиты и коммутации цеховой трансформаторной подстанции системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 на напряжении 6 кВ на питающем РУ-6 кВ используются высоковольтные выключатели.

Для обеспечения безопасности проводимых работ с целью создания видимого разрыва в РУ-6 кВ цеховой трансформаторной подстанции системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 применяются втычные контакты (ножи) ячеек типа КРУ (комплектные распределительные устройства).

Для коммутации сети 6 кВ на ТП-6/0,4 кВ установлен выключатель нагрузки, защищённый предохранителем (защита от коротких замыканий вследствие отсутствия таковой у выключателя нагрузки).

Выбор аппаратов осуществляется так [6-8]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (33)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (34)$$

Проверка аппаратов [14]:

$$I_{nt} \leq I_{откл}. \quad (35)$$

$$(\sqrt{2} \cdot I_{\pi\tau} + i_{ат}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{отк.н} (1 + \beta_n), \quad (36)$$

$$t = t_{з.мин} + t_{с.в}, \quad (37)$$

$$i_y \leq i_{нр.с}, \quad (38)$$

$$B_k \leq I_T^2 t_T; \quad (39)$$

$$B_k = I_k^2 (t_{отк} + T_a), \quad (40)$$

Выбор электрических аппаратов высокого напряжения на стороне ВН трансформаторной подстанции системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 рассмотрен на примере вводного выключателя в РУ-6 кВ.

Предварительно выбирается для установки в РУ-6 кВ трансформаторной подстанции системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10, вакуумный выключатель ВВ/TEL-10-8/630 У2 и проводится его проверка по условиям, приведённым выше [8]

$$U_{ном} = 6 \text{ кВ} = U_{сети} = 6 \text{ кВ}.$$

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

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

$$i_{нр.св} = 20 \text{ кА} > i_{ук1} = 15,27 \text{ кА}.$$

Окончательно выбирается для установки на вводе РУ-6 кВ трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха 10 выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-8/630 У2.

Установлено, что выбранный высоковольтный выключатель удовлетворяет всем условиям проверок, поэтому может быть использован в качестве вводного выключателя в РУ-6 кВ трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха 10.

Конструкция выбранного выключателя ВВ/TEL-10-8/630 У2 показана в графической части работы.

Ячейки КРУ-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания трансформаторной подстанции системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10, комплектуются

соответствующими типами инновационных электрических аппаратов, выбор которых проводится аналогично выбору вводного выключателя 6 кВ, приведённому ранее по условиям.

Результаты выбора электрических аппаратов для их непосредственной установки в ячейках КРУ-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания цеховой трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха 10, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 6 кВ

| Наименование аппарата | Марка (типономинал) аппарата |
|---------------------------------|------------------------------|
| Выключатель высокого напряжения | ВВ/TEL-10-8/630 У2 |
| Предохранитель плавкий | ПК-10-20-31,5/У3 |
| Трансформатор тока | ТПОЛМ-10 |
| Трансформатор напряжения | НТМИ-10 |
| Ограничители перенапряжений | ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1 |
| Выключатель нагрузки | ВНПу-10/ 400-10-У3 |

Выбранные типы и марки электрических аппаратов номинальным напряжением 6 кВ для их установки в ячейках КРУН-6 кВ РП-6 кВ, служащие для питания трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10, показаны в графической части работы.

Номинальные токи автомата и теплового расцепителя [15]:

$$I_{ном.а} \geq I_p. \quad (41)$$

$$I_{ном.т.р} \geq 1,1 \cdot I_p. \quad (42)$$

Ток уставки электромагнитного расцепителя [14]:

$$I_{ном.э.р} \geq K_{то} \cdot I_p \geq I_k, \quad (43)$$

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

Для защиты одиночных электродвигателей [14]:

$$I_p = I_{ном} \quad (44)$$

$$I_n = I_{пуск} \quad (45)$$

Для примера выбирается автомат ввода ТП-6/0,4 кВ с расчётным током, равным рабочему току силового трансформатора выбранной мощности 160 кВА с учётом резервирования [14]

$$I_{p.c} = \frac{I_{p.г}}{1,4}, A, \quad (46)$$

где $I_{p.г}$ – расчётный ток вводного выключателя, А.

$$I_{p.c} = \frac{339,6}{1,4} = 242,6 A.$$

$$250 \geq 242,6, A.$$

$$250 = 250, A.$$

$$750 = 3 \cdot 250, A.$$

Выбирается автомат ввода ТП-6/0,4 кВ марки ВА57-35, $I_{ном.a} = 250 A$, $I_{y.m.p.} = 250 A$, $I_{y.э.p.} = 750 A$.

Условия выбора и проверок автомата выполняются

$$I_{ном.a} = 250 A \geq I_p = 242,6 A.$$

$$I_{ном.m.p} = 250 A \geq 1,05 \cdot 242,6 = 248,6 A.$$

$$I_{ном.э.p} = 750 A \geq 250 A.$$

Окончательно выбирается автомат ввода ТП-6/0,4 кВ марки ВА57-35, $I_{ном.а} = 250$ А, $I_{у.т.р.}=250$ А, $I_{у.э.р.}=750$ А. Выбор остальных автоматических выключателей системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 осуществлён аналогично (таблица 8).

Таблица 8 – Результаты выбора автоматов питающей сети 0,38/0,22 кВ ТП-6/0,4 кВ цеха 10

| Наименование | I_p , А | Марка автоматического выключателя | $I_{ном.а}$, А | $I_{у.т.р.}$, А | $I_{у.э.р.}$, А |
|--|-----------|-----------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Вводной и секционный автоматы | | | | | |
| Вводной автомат | 339,6 | ВА57-39 | 400 | 400 | 1200 |
| Секционный автомат | 242,6 | ВА57-35 | 250 | 250 | 750 |
| Линейные автоматы силовой питающей сети 0,38/0,22 кВ | | | | | |
| СРШ1 | 108,65 | ВА57-35 | 250 | 125 | 375 |
| СРШ2 | 51,57 | ВА57-35 | 250 | 80 | 240 |
| СРШ3 | 26,62 | ВА57-35 | 250 | 80 | 240 |
| СРШ4 | 105,36 | ВА57-35 | 250 | 125 | 375 |
| СРШ5 | 50,53 | ВА57-35 | 250 | 80 | 240 |
| Линейные автоматы осветительной питающей сети 0,38/0,22 кВ | | | | | |
| ЩРО | 12,5 | ВА 47-29/16С | 16 | 16 | 48 |
| ЩАО | 1,3 | ВА 47-29/6С | 6 | 6 | 18 |

Для примера выбирается автомат для защиты и коммутации электроприёмника №1 по плану. Предварительно принимается автомат марки ВА 47-29/25С: « $I_{на}=25$ А; $I_{ном.т.р}=12,5$ А; $K_{то}= 7$ » [8].

Условия проверок выполняются

$$I_{ном.а} = 25 А \geq I_p = 10,49 А.$$

$$I_{ном.т.р} = 12,5 А \geq 1,1 \cdot 10,49 = 11,54 А.$$

$$I_{ном.э.р} = 7 \cdot 12,5 = 87,5 А \geq 78,71.$$

Выбор остальных автоматов распределительной сети 0,38/0,22 кВ аналогичен и результаты выбора и проверки приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты выбора автоматов для защиты и коммутации оборудования цеха 10, питающегося от реконструируемой ТП-6/0,4 кВ

| Наименование оборудования | I_p, A | Параметры автомата | | |
|---|----------|--------------------|----------------|------------------|
| | | Марка | $I_{ном.а}, A$ | $I_{ном.т.р}, A$ |
| Компрессор подачи толуола | 10,49 | ВА 47-29/25С | 25 | 12,5 |
| Главный привод комплекса первичной очистки | 19,18 | ВА 47-29/25С | 25 | 20 |
| Насос технической воды | 19,18 | ВА 47-29/25С | 25 | 20 |
| Компрессор подачи бензола | 19,18 | ВА 47-29/25С | 25 | 20 |
| Привод каталитического риформинга 1 ступени | 10,49 | ВА 47-29/25С | 25 | 12,5 |
| Привод каталитического риформинга 2 ступени | 10,49 | ВА 47-29/25С | 25 | 12,5 |
| Фильтрационный комплекс | 19,18 | ВА 47-29/25С | 25 | 20 |
| Вакуум-фильтр | 14,80 | ВА 47-29/25С | 25 | 16 |
| Дренажный насос | 18,42 | ВА 47-29/25С | 25 | 20 |
| Подогреватель технический | 12,15 | ВА 47-29/25С | 25 | 12,5 |
| Привод установки сернокислотной очистки | 16,50 | ВА 47-29/25С | 25 | 20 |
| Привод каталитической гидроочистки | 27,35 | ВА 47-29/40С | 40 | 31,5 |
| Насос ректификации рафината | 4,63 | ВА 47-29/25С | 25 | 6,3 |
| Привод установки полимеризации | 18,42 | ВА 47-29/25С | 25 | 20 |
| Насос установки полимеризации | 19,18 | ВА 47-29/25С | 25 | 20 |
| Вентилятор вытяжной | 6,13 | ВА 47-29/25С | 25 | 6,3 |
| Ректификационная колонна | 33,8 | ВА 47-29/40С | 40 | 40 |
| Привод установки гидрирования | 24,66 | ВА 47-29/25С | 25 | 25 |

Все выбранные аппараты приведены на графическом листе 2.

2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии на ТП-6/0,4 кВ

Известно, что до проведения реконструкции, на ПС-35/10 кВ были установлены устаревшие индуктивные приборы учёта и контроля

электроэнергии, которые выработали свой ресурс. Кроме того, такие устаревшие приборы обладают большой погрешностью измерений (до 25%), поэтому их замена на новые современные типы, лишённые указанных недостатков, является актуальной задачей работы.

Согласно [7,19,21], на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 предусматривается установка АСКУЭ.

Результаты расчета капитальных вложений на внедрение системы АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии потребителей реконструируемой ТП-6/0,4 кВ цеха 10 представлены в виде таблицы 10.

Для реализации системы АСКУЭ на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 предусматриваются следующие составные элементы.

Также указана их стоимость в рублях (по среднестатистическим укрупнённым показателям стоимости).

Таблица 10 – Результаты расчета капитальных вложений на внедрение системы АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии потребителей реконструируемой ТП-6/0,4 кВ цеха 10

| Тип оборудования | Цена, руб. |
|--|------------|
| Счётчик «Меркурий» | 23400 |
| GSM модем | 14600 |
| Сервер для накопления данных с GSM модуля | 50000 |
| АРМ диспетчера (с ПК и оборудованием – комплект) | 150000 |
| Программное обеспечение и наладка | 80000 |
| Трансформатор тока ТЛМ | 136560 |
| Трансформатор напряжения НАМИ | 203200 |
| Расходный материал | 20000 |
| Монтаж | 271304 |
| Транспортные расходы | 67826 |
| Накладные расходы | 101739 |
| Итого капитальных вложений (КВ) | 1119129 |

Структурная схема АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 приведена на рисунке 2.

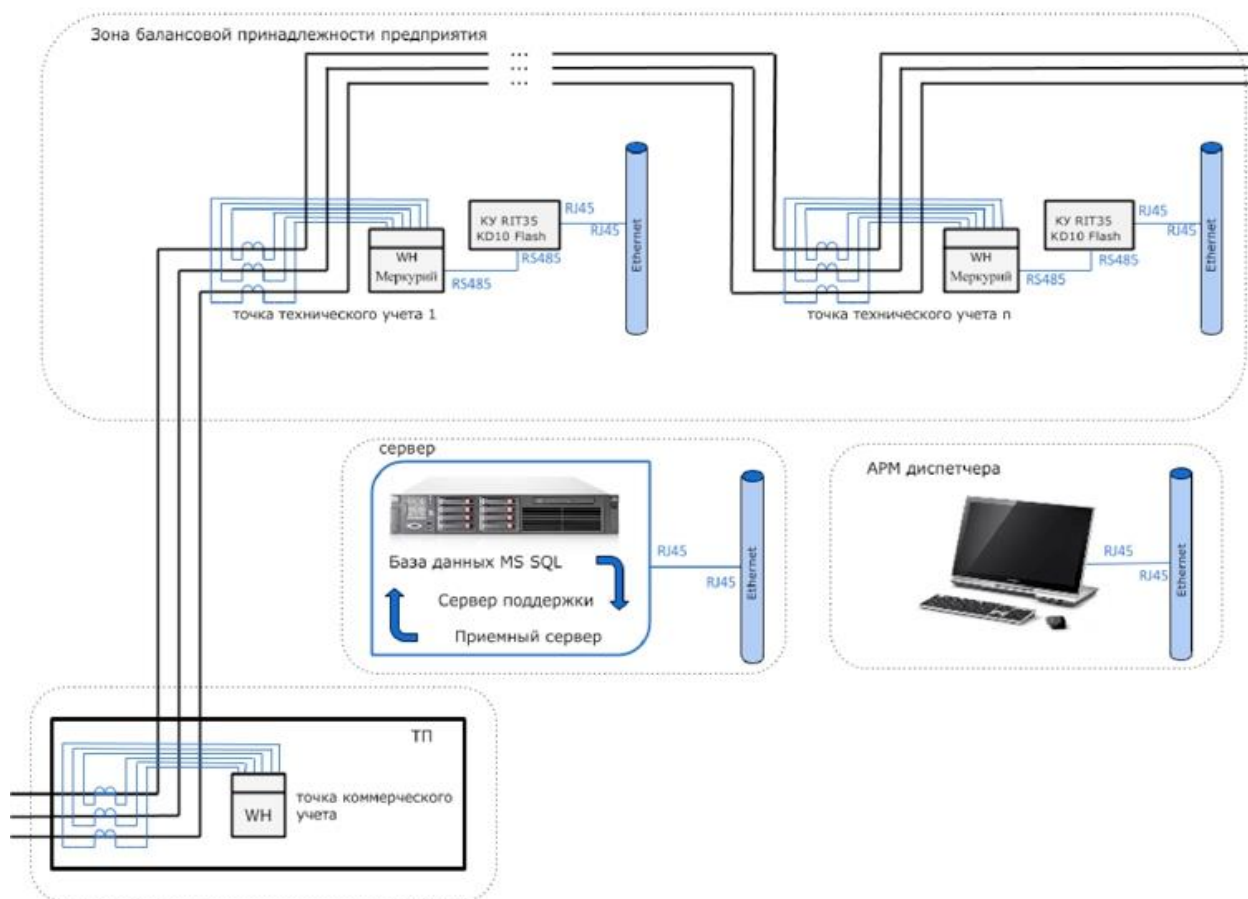


Рисунок 2 – Структурная схема АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии на ТП-6/0,4 кВ

Электрическая схема АСКУЭ для учёта и контроля электроэнергии на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 после проведения реконструкции приведена в графической части.

2.9 Разработка мероприятий по энергосбережению в системе электроснабжения цеха 10

Рассматривая вопрос энергосбережения в системе электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10, следует учитывать, что экономия энергии является важным, хотя и не единственным фактором, определяющим высокий технико-экономический уровень развития электромеханических систем.

Важное значение имеет безопасность работы обслуживающего персонала и надежность отдельных элементов и электроустановки в целом.

Этим определяется производительность установки, затраты на ее ремонт и эксплуатацию.

Планово-предупредительный ремонт обеспечивает не только правильную и безаварийную эксплуатацию электрооборудования, но и значительную экономию электроэнергии.

В первую очередь, это режим смазывания подшипников, как электрических машин, так и приводной установки.

Правильный режим смазки с применением соответствующего масла, уменьшает потери на трение в узлах машин, облегчает их ход и уменьшает потребление электроэнергии электроприводом.

Важное значение имеет применение ограничителей холостого хода электродвигателей, а также и силовых трансформаторов на понизительной подстанции системы электроснабжения цеха 10.

На экономию электроэнергии влияет также номинальное загрузки электродвигателей, работающих в цеху 10.

Много электроэнергии расходуется в пускорегулирующей аппаратуре, поэтому нужно больше внедрять бесконтактную аппаратуру.

Важное значение имеет рациональное использование электроэнергии на освещение цеха 10.

Большая роль в снижении расхода электроэнергии на освещение принадлежит высоко экономичным люминесцентным лампам.

При эксплуатации люминесцентные лампы нужно заменять не тогда, когда они перестают работать, а когда теряют часть первоначального светового потока (примерно на 30%).

Не допускать работу люминесцентных светильников с отключенными конденсаторами, при отсутствии в пускорегулирующей аппаратуре конденсатора и наличии одних дросселей, коэффициент мощности такого светильника равен 0,5.

Большое значение для улучшения освещения имеет правильный выбор светильников, лучшей арматурой для люминесцентных ламп являются светильники ОД, ОПР, ОДО, ВЛВ и др.

На улучшение освещения влияет цвет краски стен, потолка, пола производственного помещения. Большое значение для рационального использования электроэнергии имеет строгое нормирование ее как по отдельным цехам, так и по организации в целом. Нужно устанавливать нормы затрат на единицу продукции, организовывать действенный контроль за рациональным использованием электроэнергии.

Большое значение для экономии электроэнергии имеет повышение коэффициента мощности $\cos \varphi$.

Значение $\cos \varphi$ должно составлять не ниже 0,92 - 0,95. Все элементы электрической сети выбираются по номинальному току, величина которого обратно пропорциональна коэффициенту мощности.

Потери электроэнергии обратно пропорциональны квадрату коэффициента мощности.

Основными методами повышения $\cos \varphi$ являются:

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

Выводы по разделу 2.

В результате выполнения второго раздела работы, согласно поставленным в работе основным задачам, осуществлена разработка проекта

реконструкции системы электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10. В связи с этим, во втором разделе работы осуществлены следующие мероприятия:

- ввод в эксплуатацию второго ввода от источника питания (РП-6 кВ предприятия), который подключается ко второй секции сборных шин РП-6 кВ по условию резервирования и секционирования [1];

- реконструкция схемы РУ-6 кВ с заменой её с магистральной схемы питания РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ на радиальную двухлучевую схему (без наличия ответвлений) с резервированием на питающем РП-6 кВ. Указанная схема характеризуется высокой надёжностью и подходит для питания потребителей II категории надёжности;

- выбор и проверка сечение кабельной линии второго ввода в РУ-6 кВ от РП-6 кВ завода (выбран кабель марки АСБ-6(3×16));

- установка дополнительных коммутационных и защитных аппаратов в РУ-6 кВ для защиты и коммутации второго источника питания ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия. В работе выбраны и проверены следующие электрические аппараты напряжением 6 кВ в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ для защиты и коммутации нового источника питания: выключатель высокого напряжения на питающем РП-6 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 с трансформаторами тока типа ТПОЛМ-10; непосредственно в РУ-6 кВ установлены предохранители марки ПК103-6-40-31,5/У3, а также выключатели нагрузки типа ВНПу-10/400-10-У3.

Кроме того, установлены современные средства учёта и контроля электроэнергии на ТП-6/0,4 кВ, в качестве которых выбрана АСКУЭ с использованием лимитов энергопотребления и применения дифференцированных тарифов по времени суток. В работе также проведён расчёт капитальных вложений на систему АСКУЭ.

Выбор кабельных линий и электрических аппаратов осуществлён на основе рассчитанных фактических значений электрических нагрузок, а их проверка и работоспособность подтверждена проверками.

3 Разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда

3.1 Обеспечение безопасности жизнедеятельности

При выполнении работ на понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 необходимо неукоснительно придерживаться следующих правил и требований [2,3]:

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

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

Известно, что понизительные подстанции высокого напряжения являются источниками повышенной опасности как для обслуживающего персонала, так и для флоры и фауны. В виду этого, при выполнении работ на понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10, необходимо строго соблюдать мероприятия по технике безопасности и охране труда в целом, а также нормы экологической безопасности [2,3,12].

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

- при прикосновении к токоведущим частям под напряжением (токоведущие силовые цепи электроустановок, собственные нужды, оперативные цепи релейной защиты и автоматики);
- при приближении на недопустимое расстояние к токоведущим частям электроустановок понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10;
- при прикосновении к заземленным нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (напряжение прикосновения);

– при нахождении человека вблизи заземления (менее 8 м), с которого проходит ток в землю (напряжение шага или иного возможного замыкания на землю) в понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10.

Кроме того, существует вероятность прочих производственных видов опасности:

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

– возможность ушибов и переломов конечностей вследствие падений при движении по неровной или скользкой, или неосвещённой поверхности;

– опасность повреждения организма вследствие попадания конечностей под трущиеся и вращающиеся объекты электрооборудования.

Возникновения пожара на объектах возможно при следующих обстоятельствах:

– при коротких замыканиях;

– при прямых попаданиях молнии;

– при перегреве и внутренних коротких замыканиях масляных трансформаторов на подстанции;

– при разрушении и перегрева изоляции с последующим возгорания;

– при перегреве токоведущих частей от перегрузки при неправильном их выборе.

Охрана труда и техника безопасности при выполнении работ в электроустановках понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 лежат в основе производственной деятельности любой организации.

Контроль за соблюдением норм по охране труда и технике безопасности возложен на соответствующие контролирующие органы и организации, имеющие право, как поощрять добросовестных исполнителей, так и наказывать злостных нарушителей трудовой дисциплины.

На предприятиях и установках энергетики страны контроль за соблюдением норм и положений охраны труда и техники безопасности возложен на руководителей предприятий (организаций, филиалов и т.д.).

Они несут полную ответственность за соблюдение техники безопасности своими подчинёнными, выполнение норм и требований основных нормативных документов по охране труда и технике безопасности, соблюдением должностных обязанностей всеми структурными группами и элементами данной организации (предприятия).

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

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

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

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

Существует 5 групп по электробезопасности. Проводится периодическая проверка знаний персонала, оформляется по установленным нормам допуск к работе, то есть выписывают наряды. Периодически проверяют выполнение правил по технике безопасности.

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

При ремонте электрооборудования понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10, необходимо убедиться в надежном отключении установки от источника питания.

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

Для персонала, работающих в опасных условиях, выдаются средства индивидуальной защиты.

Электротехническому персоналу, работающему в электроустановках понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10, выдаются перчатки, коврики, очки и другие защитные средства.

Особо следует уделить внимание электроинструменту.

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

Электротехнический персонал понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10, на рабочем месте должен выполнять только ту работу, которая ему поручена (по наряду, распоряжению, в порядке текущей эксплуатации) и входит в круг его обязанностей с выполнением требований [1-4,18] и инструкций по охране труда.

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

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

В подавляющем большинстве случаев при выполнении работ в электроустановках понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10, всё напряжение с токоведущих частей должно быть снято, рабочее место ограждено, а каждый член бригады должен знать и чётко выполнять свои обязанности при соответствующем виде работ.

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

1) руководитель работ – как правило, назначается из лиц инженерно-технического персонала. В обязанности руководителя работ входит

непосредственная и качественная организация проведения соответствующих работ, инструктаж бригады на рабочем месте, контроль за выполнением работ, распределение обязанностей членов бригады. Руководитель работ должен иметь группу допуска не ниже третьей при выполнении работ в электроустановках напряжением до 1 кВ и не ниже четвертой при выполнении работ в электроустановках напряжением выше 1 кВ;

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

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

4) исполнитель работ – член бригады, который непосредственно выполняет работу в электроустановках. Как правило, это – рабочий персонал (электромонтёр, электрослесарь, электромонтажник и т.д.). Исполнитель работ может иметь любую группу допуска, однако при наличии второй группы его работу должен контролировать более опытный исполнитель работ либо наблюдающий. Также при наличии второй группы исполнитель работ не имеет права работать в электроустановках под наведенным напряжением или с его частичным снятием, а также в особо опасных установках и условиях. При

наличии третьей группы допуска исполнитель работ может выполнять работы с полным снятием напряжением в электроустановках как до 1 кВ, так и выше 1 кВ.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Особо следует сказать о роли защитного заземления в сетях ТП-6/0,4 кВ и его влияние на поражение человека электрическим током.

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

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

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

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

Между собой заземлители заземляющего устройства соединяют на глубине 0,5 - 0,7 м с помощью сварки стальной полосой размерами не менее 40x4 мм или прутком диаметром 10 – 12 мм [13].

Заземляющие проводники соединяют заземлитель с частями электроустановки, которые заземляются.

В электроустановках согласно [4,18]:

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

– проводимость защитного проводника в соответствии с [5] должна быть не ниже 50% проводимости фазного провода.

Каждый элемент заземляется и должен быть подключен к сети заземления отдельным ответвлением (заземляющим проводником), а внутреннюю заземляющую сеть следует соединить с внешним заземляющим контуром не менее, чем в двух местах [12].

Для заземления электроустановок различных назначений и различных напряжений, территориально приближенных одна к другой, применяют один общий заземляющий контур, сопротивление которого принимается равным сопротивлению той установки, где он является минимальным [12].

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

3.2 Обеспечение экологической безопасности

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

При реконструкции КЛ-6 кВ, питающих РУ-6 кВ понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10, должны выполняться требования нормативных документов, регламентирующих уровень допусков.

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

Надежным средством обеспечения экологической безопасности в электроэнергетике должен стать механизм ее правового обеспечения, который с учетом подходов, выработанных в [19], включающий составляющие:

- законодательное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;
- организационно-структурное обеспечение экологической безопасности в электроэнергетике;

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

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

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

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

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

Итак, экологический риск от негативного влияния понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 и линий электропередач 6 кВ на элементы окружающей среды, жизни и здоровья людей, оказывается за загрязнения атмосферного воздуха химическими веществами и физическими факторами, загрязнение водных и земельных объектов химическими веществами; загрязнения земельных участков отходами.

Указанные мероприятия по охране окружающей среды должны быть приняты к сведению и внедрены в систему электроснабжения понизительной подстанции ТП-6/0,4 кВ цеха 10.

3.3 Расчет контура заземления ТП-6/0,4 кВ

Для обеспечения электробезопасности на объектах необходимо установить заземляющее устройство в виде контура заземления.

В работе для этой цели контур заземления сооружается на питающей ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания». Проводится его расчёт. Заземляющее устройство (ЗУ) ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» служит для обеспечения безопасности обслуживающего персонала и используется одновременно при напряжениях до и выше 1000 В.

Определяется расчётное значение удельного сопротивления грунта

$$\rho_p = \rho_{ep} \cdot K_u, \quad (47)$$

где ρ_{ep} – удельного сопротивления грунта (для суглинка), Ом [16];

K_u – нормируемый коэффициент использования заземлителей в контуре заземления [16].

$$\rho_p = 7,5 \cdot 1,6 = 120 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Определяется расчётное сопротивление заземления трубы, верхний конец которой заглублён в землю

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{\rho_p}{l} \left(\lg \frac{2 \cdot l}{0,95 \cdot d} + 0,5 \lg \frac{4t + 3l}{4t + l} \right), \text{ Ом}. \quad (48)$$

где h – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя

(принимается $h = 1,95$ м).

$$R_3 = 0,366 \cdot \frac{120}{2,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0,07} + 0,5 \lg \frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{4 \cdot 1,95 - 2,5} \right) = 30,45 \text{ Ом}.$$

Расчётное число одиночных заземлителей

$$N_3 = \frac{R_3}{R_{3.н}}, \text{шт.} \quad (49)$$

$$N_3 = \frac{30,45}{4} = 7,6 \text{ шт.}$$

Принимается целое число, т.е. $N_3 = 8$ шт.

По числу заземлителей $N_3 = 8$ шт. принимается значение отношения расстояния между заземлителями L_T к длине l : $L_T/l=1$.

Значение коэффициента экранирования $\eta_э=0,64$.

Расстояние между заземлителями

$$L_T = l \cdot m, \text{ м.} \quad (50)$$

$$L_T = 2,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ м.}$$

Количество заземлителей с учётом коэффициента экранирования

$$N_{3.э} = \frac{R_3}{R_{3.н} \cdot \eta_э}, \text{шт.} \quad (51)$$

$$N_{3.э} = \frac{30,45}{4 \cdot 0,64} = 11,89 \text{ шт.}$$

Окончательно принимается 12 вертикальных заземлителей.

Конструкция заземляющего устройства показана на рисунке 3.

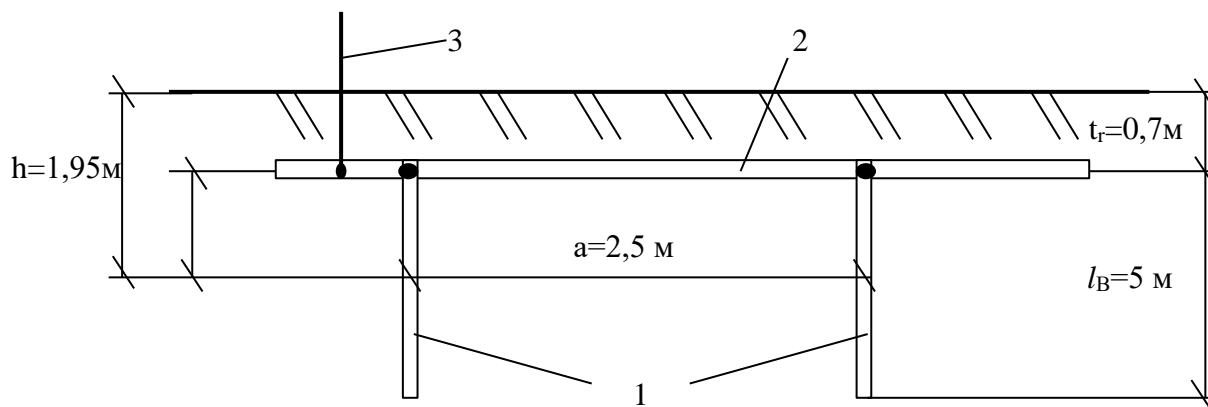


Рисунок 3 – Конструкция заземляющего устройства: 1 – вертикальный заземлитель; 2 – горизонтальный заземлитель; 3 – заземляющий проводник

Окончательно принимается к установке в контуре заземления на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» двенадцать вертикальных заземлителей (электродов).

Все требования нормативных документов к спроектированному контуру заземления выполняются.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения третьего раздела, установлено, что мероприятия по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» являются важной составляющей работ и обязательны к применению.

Проведён расчёт контура заземления, который устанавливается на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» согласно требований нормативных документов [2-4].

Окончательно принято к установке в контуре заземления на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» двенадцать вертикальных заземлителей (электродов).

Заключение

В результате выполнения работы осуществлена разработка проекта реконструкции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

Для реализации указанной основной цели работы, в работе проведено решение основных поставленных задач:

- анализ исходных данных по объекту исследования с рассмотрением основных теоретических положений, необходимых для осуществления проектирования;
- непосредственная разработка проекта реконструкции ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания»;
- разработка мероприятий по технике безопасности и охране труда, а также по экологической безопасности на объекте исследования.

В результате выполнения первого раздела работы, проведён анализ исходных данных. Рассмотрены требования, предъявляемые к системам электроснабжения предприятий нефтехимической отрасли. Приведена техническая характеристика трансформаторной подстанции ТП-6/0,4 кВ и её потребителей до проведения реконструкции.

На основе приведённых положений основных нормативных документов, учитывая схему соединений, категорию надёжности и установленное оборудование, обоснована необходимость проведения реконструкции ТП-6/0,4 кВ (основное мероприятие), а также дополнительных мероприятий по реконструкции ТП-6/0,4 кВ, питающей потребители цеха 10 на напряжении 0,38/0,22 кВ.

В результате выполнения второго раздела работы, осуществлена непосредственная реконструкция ТП-6/0,4 кВ, которое осуществляется в работе вследствие подключения дополнительного источника питания для второго трансформатора ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия. Вследствие этого, осуществлены следующие мероприятия по реконструкции РУ-6 кВ ТП-

6/0,4 кВ:

– ввод в эксплуатацию второго ввода от источника питания (РП-6 кВ предприятия), который подключается ко второй секции сборных шин РП-6 кВ по условию резервирования и секционирования [1];

– реконструкция схемы РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ цеха 10 с заменой её с магистральной схемы питания на радиальную двухлучевую схема (без наличия ответвлений) с резервированием на питающем РП-6 кВ. Указанная схема характеризуется высокой надёжностью и подходит для питания потребителей II категории надёжности;

– выбор и проверка сечение кабельной линии второго ввода в РУ-6 кВ от РП-6 кВ предприятия (выбран кабель марки АСБ-6(3×16));

– установка дополнительных коммутационных и защитных аппаратов в РУ-6 кВ для защиты и коммутации второго источника питания ТП-6/0,4 кВ от РП-6 кВ предприятия. В работе выбраны и проверены следующие электрические аппараты напряжением 6 кВ в РУ-6 кВ ТП-6/0,4 кВ для защиты и коммутации нового источника питания: выключатель высокого напряжения на питающем РП-6 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48 с трансформаторами тока типа ТПОЛМ-10; непосредственно в РУ-6 кВ установлены предохранители марки ПК103-6-40-31,5/У3, а также выключатели нагрузки типа ВНПу-6/400-10-У3.

Кроме того, в работе проведены дополнительные мероприятия по реконструкции и модернизации системы электроснабжения питающей ТП-6/0,4 кВ, которая питает систему электроснабжения цеха 10, а именно:

– установлены на питающей ТП-6/0,4 кВ два силовых трансформатора марки ТМГ-160/6, номинальная мощность которых выбрана и проверена в работе;

– для компенсации реактивной мощности выбраны две комплектные конденсаторные установки типа УК БН-0,38-50-50У3;

– обеспечено питание всех СРШ цеха 10 по радиальной схеме электроснабжения от шин 0,4 кВ питающей ТП-6/0,4 кВ. Для питания

потребителей цеха 10 выбраны современные кабельные линии марки АВББШвнг (питающая сеть) и ВВГнг-LS (распределительная сеть) различных сечений;

– модернизированы электрические аппараты напряжением 0,38/0,22 кВ на ТП-6/0,4 кВ системы электроснабжения цеха 10 путём их замены на современные марки, обладающие компактностью, надёжностью и улучшенными техническими характеристиками (выбраны современные автоматы марки ВА различных типоминалов);

– установлены современные средства учёта и контроля электроэнергии на ТП-6/0,4 кВ, в качестве которых выбрана АСКУЭ с использованием лимитов энергопотребления и применения дифференцированных тарифов по времени суток с использованием электронного счётчика «Меркурий», позволяющая своевременно проводить мониторинг и лимитирование потребляемой электроэнергии.

Описаны мероприятия по безопасности жизнедеятельности и экологической безопасности при выполнении работ в системе электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания».

Проведён расчёт контура заземления, который устанавливается на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» согласно требований нормативных документов. Окончательно принято к установке в контуре заземления на ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» двенадцать вертикальных заземлителей (электродов).

Реконструированная система электроснабжения ТП-6/0,4 кВ цеха 10 АО «Новокуйбышевская Нефтехимическая Компания» отвечает установленным требованиям нормативных документов по всем требуемым критериям.

Список используемой литературы

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. – М.: Форум, НИЦ ИНФРА. 2016. 416 с.
2. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. – М.: Интернет Инжиниринг, 2007. 672 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Стандартиформ, 2014. 28 с.
4. Коптев А.А. Монтаж цеховых электрических сетей напряжением до 1 кВ. Справочник электромонтажника. – М: Энергоатомиздат, 2018. 192 с.
5. Кудрин Б. И. Электроснабжение. – М.: Academia, 2018. 352 с.
6. Курдюмов В.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. – М.: Колос, 2016. 184 с.
7. 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.
8. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2016. 224 с.
9. Неклепаев Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – М.: Энергоатомиздат, 2018. 608 с.
10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. – 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. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2015. 464 с.

14. Сибикин Ю.Д. Электроснабжение. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.

15. Справочник по проектированию электрических сетей. – М.: ЭНАС, 2018. 312 с.

16. Справочник по проектированию электроснабжения. – М.: Энергоатомиздат, 2016. 576 с.

17. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. – М.: Энергоатомиздат, 2016. 568 с.: ил.

18. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: Лань, 2017. 480 с.

19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. – М.: Форум, Инфра. 2018. 136 с.

20. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии. – М.: Издательство МЭИ, 2019. 964 с.

21. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. РД РАО «ЕЭС России». Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р – М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.