

**ФГБОУ ВПО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра электрических  
машин и электрооборудования

## **МОНТАЖ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ**

Электронное учебное пособие

**«Монтаж комплектных трансформаторных подстанций КТПН 10/0,4 кВ»**

Направление **110800** Агроинженерия

Авторы:

к.т.н., доцент Е.И. Мухортова

ст. преп. Д.Е. Валишин

Уфа 2012

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |    |
|--|----|
| 1 БЛОК НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  | 4  |
| 1.1 Основные термины и определения   | 4  |
| 1.2 Типовой проект   | 7  |
| 1.3 Общие нормативные требования   | 9  |
| 2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ  | 14 |
| 2.1 Классификация КТП 10/0,4 кВ  | 14 |
| 2.2 Структура условного обозначения КТПН   | 15 |
| 2.3 Габаритные размеры и основные электрические параметры                                | 16 |
| 2.4 Комплектные трансформаторные подстанции наружной установки                           | 22 |
| 3 ОСНОВНЫЕ МОНТАЖНЫЕ БЛОКИ КТПН 10/0,4 КВ  | 25 |
| 3.1 Устройство ввода со стороны высшего напряжения                                       | 25 |
| 3.2 Распределительное устройство низкого напряжения РУНН 0,4 кВ                          | 40 |
| 3.3 Силовые трансформаторы   | 44 |
| 4 ЗАЩИТА ОСНОВНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОТ<br>КОММУТАЦИОННЫХ И ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ    | 57 |
| 4.1 Назначение, принцип работы и преимущества нелинейных ограничителей<br>перенапряжений | 57 |
| 4.2 Основные типы и конструкции ОПН 6 –10 кВ   | 59 |
| 4.3 Монтаж ОПН   | 62 |
| 5 ВЫБОР МЕСТА УСТАНОВКИ КТПН И МОНТАЖ ФУНДАМЕНТА   | 67 |
| 5.1 Выбор места установки КТПН и типа фундамента   | 67 |
| 5.2 Фундамент заглубленного типа   | 67 |
| 5.3 Фундамент незаглубленного типа   | 68 |
| 5.4 Проверка фундаментов под монтаж  | 70 |
| 5.5 Изготовление фундамента  | 70 |
| 6 ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КТПН 10/0,4 КВ  | 72 |
| 6.1 Монтаж внешнего контура заземления   | 73 |
| 6.2 Монтаж внутреннего контура заземления  | 85 |
| 7 МОНТАЖ КТПН  | 89 |

|  |     |
|--|-----|
| 7.1 Общие требования   | 89  |
| 7.2 Транспортировка и хранение оборудования                      | 90  |
| 7.3 Монтаж 10/0,4 кВ   | 91  |
| 7.4 Подготовка к работе и подключение к сети высокого напряжения | 98  |
| 7.5 Меры безопасности при монтаже КТПН                           | 99  |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК   | 102 |

# 1 БЛОК НОРМАТИВНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

## 1.1 Основные термины и определения

### *1.1.1 К разделу 2*

*Распределительным устройством (РУ)* называется электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

*Закрытым распределительным устройством (ЗРУ)* называется РУ, оборудование которого расположено в здании.

*Комплектным распределительным устройством* называется РУ, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и автоматики, поставляемое в собранном или полностью подготовленном для сборки виде.

*Комплектное распределительное устройство, предназначенное для внутренней установки,* сокращенно обозначается КРУ.

*Комплектное распределительное устройство, предназначенное для наружной установки,* сокращенно обозначается КРУН. Разновидностью КРУ является КСО - камера сборная одностороннего обслуживания.

*Подстанцией* называется электроустановка, служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений.

В зависимости от преобладания той или иной функции подстанций они называются трансформаторными или преобразовательными.

*Встроенной подстанцией* называется закрытая подстанция, вписанная в контур основного здания.

*Внутрицеховой подстанцией* называется подстанция, расположенная внутри производственного здания (открыто или в отдельном закрытом помещении).

*Пристроенной подстанцией* называется подстанция, непосредственно примыкающая к основному зданию.

*Комплектной трансформаторной подстанцией* называется подстанция, состоящая из трансформаторов и блоков (КРУ или КРУН и других элементов), поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде. Комплектные трансформаторные подстанции (КТП, КПП) или части их, устанавливаемые в закрытом помещении, относятся к внутренним установкам, устанавливаемые на открытом воздухе, - к наружным установкам.

*Столбовой (мачтовой) трансформаторной подстанцией* называется открытая трансформаторная подстанция, все оборудование которой установлено на конструкциях или на опорах ВЛ на высоте, не требующей ограждения подстанции.

### *1.1.2 К разделу 3*

*Трансформатором* называется электрический аппарат, предназначенный для преобразования параметров электрической энергии (изменения величин токов и напряжений).

*Понижающим трансформатором* называется трансформатор, предназначенный для понижения величины питающего напряжения и имеющий коэффициент трансформации меньше единицы.

*Камерой* называется помещение, предназначенное для установки аппаратов и шин.

*Закрытой камерой* называется камера, закрытая со всех сторон и имеющая сплошные (не сетчатые) двери.

*Огражденной камерой* называется камера, которая имеет проемы, защищенные полностью или частично несплошными (сетчатыми или смешанными) ограждениями.

*Смешанными ограждениями* называются ограждения из сеток и сплошных листов.

*Взрывной камерой* называется закрытая камера, предназначенная для локализации возможных аварийных последствий при повреждении установленных в ней аппаратов и имеющая выход наружу или во взрывной коридор.

*Коридором обслуживания* называется коридор вдоль камер или шкафов КРУ, предназначенный для обслуживания аппаратов и шин.

*Взрывным коридором* называется коридор, в который выходят двери взрывных камер.

### *1.1.3 К разделу 4*

*Фундаментом КТП* называется жесткая строительная конструкция (основание), специально выполняемая для установки узлов и блоков подстанции.

*Ленточным (незаглубленным) фундаментом* для установки КТП называется строительное основание, выполненное из бетона методом заливки, либо из специальных фундаментных блоков по определенной схеме.

*Заглубленным фундаментом* для установки КТП называется строительное основание, выполненное из железобетонных стоек различной конструкции, заглубляемых в специальные котлованы в грунте.

### *1.1.4 К разделу 5*

*Глухозаземленная нейтраль* - нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Глухозаземленным может быть также вывод источника однофазного переменного тока или полюс источника постоянного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока.

*Открытая проводящая часть* - доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

*Косвенное прикосновение* - электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

*Заземляющий проводник* - проводник, соединяющий заземляемую часть (точку) с заземлителем.

*Заземлитель* - проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

*Заземляющее устройство* - совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

*Сопротивление заземляющего устройства* - отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

*Защитное заземление* - преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством, выполняемое в целях электробезопасности.

*Защитное зануление* в электроустановках напряжением до 1 кВ - преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

## **1.2 Типовой проект**

Основным документом, регламентирующим монтаж КТПН, является типовой проект, который разрабатывается предприятием изготовителем.

Типовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Пояснительная записка включает следующие разделы [19]:

- введение;
- назначение и условия эксплуатации;

- схема электрических соединений (приводится описание схемы);
- конструкция (приводится описание конструкции основных узлов и блоков);
- заземление и грозозащита (приводится описание конструкции заземляющего устройства, величина его сопротивления, перечень заземляемого электрооборудования);
- рекомендации по применению проекта (приводятся рекомендации по привязке типового проекта КТП к конкретным условиям).

Графическая часть типового проекта включает комплект электрических схем и рабочих чертежей:

- чертеж общего вида КТП (с указанием габаритных и установочных размеров);
- план расположения основного электрооборудования (распределительных устройств высокого и низкого напряжений, трансформатора или трансформаторов);
- принципиальная электрическая схема главных цепей УВН (с перечнем элементов);
- принципиальная электрическая схема РУНН 0,4 кВ;
- принципиальная электрическая схема ШСН;
- электрические схемы соединений и подключения ящика учета электроэнергии;
- план расположения осветительной сети;
- план расположения заземляющего устройства (для различных видов вывода: кабельного и воздушного);
- чертеж общего вида установки КТП на фундамент различных типов: заглубленный и незаглубленный (с таблицей составных частей);
- сборочные чертежи установки разъединителей 10 кВ (со спецификациями).



### 1.3 Общие нормативные требования

При разработке типового проекта КТПН в обязательном порядке учитываются требования нормативных документов: ПУЭ, СНиП, стандартов РФ.

Нормативные требования ПУЭ [ ] распространяются на стационарные РУ и подстанции переменного тока напряжением выше 1 кВ.

1) Электрооборудование, токоведущие части, изоляторы, крепления, ограждения, несущие конструкции, изоляционные и другие расстояния должны быть выбраны и установлены таким образом, чтобы:

- вызываемые нормальными условиями работы электроустановки усилия, нагрев, электрическая дуга или другие сопутствующие ее работе явления (искрение, выброс газов и т.п.) не могли привести к повреждению оборудования и возникновению КЗ или замыкания на землю, а также причинить вред обслуживающему персоналу;

- при нарушении нормальных условий работы электроустановки была обеспечена необходимая локализация повреждений, обусловленных действием КЗ;

- при снятом напряжении с какой-либо цепи относящиеся к ней аппараты, токоведущие части и конструкции могли подвергаться безопасному осмотру, замене и ремонтам без нарушения нормальной работы соседних цепей;

- была обеспечена возможность удобного транспортирования оборудования.

Требования п. 1 не распространяются на РУ типа сборок выше 1 кВ в подстанциях, ремонт которых производится при отключении всего РУ.

2) Во всех цепях РУ должна быть предусмотрена установка разъединяющих устройств с видимым разрывом, обеспечивающих возможность отсоединения всех аппаратов (выключателей, отделителей предохранителей, трансформа-

торов тока, трансформаторов напряжения и т.п.) каждой цепи от сборных шин, а также от других источников напряжения.

Указанное требование не распространяется на шкафы КРУ и КРУН с выкатными тележками, высокочастотные заградители и конденсаторы связи, трансформаторы напряжения, устанавливаемые на отходящих линиях, разрядники, устанавливаемые на выводах трансформаторов и на отходящих линиях, а также на силовые трансформаторы с кабельными вводами.

В отдельных случаях, обусловленных конструктивными или схемными соображениями, допускается устанавливать трансформаторы тока до разъединителя, отсоединяющего остальные аппараты цепи от источников напряжения.

3) Выключатель или его привод должен иметь хорошо видимый и надежно работающий указатель положения («включено», «отключено»). Применение сигнальных ламп в качестве единственных указателей положения выключателя не допускается. Если выключатель не имеет открытых контактов и его привод отделен стеной от выключателя, то указатель должен быть и на выключателе, и на приводе.

4) Ошиновка РУ и подстанций должна выполняться, как правило, из алюминиевых, сталеалюминиевых и стальных проводов, полос, труб и шин из профилей алюминия и алюминиевых сплавов электротехнического назначения.

5) При переменном трехфазном токе шины должны быть обозначены:

- шины фазы *A* - желтым цветом, фазы *B* - зеленым, фазы *C* - красным, нулевая рабочая *N* - голубым, эта же шина, используемая в качестве нулевой защитной, - продольными полосами желтого и зеленого цветов;
- резервная шина - как резервируемая основная шина; если же резервная шина может заменять любую из основных шин, то она обозначается поперечными полосами цвета основных шин.

Цветовое обозначение должно быть выполнено по всей длине шин, если оно предусмотрено также для более интенсивного охлаждения или для антикоррозийной защиты.

6) Распределительные устройства 3 кВ и выше должны быть оборудованы оперативной блокировкой, исключающей возможность:

- включения выключателей, отделителей и разъединителей на заземляющие ножи и короткозамыкатели;
- включения заземляющих ножей на ошиновку, не отделенную разъединителями от ошиновки, находящейся под напряжением;
- отключения и включения отделителями и разъединителями тока нагрузки, если это не предусмотрено конструкцией аппарата.

На заземляющих ножах линейных разъединителей со стороны линии допускается устанавливать только механическую блокировку с приводом разъединителя и приспособление для запираания заземляющих ножей замками в отключенном положении.

Для РУ с простыми схемами электрических соединений рекомендуется применять механическую (ключевую) оперативную блокировку, а во всех остальных случаях - электромагнитную. Приводы разъединителей, доступные для посторонних лиц, должны иметь приспособления для запираания их замками в отключенном и включенном положениях.

7) РУ и подстанции выше 1 кВ должны быть оборудованы стационарными заземляющими ножами, обеспечивающими в соответствии с требованиями безопасности заземление аппаратов и ошиновки как правило, без применения переносных заземлений.

Заземляющие ножи должны быть окрашены в черный цвет. Рукоятки приводов заземляющих ножей должны быть окрашены в красный цвет, а рукоятки других приводов - в цвета оборудования.

В местах, в которых стационарные заземляющие ножи не могут быть применены, на токоведущих и заземляющих шинах должны быть подготовлены контактные поверхности для присоединения переносных заземляющих проводников.

При наличии трансформаторов напряжения заземление сборных шин должно осуществляться, как правило, заземляющими ножами разъединителей трансформаторов напряжения.

8) Указатели уровня и температуры масла маслонаполненных трансформаторов и аппаратов и другие указатели, характеризующие состояние оборудования, должны быть расположены таким образом, чтобы были обеспечены удобные и безопасные условия для доступа к ним и наблюдения за ними без снятия напряжения (например, со стороны прохода в камеру).

Для отбора проб масла расстояние от уровня пола или поверхности земли до крана трансформатора или аппарата должно быть не менее 0,2 м или должен быть предусмотрен соответствующий приямок.

9) Электропроводка цепей защиты, измерения, сигнализации и освещения, проложенная по электротехническим устройствам с масляным наполнением, должна быть выполнена проводами с маслостойкой изоляцией.

10) Распределительные устройства и подстанции должны быть оборудованы электрическим освещением. Осветительная арматура должна быть установлена таким образом, чтобы было обеспечено ее безопасное обслуживание.

11) Размещение РУ и подстанций, генеральный план и инженерная подготовка территории и защита их от затопления, оползней, лавин и т.п. должны быть выполнены в соответствии с требованиями СНиП Госстроя России.

12) Расстояния между РУ (подстанциями) и деревьями высотой более 4 м должны быть такими, чтобы исключались повреждения оборудования и ошиновки при падении дерева.

13) Для РУ и подстанций, размещаемых в районе жилой и промышленной застройки, должны предусматриваться мероприятия по снижению шума, создаваемого работающим электрооборудованием (трансформаторами, синхронными компенсаторами и т.п.), до значений, указанных в СНиП 11-12-77 Госстроя России.

14) Металлические конструкции ЗРУ, ОРУ и подстанций, а также подземные части металлических и железобетонных конструкций должны быть защищены от коррозии.

15) В качестве оперативного тока на подстанциях должен применяться переменный ток во всех случаях, когда это возможно и ведет к упрощению и удешевлению электроустановок при обеспечении необходимой надежности их работы.

## 2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КОМПЛЕКТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЯХ

### 2.1 Классификация КТП 10/0,4 кВ

Комплектные трансформаторные подстанции КТП 10/0,4 кВ классифицируют по следующим признакам:

1) В зависимости от конструктивного исполнения, принципиальных схем и применяемого оборудования КТП разделяются на следующие типы [10]:

- промышленного типа (КТПП) – для применения в системах электро-снабжения промышленных предприятий;
- городского типа (КТПГ) – для применения в городских электрических сетях;
- блочные в бетонной оболочке (БКТПБ) – с высокой степенью огнестойкости оболочки и перегородок внутренних отсеков;
- модульного типа (КТПМ) – поставляемых в виде полностью готовых к монтажу модулей, из которых можно выполнить различные варианты компоновки подстанции;
- наружного типа (КТПН) или наружной установки (КТПНУ)– для электроснабжения промышленных, городских и других объектов;
- киоскового типа (КТПК) – в металлическом корпусе типа «киоск»;
- универсальные (КТПУ) и мачтовые КТП – устанавливаются на специальных несущих конструкциях.

Условное буквенное обозначение КТП обычно включает букву, соответствующую типу подстанции.

2) По функциональному назначению КТП разделяют на проходные и типовые, предназначенные для электроснабжения потребителей.

3) В зависимости от места установки различают: подстанции для внутренней установки и подстанции для наружной установки.

КТП промышленного типа выпускаются для внутренней установки, КТП остальных типов – для наружной установки.

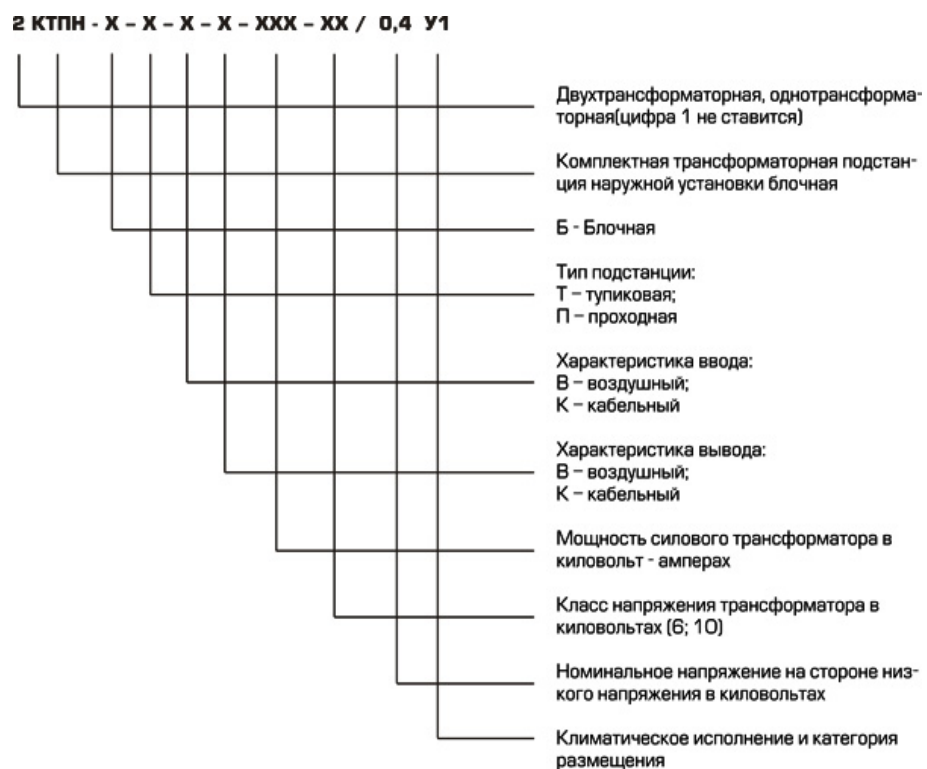
4) В зависимости от числа силовых трансформаторов КТП разделяются на одно- и двухтрансформаторные. Подстанции типов КТПП, КТПГ, БКТПБ, КТПН и КТПМ выпускаются одно- и двухтрансформаторными, остальные – только однострансформаторными.

5) В зависимости от характеристики ввода (присоединения к линии напряжением 10 кВ) различают КТП с кабельным или воздушным вводом.

В представленной работе в основном рассматриваются подстанции для наружной установки типа КТПН, а также частично КТПМ и КТПК.

## 2.2 Структура условного обозначения КТПН

Структура условного буквенно-цифрового обозначения КТПН имеет вид:



Пример записи обозначения комплектной однострансформаторной подстанции наружной установки, тупиковой, мощностью 400 кВА на номинальное напряжение 10/0,4 кВ, вида климатического исполнения У, категория размеще-

ния 1, с кабельным вводом и кабельным выводом при заказе и в документации:

**КТПН-Т-К-К-400-10/0,4 У1.**

## **2.3 Габаритные размеры и основные электрические параметры**

### **2.3.1 Однотрансформаторные КТПН**

Однотрансформаторные КТПН предназначены для питания потребителей III категории надежности электроснабжения, т.е. районных сетей электроснабжения жилых кварталов городских и сельских населенных пунктов. Согласно [12] для электроприемников третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток.

Конструктивно однотрансформаторные КТПН выпускают пяти габаритов (длина × ширина × высота), которые позволяют устанавливать силовой трансформатор различной мощности:

- габарит 1 (2395×2140×2450)мм - силовой трансформатор мощностью до 250 кВА;
- габарит 2 (2950×2200×2450)мм - силовой трансформатор мощностью до 630 кВА;
- габарит 3 (3700×2200×2450)мм - силовой трансформатор мощностью 630 кВА;
- габарит 4 (4000×2560×2450)мм - силовой трансформатор мощностью 1000 кВА;
- габарит 5 (6370×2600×2450)мм - силовой трансформатор мощностью 1000 кВА, конструкция блочного типа.

На рисунке 2.1 представлен общий вид однотрансформаторных КТПН различных габаритов [8].



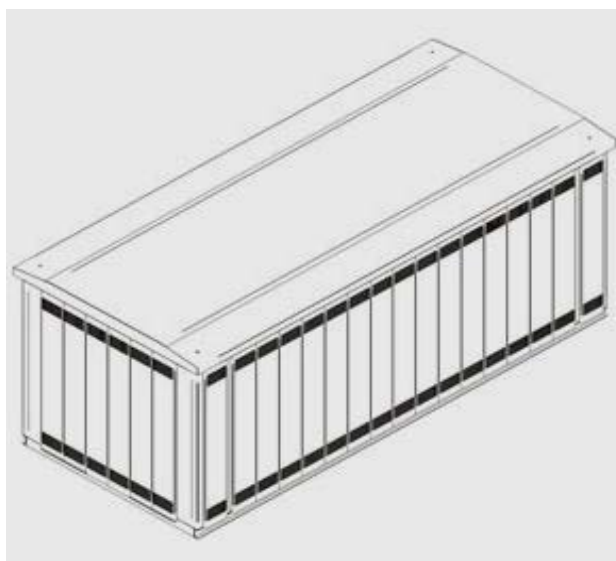
В таблице 2.1 представлены варианты конструктивного исполнения одно-трансформаторных КТПН, в таблице 2.2 - основные электрические параметры этих подстанций [8].



а



б



в

Рисунок 2.1 Общий вид однотрансформаторной КТПН 10/0,4 кВ:

а - габаритов 1 и 2; б – габаритов 3 и 4; в – габарита 5

Таблица 2.1 Варианты исполнения однострансформаторных КТПН 10/0,4 кВ

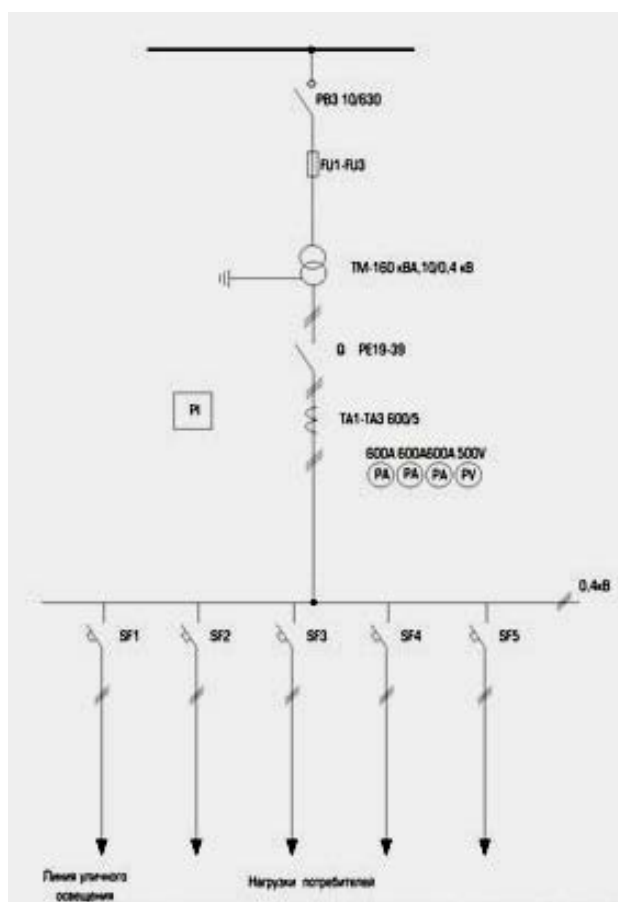
| Признак классификации  | Исполнение КТП  |
|--|---|
| Наименование КТП в зависимости от установленной в них аппаратуры, мощности силового трансформатора | КТПН (габарит 1) с разъединителем со стороны УВН<br>КТПН (габарит 2) с разъединителем со стороны УВН<br>КТПН (габарит 3) с выключателями нагрузки<br>КТПН (габарит 4 - 4000х2560) с камерами КС0-366М на стороне ВН<br>КТПН (габарит 5 - Блочная - 2600х6370) с тремя отсеками: УВН, трансформаторный, РУНН |
| Система сборных шин  | С одной системой сборных шин  |
| Условия обслуживания   | С трехсторонним обслуживанием   |
| Исполнение линейных высоковольтных вводов (подсоединений]  | Кабельные и шинные  |
| Изоляция ошиновки  | С неизолированными шинами   |
| Род установки  | Наружная установка  |
| Степень защиты от воздействия окружающей среды   | Без специальной защиты  |
| Степень защиты по ГОСТ 14254   | IP23  |

Таблица 2.2 Основные электрические параметры КТПН 10/0,4 кВ

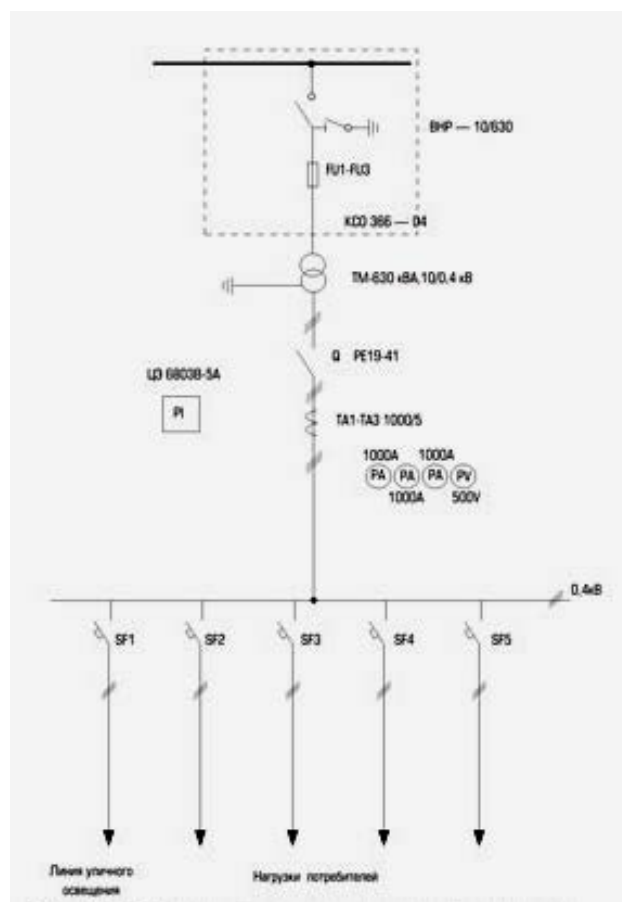
| Наименование параметра  | Значение параметра |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |
|---|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| Номинальная мощность трансформатора, кВА                        | 63                 |      | 100  |      | 160  |      | 250  |      | 400  |      | 630   |      | 1000  |      |
| Номинальное напряжение на стороне ВН, кВ                        | 6                  | 10   | 6    | 10   | 6    | 10   | 6    | 10   | 6    | 10   | 6     | 10   | 6     | 10   |
| Номинальный ток трансформатора на стороне ВН, А                 | 6,06               | 3,64 | 9,62 | 5,77 | 15,4 | 9,25 | 24,1 | 14,4 | 38,5 | 23,1 | 60,7  | 36,4 | 34,5  | 57,7 |
| Номинальный ток плавкой вставки предохранителя на стороне ВН, А | 31,5               | 20,0 | 31,5 | 20,0 | 31,5 | 20,0 | 50,0 | 31,5 | 20,0 | 50,0 | 100,0 | 80,0 | 100,0 | 80,0 |
| Номинальное напряжение на стороне НН, кВ                        | 0,4                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |      |

|   |          |          |          |          |           |           |            |
|---|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|
| Номинальный ток трансформатора на стороне НН, А | 91,0     | 144,3    | 231,0    | 361,0    | 577,4     | 910,4     | 1443,4     |
| Номинальный ток линий 0,4 кВ, А:                |          |          |          |          |           |           |            |
| - линия №1...линия №5                           | 40...200 | 40...200 | 40...200 | 40...250 | 100...400 | 100...400 | 160...1000 |
| - линия уличного освещения, А                   | 16       | 16       | 16       | 16       | 16        | 16        | 16         |

Монтаж КТПН выполняется по схемам главных цепей, представленным на рисунках 2.2...2.3.



а



б

Рисунок 2.2 Схема главных цепей КТПН: а - габаритов 1 и 2; б – габарита 3

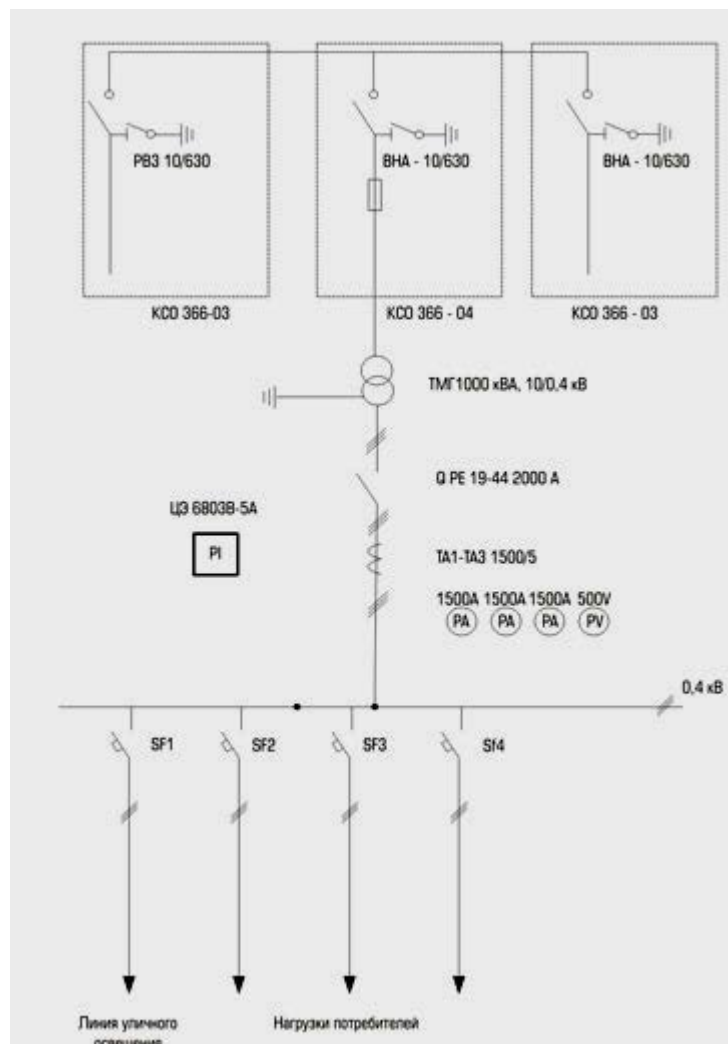


Рисунок 2.3 Схема главных цепей КТПН габарита 4

### 2.3.2 Двухтрансформаторные КТПН

Двухтрансформаторные КТПН предназначены для питания потребителей II категории надежности электроснабжения, т.е. районных сетей электроснабжения промышленных предприятий и предприятий АПК в городских и сельских населенных пунктах. Согласно [12] электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения

на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Конструктивно двухтрансформаторные КТПН выпускаются двухблочными (рисунок 2.4) и трехблочными. Количество блоков определяются планом расположения камер и панелей (рисунок 2.5)

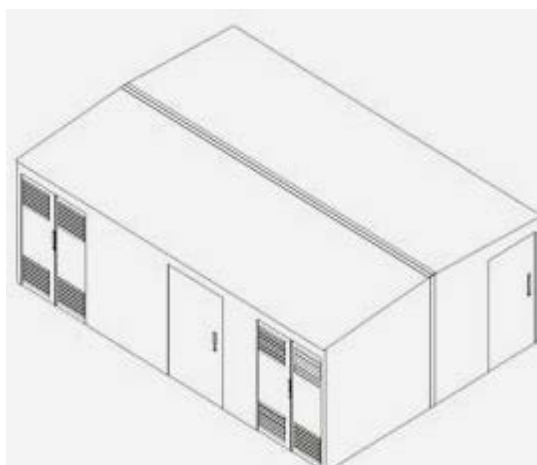


Рисунок 2.4 Общий вид 2КТПН 10/0,4 кВ двухблочной конструкции

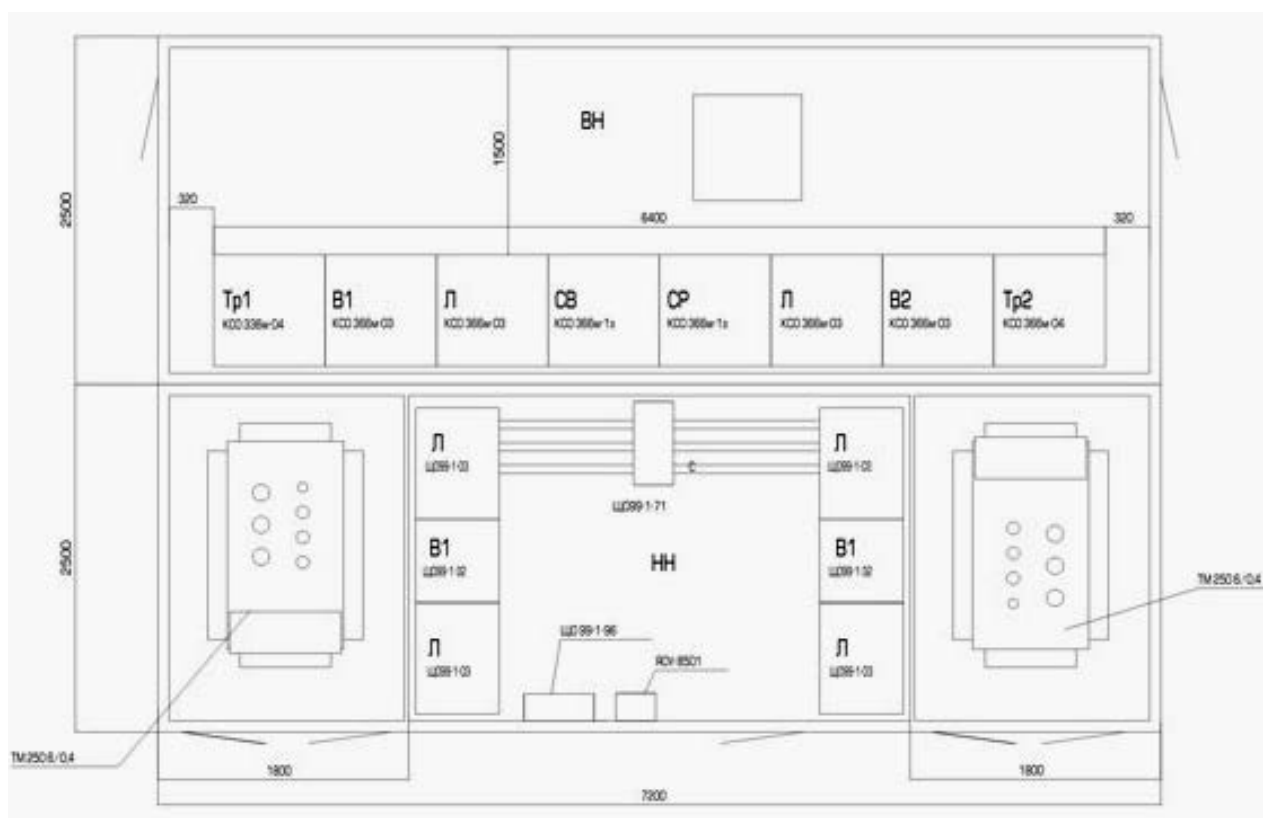


Рисунок 2.5 План расположения камер и панелей в 2КТПН двухблочной конструкции с шинным мостом между блоками со стороны РУНН

Схема главных цепей 2КТПН двухблочной конструкции представлена на рисунке 2.6.

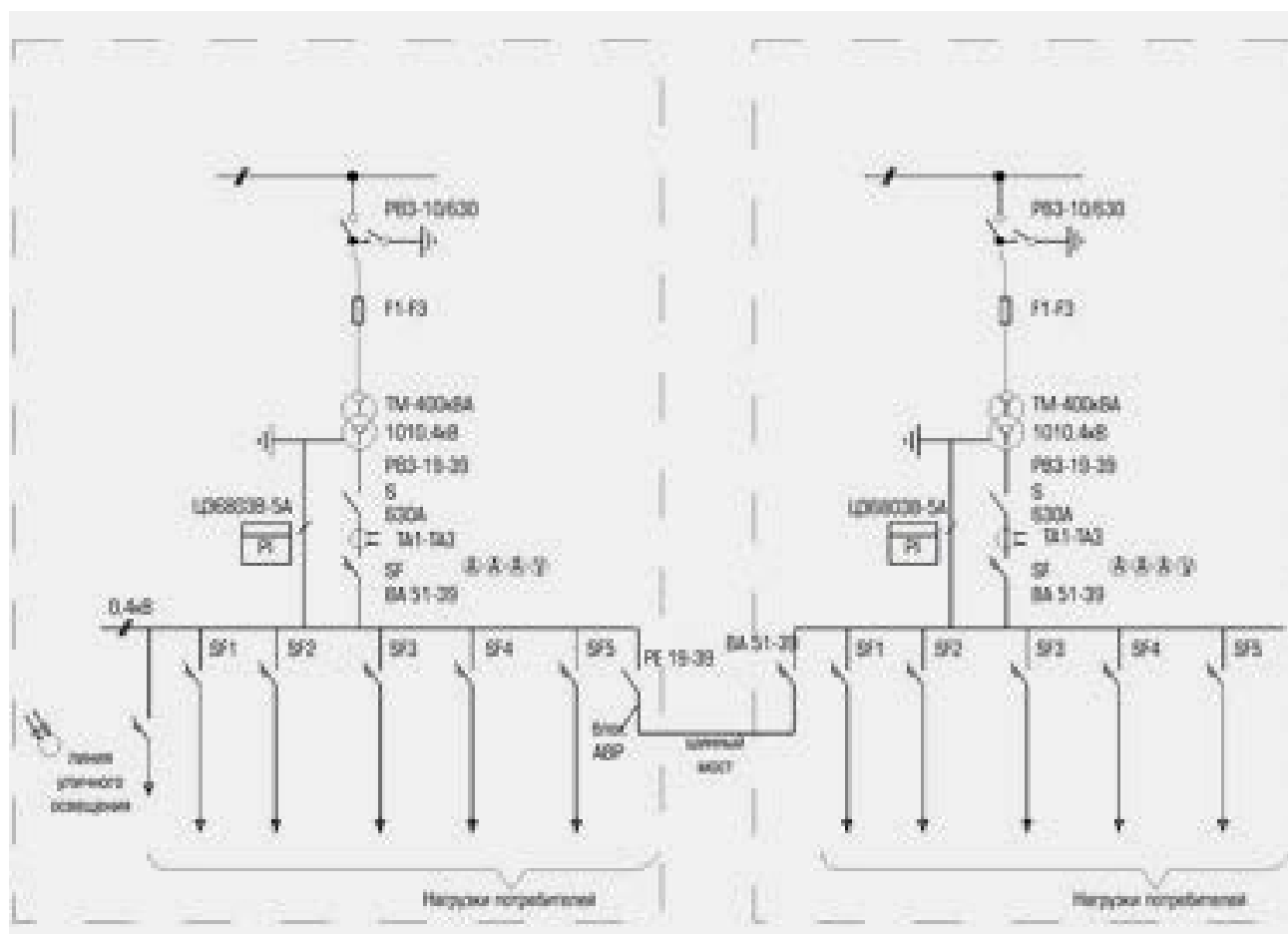


Рисунок 2.6 Схема главных цепей 2КТПН двухблочной конструкции с шинным мостом между блоками со стороны РУНН

## 2.4 Комплектные трансформаторные подстанции наружной установки

КТПНУ изготавливаются производственно-коммерческой фирмой «АВТОМАТИКА» в соответствии с ТУ3412-010-39006326-02 и применяются для электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и коммунальных объектов в районах с умеренным климатом (диапазон температур от минус 45°C до +40°C) [11].

Общий вид и компоновка КТПНУ приведены на рисунке 2.7.

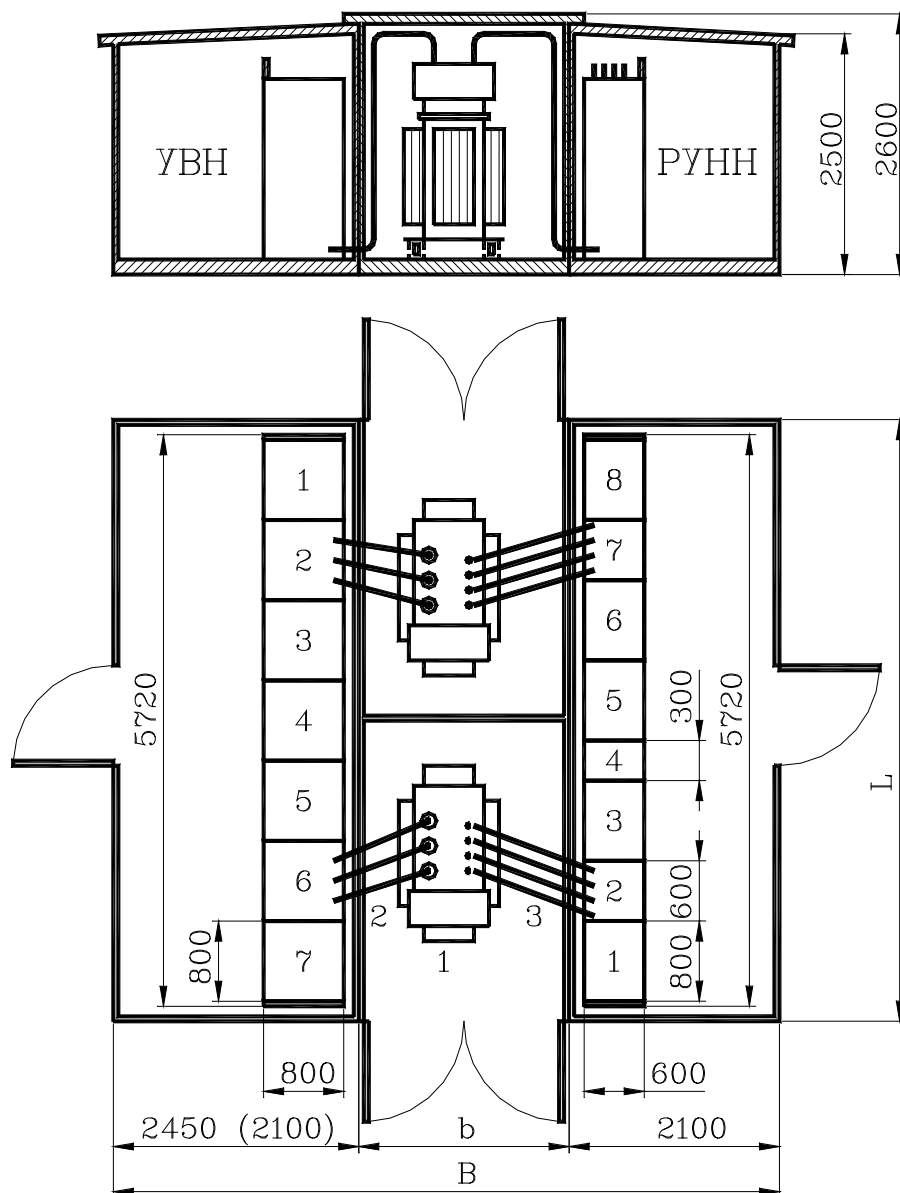


Рисунок 2.7 Общий вид и компоновка КТПНУ

На рисунке 2.7 указаны размеры КТПНУ, мм:

- мощностью до 400 кВ·А:  $L=6000$ ,  $B=6650(6300)$ ,  $b=2100$ ;
- мощностью 630, 1000 кВ·А:  $L=6500$ ,  $B=6950(6600)$ ,  $b=2400$ .

Размеры в скобках указаны для блока УВН с камерами КСО 386А.

Конструктивно КТПНУ состоит из трех отдельных блоков:

- блок устройства со стороны высшего напряжения - УВН;

- блок силовых трансформаторов;
- блок распределительного устройства со стороны низшего напряжения – РУНН.

УВН может быть реализовано на базе камер КСО386А или КСО393А.

Оболочки блоков выполнены из панелей типа «сэндвич» толщиной 50 мм, в которых в качестве утеплителя используется полужесткая плита из базальтового волокна.

На корпусе КТПНУ предусмотрены места для присоединения внешних заземляющих проводников, обозначенные знаками заземления в соответствии с ГОСТ 21130-75.

В блоке РУНН установлен ящик собственных нужд ЯВ-СН, предназначенный для:

- внутреннего освещения всех блоков,
- внутреннего освещения камер КСО (~36 В),
- внешнего освещения подстанции,
- питания схемы управления приводами камер КСО (только для КСО386А),
- питания схемы управления обогревом блоков УВН и РУНН.



### **3 ОСНОВНЫЕ МОНТАЖНЫЕ БЛОКИ КТПН 10/0,4 кВ**

В состав комплектных трансформаторных подстанций входит устройство ввода со стороны высшего напряжения, силовой трансформатор (один или два) и распределительное устройство низкого напряжения – РУНН 0,4 кВ.

#### **3.1 Устройство ввода со стороны высшего напряжения**

Устройство ввода со стороны высшего напряжения наиболее часто выполняется на базе камер КСО, выпускаемых Российскими производителями. Камера КСО представляет собой сборную камеру одностороннего обслуживания, предназначенную для приема и распределения электрической энергии переменного тока частотой 50 Гц напряжением 10 кВ.

Камеры КСО имеют:

- металлические стенки;
- инвентарную перегородку, которая при обслуживании камер отделяет токоведущие части, находящиеся под напряжением;
- смотровое окно, защищенное безопасным стеклом;
- блокировки, предусмотренные конструкциями коммутационных аппаратов.

Конструкция камер КСО обеспечивает сборку камер в ряд РУ и соединение главных цепей по сборным шинам.

При двухрядном расположении камер для соединения главных цепей по сборным шинам применяются шинные мосты без разъединителей и с разъединителями.

Сборные шины, шинные и секционные разъединители камер КСО имеют с фасадной стороны сетчатые ограждения.

Оперирование коммутационными аппаратами осуществляется при закрытых дверях. При двухрядной установке камеры КСО комплектуются шинными

мостами, на которых располагаются секционные разъединители с заземляющими ножами. Приводы управления этими разъединителями размещаются на торцевых панелях камер КСО.

Корпус камер КСО допускает непосредственную приварку его к металлическим заземленным конструкциям. На фасаде камеры расположен зажим заземления, предназначенный для присоединения к заземленному корпусу элементов, временно подлежащих заземлению.

Камеры КСО комплектуются вакуумными выключателями, выключателями нагрузки, разъединителями, заземляющими устройствами, предохранителями, измерительными трансформаторами тока и напряжения и другими электротехническими аппаратами высокого напряжения в соответствии с их модификацией.

Различные модификации камер КСО на напряжения 6 и 10 кВ отличаются друг от друга схемой главных цепей и комплектом электрооборудования, которым реализована эта схема. Камеры также могут иметь различия в конструктивном исполнении шкафов, в которых монтируется электрооборудование.

Например, камеры КСО на напряжения 6 и 10 кВ, выпускаемые группой компаний «УРАЛЭЛЕКТРОЩИТ», имеют модификации КСО-209 и КСО-309.

### **3.1.1 Камеры КСО-209**

Общий вид, габаритные размеры и структура условного обозначения камер КСО-209 представлены на рисунках 3.1...3.3.

Камеры КСО представляют собой сварную металлическую конструкцию из гнутых стальных профилей. Внутри камеры размещена аппаратура главных цепей, на фасаде - приводы выключателей, разъединителей, а также аппаратура вспомогательных цепей.

Доступ в камеру обеспечен через две двери:

- верхнюю - в зону вакуумного выключателя, трансформатора напряжения или предохранителя;

- нижнюю - в зону кабельных присоединений, силового трансформатора или разрядников.



Рисунок 3.1 Общий вид камеры КСО-209

Нижняя дверь имеет смотровое окно для обзора внутренней части камер без снятия напряжения. Верхняя дверь является панелью, на которой смонтирована аппаратура схем вспомогательных цепей. На фасаде размещена аппаратура с задним присоединением проводов, на внутренней стороне выполнена раскладка проводов. Внутри камера освещена лампой накаливания.

В средней части камеры на фасаде расположена панель зажимов, служащая каналом для магистральных шин оперативных цепей питания электромагнитов включения, цепей управления сигнализации, для выполнения междукamerных вторичных соединений при монтаже камер КСО.

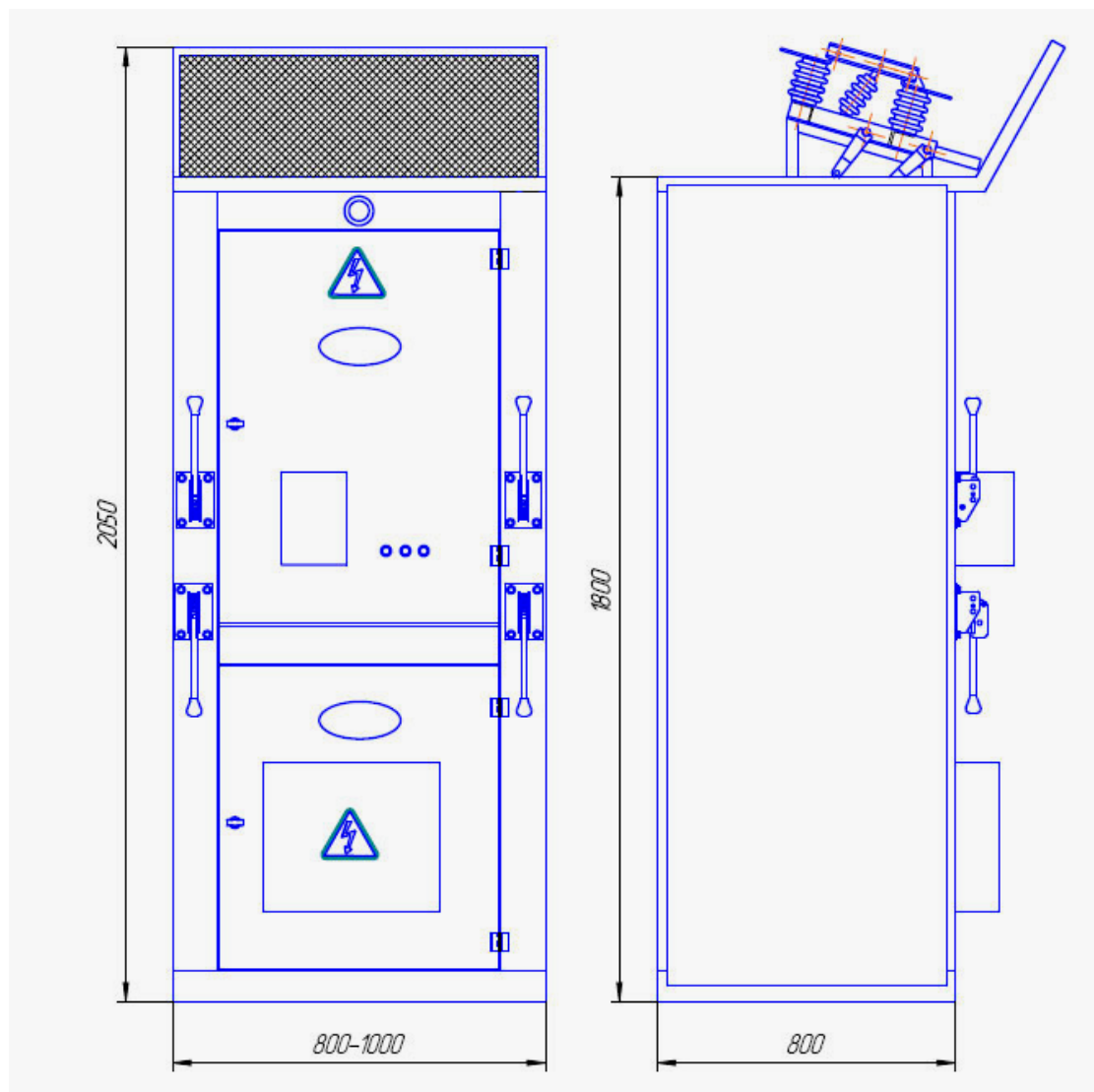


Рисунок 3.2 Габаритные размеры камер КСО-209

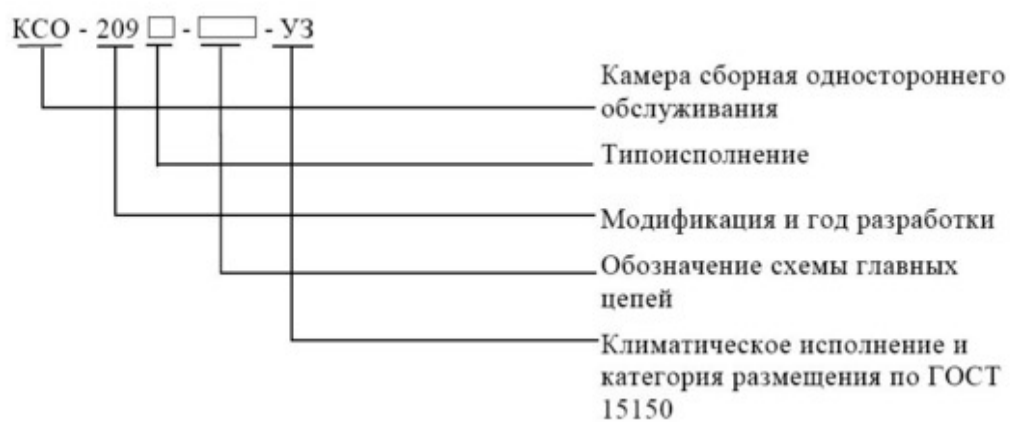


Рисунок 3.3 Структура условного обозначения камер КСО-209

Основные параметры камер КСО-209 представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 Основные параметры камер КСО-209

| Наименование параметра, ед. измерения   | Значение параметра   |
|---|--|
| Номинальное напряжение (линейное), кВ   | 6; 10  |
| Наибольшее рабочее напряжение, кВ   | 7,2; 12  |
| Номинальный ток главных цепей при частоте 50 Гц, А                                    | 630; 1000; 1600  |
| Номинальный ток главных цепей камер КСО с выключателями нагрузки при частоте 50 Гц, А | 400; 630   |
| Номинальный ток трансформаторов тока, А   | 20; 30; 40; 50; 75; 100; 150; 200; 300; 400; 600; 800; 1000 и т.д. |
| Номинальный ток сборных шин, А  | 630; 1000; 1600  |
| Номинальный ток отключения высоковольтного выключателя при частоте 50 Гц, кА          | 20; 25   |
| Ток электродинамической стойкости, кА   | 51   |
| Ток термической стойкости, кА   | 20; 25   |
| Время протекания тока термической стойкости, с:                                       |  |
| для камер на 630; 1000 А  | 1  |
| Номинальное напряжение вспомогательных цепей:   |  |
| - цепи трансформаторов напряжения (защиты, измерения, учета, АВР), В                  | 220  |
| - цепи освещения внутри камер КСО, В  | 36   |
| Условия эксплуатации:   |  |
| - климатическое исполнение  | УХЛ  |
| - категория размещения  | 3 и 4 по ГОСТ 15150  |
| - нижнее значение температуры окружающего воздуха                                     | - 40 °С  |

В состав камеры КСО-209 входит малогабаритный вакуумный выключатель ВВ/TEL, производимый Российской группой компаний «Таврида-Электрик» [3]. Основными достоинствами данного выключателя являются:

- высокий механический и коммутационный ресурс;
- малое потребление электроэнергии по цепям включения и отключения;
- высокое быстродействие при включении и отключении;
- возможность управления как по цепям оперативного постоянного, так и оперативного переменного токов;
- не требует ремонта в течение всего срока службы.
- малые габариты и масса.

Конструктивно выключатель состоит из трех полюсов, установленных на металлическом основании, где размещен пофазный электромагнитный привод с магнитной защелкой, удерживающей выключатель во включенном положении неограниченно долго при минимальном потреблении электроэнергии по цепи оперативного питания (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 Общий вид малогабаритного вакуумного выключателя  
ВВ/TEL6(10)-20кА-1000А

Выключатели серии ВВ/TEL выполнены таким образом, что все подвижные элементы выключателя перемещаются исключительно вдоль оси полюса. Это позволяет исключить наличие вращающихся элементов и создать не обслуживаемый малогабаритный привод. Основные узлы выключателя размещаются в изоляционном корпусе из прозрачного ударопрочного полимерного материала (лексана), выполняющего функции опорной изоляции и предохраняющего токоведущие части от воздействия агрессивной среды. Это обеспечивает высокую надежность и исправную работу на протяжении установленного срока службы.

Такая конструкция является принципиально новой, выключатель способен выполнять свои функции в любом пространственном положении и легко устанавливается в любой модификации камер КСО.

В камере КСО-209 предусмотрены блокировки:

- линейного и шинного разъединителей с использованием двух герконовых блокираторов, исключающих включение выключателя при разомкнутом положении разъединителей, а также исключающих операции с разъединителями при включенном выключателе;

- механические блокировки линейного и шинного разъединителей, предотвращающие включение заземляющих ножей при включенных главных ножах, а также включение главных ножей при включенных заземляющих ножах.

Предусмотрена кнопка аварийного ручного отключения выключателя.

Предусмотрена возможность дистанционного управления выключателем от блока автономного включения ШАП-24УЗ или аккумуляторной батареи =12..24 В (например, автомобильной).

Для управления выключателем в переходных режимах предусмотрено питание цепей управления выключателем от токовых цепей.

### 3.1.2 Камеры КСО-309

Общий вид, габаритные размеры и структура условного обозначения камер КСО-309 представлены на рисунках 3.5...3.7.



Рисунок 3.5 Общий вид камеры КСО-309



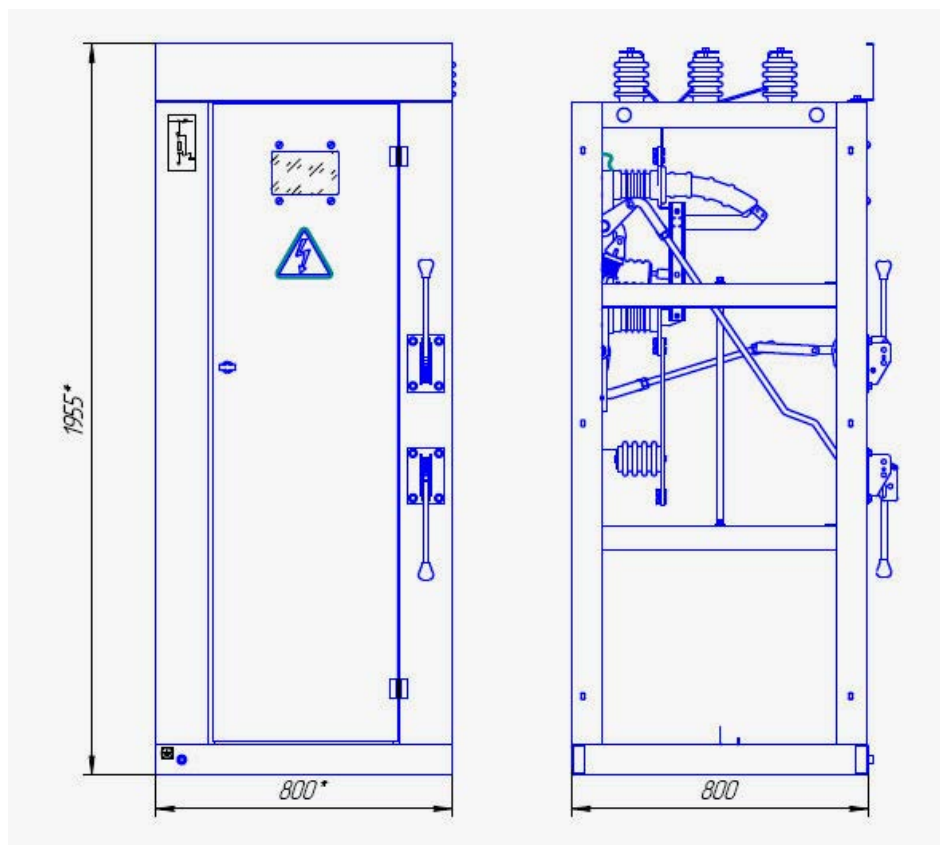


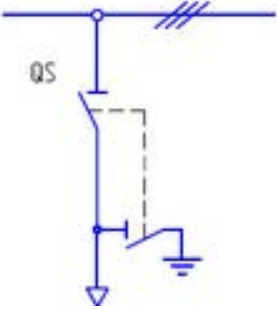
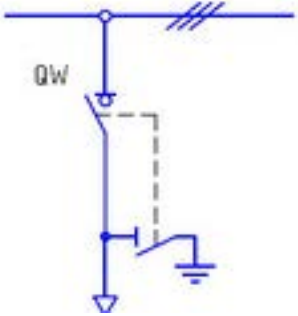
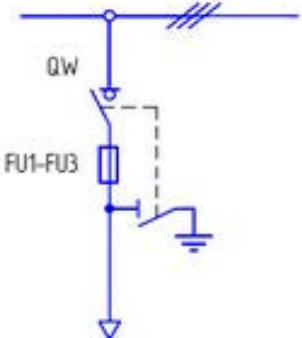
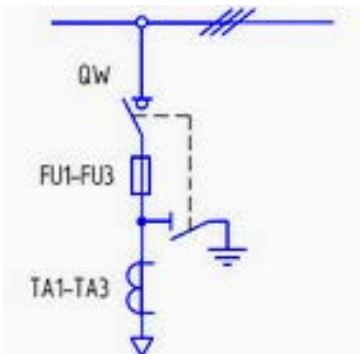
Рисунок 3.6 Габаритные размеры камер КСО-309



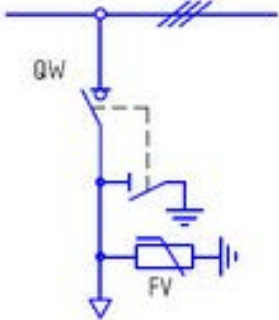
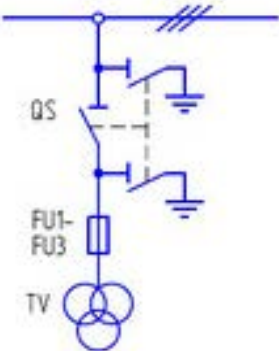
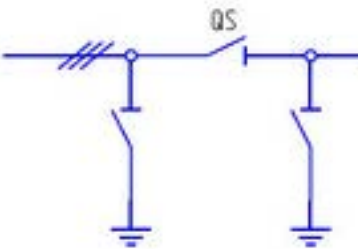
Рисунок 3.7 Структура условного обозначения камер КСО-309

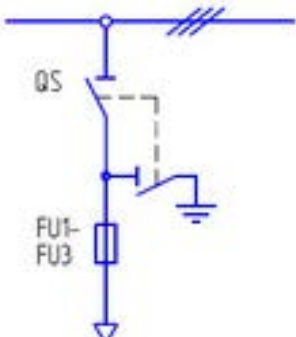
В пределах каждой камеры главные цепи собраны по одной из схем, представленных в таблице 3.2.

Таблица 3.2 Типовые схемы первичных соединений камер КСО-309

| Тип исполнения | Схема первичных соединений  | Обозначение элементов        | Наименование элементов  | $I_n$ , А | Масса, кг | Аналог       |
|----------------|---|------------------------------|---|-----------|-----------|--------------|
| 1              | 2   | 3                            | 4   | 5         | 6         | 7            |
| КСО 309-01УЗ   |    | QS                           | Разъединитель высоковольтный с заземляющим ножом  | 400       | 100       | КСО 366-01УЗ |
| КСО 309-03УЗ   |   | QW                           | Выключатель нагрузки автогазовый переменного тока с заземляющим ножом   | 630       | 110       | КСО 366-03УЗ |
| КСО 309-04УЗ   |  | QW<br>FU1...FU3              | Выключатель нагрузки автогазовый переменного тока с заземляющим ножом<br>Предохранитель с кварцевым наполнителем                        | 630       | 120       | КСО 366-04УЗ |
| КСО 309-05УЗ   |  | QW<br>FU1...FU3<br>TA1...TA3 | Выключатель нагрузки автогазовый переменного тока с заземляющим ножом<br>Предохранитель с кварцевым наполнителем<br>Трансформаторы тока | 630       | 180       | КСО 366-05УЗ |

Продолжение таблицы 3.2

|                    | 2   | 3                     | 4  |    |    |                    |
|--------------------|---|-----------------------|--|----|----|--------------------|
| CO<br>309-<br>08УЗ |    | QW<br>FV              | Выключа-<br>тель нагрузки<br>автогазовый пе-<br>ременного тока<br>с заземляющим<br>ножом<br>Ограничитель<br>перенапряжения   | 00 | 30 | CO<br>366-<br>08УЗ |
| CO<br>309-<br>11УЗ |  | QS<br>FU1...FU3<br>TV | Выключа-<br>тель нагрузки<br>автогазовый пе-<br>ременного тока<br>с заземляющим<br>ножом<br>Предохранитель<br>с кварцевым<br>наполнителем<br>Трансформатор<br>напряжения | 00 | 75 | CO<br>366-<br>11УЗ |
| CO<br>309-<br>14УЗ |  | QS                    | Выключа-<br>тель нагрузки<br>автогазовый пе-<br>ременного тока<br>с заземляющим<br>ножом   | 00 | 0  | CO<br>366-<br>14УЗ |

|                    |   |                     |   |    |    |                    |
|--------------------|---|---------------------|---|----|----|--------------------|
| СО<br>309-<br>23УЗ |  | QS<br>FU1<br>...FU3 | Выключа-<br>тель нагрузки<br>автогазовый пе-<br>ременного тока<br>с заземляющим<br>ножом<br>Предохранитель<br>с кварцевым<br>наполнителем | 00 | 22 | СО<br>366-<br>23УЗ |
|--------------------|---|---------------------|---|----|----|--------------------|

### 3.1.3 Камеры серии КСО-СЭЩ

Одним из крупнейших отечественных производителей КСО для комплектных распределительных устройств является предприятие «САМАРАЭЛЕКТРОЩИТ», выпускающее камеры серии КСО-СЭЩ [6].

Конструкция камер КСО-СЭЩ может быть двух типов в зависимости от наличия в схеме главных цепей вакуумного выключателя:

1) Камеры с вакуумным выключателем – КСО-СЭЩ-2 (рисунок 3.8).

Имеют ширину 800 мм и разделены стационарной металлической перегородкой на 2 отсека, связанных шинами через проходные изоляторы:

- отсек шинного разъединителя, в котором размещены часть сборных шин, шинный разъединитель и верхний заземляющий разъединитель.

Конструктивно в этих камерах невозможна установка заземляющего разъединителя сборных шин, заземление должно осуществляться в соседних шкафах без выключателя;

- отсек выключателя, вмещающий вакуумный выключатель, трансформаторы тока, линейные разъединитель и заземляющий разъединитель и узел кабельного или шинного ввода.

2) Камеры без вакуумного выключателя (рисунок 3.9):

- КСО-СЭЩ-3 – с автогазовым выключателем нагрузки (ВНА);
- КСО-СЭЩ-4 – с выключателем-разъединителем (ВР);
- КСО-СЭЩ-5 – с (ТН).

Камеры имеют ширину по фасаду 600 мм и в рабочем положении (силовой аппарат включен) представляют собой один отсек, в котором расположены:

- сборные шины (та часть, что попадает в данный шкаф);
- шины камеры к аппаратам;
- силовой аппарат, заземляющие разъединители;
- трансформаторы тока;
- узел разделки кабеля, вывод вбок, назад, либо ТН.

При отключении аппарата (ВР, ВНА) в разрыв цепи с фасада вставляется горизонтально изоляционная перегородка, разделяющая объём камеры на 2 ремонтных отсека, доступ в каждый из них осуществляется через дверку, открывающуюся только при наложении заземления в своём отсеке. Перегородка позволяет безопасно проводить работы в одной половине камеры при наличии напряжения в другой.

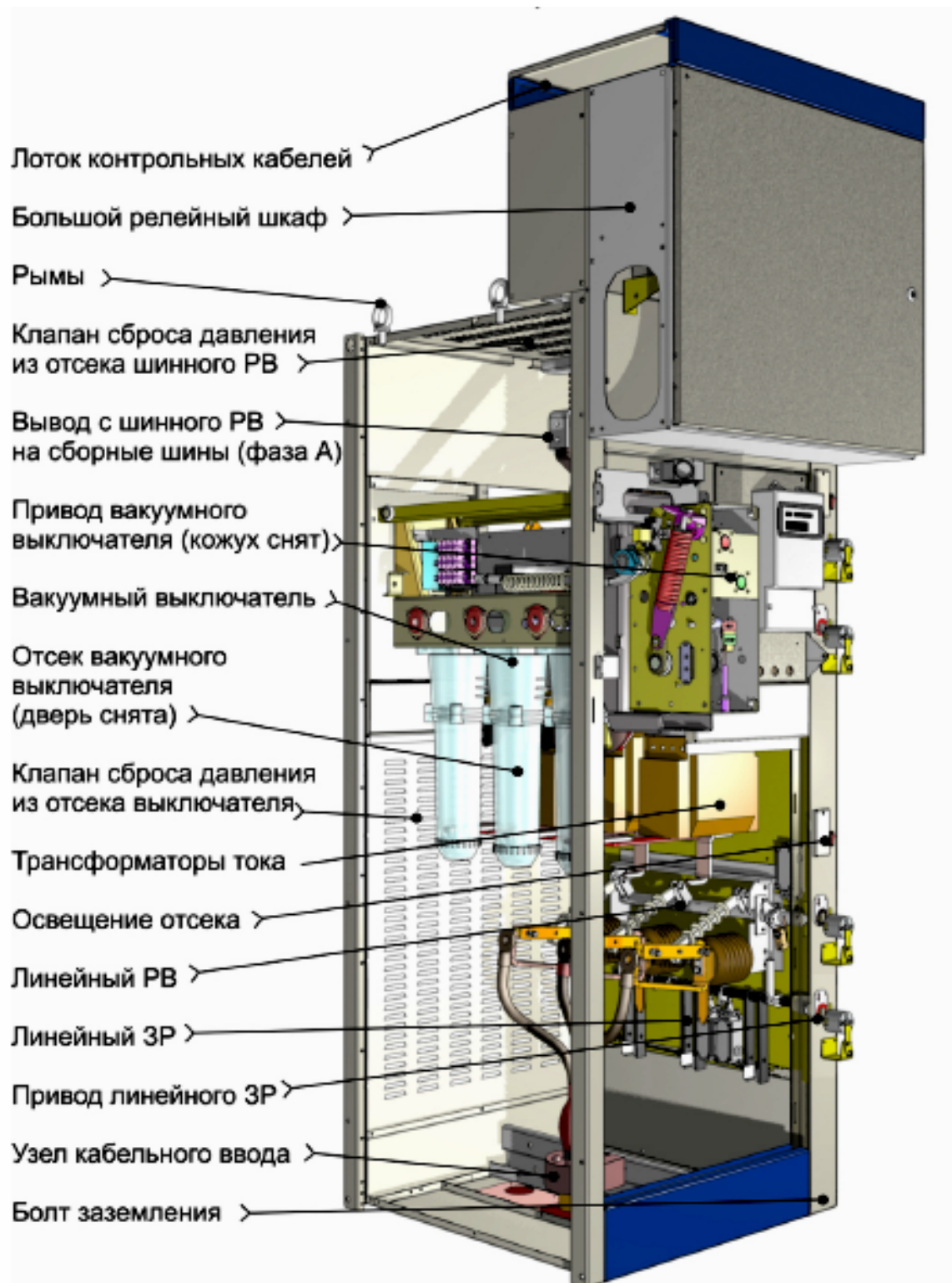


Рисунок 3.8 Внутреннее устройство камеры КСО-СЭЩ-2 с вакуумным выключателем

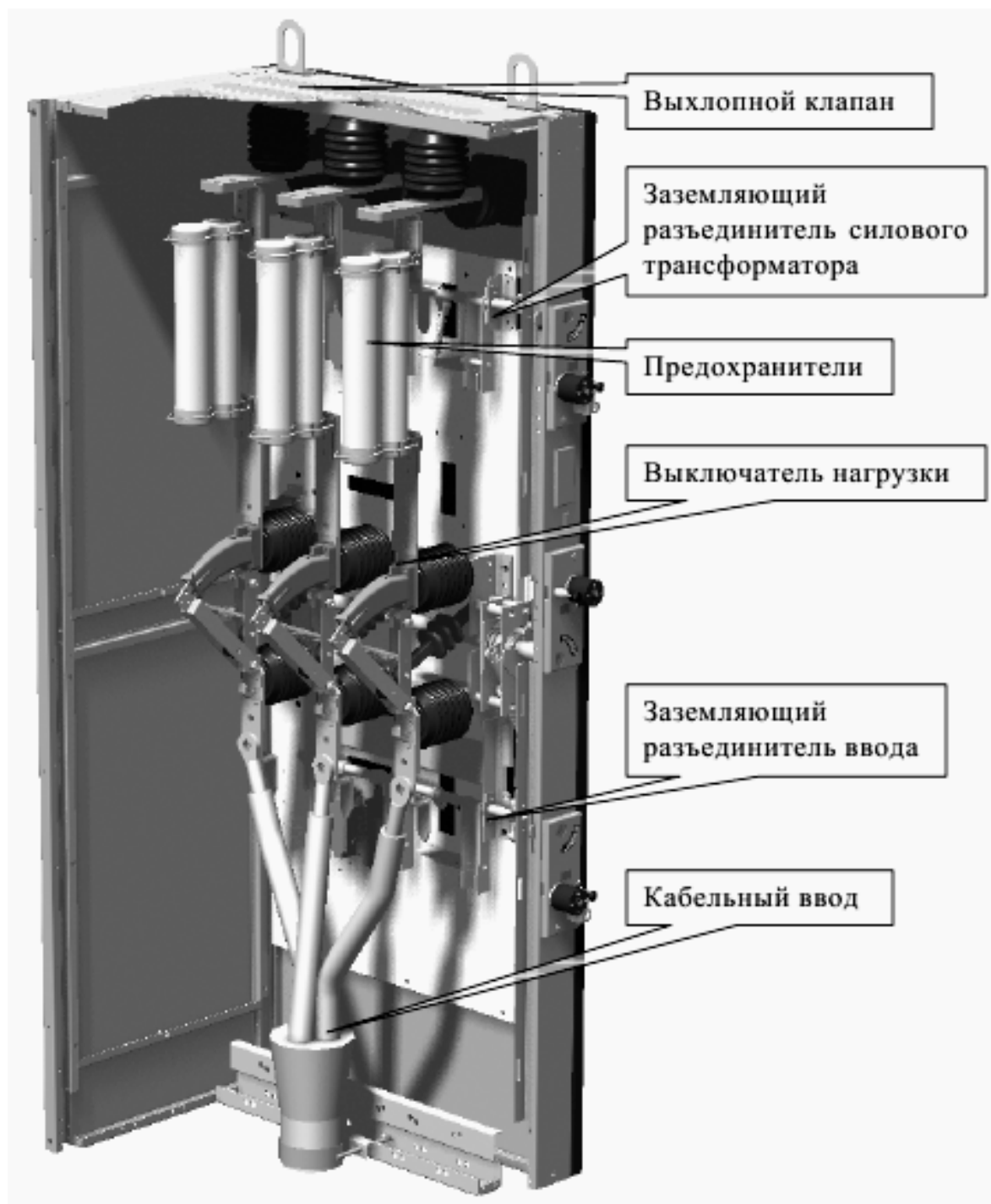


Рисунок 3.9 Внутреннее устройство камеры КСО-СЭЩ-3 с автогазовым выключателем нагрузки ВНА

В КСО-СЭЩ выполнен ряд внутренних механических блокировок, не позволяющих произвести неверные действия, а именно:

- невозможно включить заземляющие ножи, открыть дверь отсека, вставить инвентарную перегородку при включённом разъединителе или ВНА;
- невозможно открыть дверь отсека, пока в этом отсеке не включен нож заземляющего разъединителя (если заземляющего разъединителя нет, то дверь выполнена на болтах);
- невозможно отключить нож заземляющего разъединителя пока открыта дверка отсека;
- невозможно включить разъединитель или ВНА при включенных заземляющих ножах, открытой двери.

Блокировка между вакуумным выключателем и разъединителями в одном шкафу выполнена на электромагнитных блок-замках. Общая схема блокировки распредустройства также выполняется электромагнитной.

Присоединения (вводы или выводы) КСО-СЭЩ могут быть как кабельными (предпочтительно), так и шинными. Шинный ввод (вывод) в камеры осуществляется шинопроводом через проходные изоляторы на задней или на боковой стенке. Кабельный ввод в камеру КСО-СЭЩ осуществляется через кабельные каналы снизу камеры и с подсоединением внутри камеры. Конструкция камеры позволяет подключать не более двух трехжильных высоковольтных кабелей сечением 240 мм или трех одножильных высоковольтных кабелей сечением до 630 мм.

Любые боковые выводы из камер КСО-СЭЩ осуществляются через проходные изоляторы типа ИП-10.

Во всех отсеках КСО-СЭЩ имеется стационарное освещение.

## **3.2 Распределительное устройство низкого напряжения РУНН 0,4 кВ**

### **3.2.1 Назначение и структура РУНН 0,4 кВ**

РУНН 0,4 кВ - распределительное устройство со стороны низшего напряжения 0,4 кВ, обычно представляет собой набор шкафов, имеющих типовые



функции и схемные решения (рисунок 3.10). Шкафы РУНН по своему функциональному назначению делятся на вводные (шкафы ввода низшего напряжения), линейные (шкафы отходящих линий) и секционные (применяются только для 2КТП) [13].



Рисунок 3.10 Общий вид РУНН 0,4 кВ

Отсеки (ячейки), расположенные в шкафах, могут быть отделены друг от друга перегородками из стальных листов. Каждый отсек на фасаде имеет отдельную дверь, снабженную замком. Оперативное обслуживание шкафов производится со стороны фасада РУНН.

Шкафы РУНН могут иметь два конструктивных исполнения: одностороннего и двухстороннего обслуживания. Шкафы одностороннего обслуживания с тыльной стороны закрыты съемными стальными листами. Шкафы двухстороннего обслуживания с тыльной стороны снабжены одностворчатыми дверями, расположенными по всей высоте шкафа. Все двери имеют по три точки крепления и запираются на замок.

Рассмотрим назначение и структуру РУНН-0,4 кВ.

*Основными компонентами РУНН-0,4 кВ являются:*

1) Шкаф низковольтный вводной (ШНВ) - предназначен для подключения силовых вводов и передачи электроэнергии на секции и отходящие линии. В шкафу устанавливают приборы контроля и измерения. Обычно РУНН комплектуется аналоговыми приборами - вольтметром и амперметрами. Возможно комплектование РУНН микропроцессорным мультиметром (V, A, F, S, P, Q, cosφ, гармоники), который осуществляет передачу данных по цифровому каналу. В шкафу также может быть собрана схема АВР с самовозвратом или без самовозврата в исходное положение.

2) Шкаф низковольтный линейный (ШНЛ) - это шкаф отходящих линий - предназначен для подключения и защиты отходящих линий, используется, как правило, с кабельными шкафами. Также предназначен для питания потребителей, оборудования автоматики, ввода электроэнергии от независимых источников, распределения электроэнергии. В шкафу устанавливаются выключатели отходящих линий стационарного или выдвижного исполнения.

3) Шкаф низковольтный секционный (ШНС) (только в двухтрансформаторных КТП) - обеспечивает секционирование сборных шин. В шкафу может быть собрана схема АВР – с самовозвратом или без самовозврата в исходное положение.

Сборная шина выполняется из токопроводящего материала (алюминий или медь) и имеет сечение по току согласно ПУЭ [12]. Сборная шина располагается в верхней задней части шкафа. При одностороннем обслуживании шинные отводы для подключения автоматических выключателей отходящих линий находятся в передней части шкафа, при двухстороннем обслуживании – в задней части шкафа. Доступ к сборной шине осуществляется с тыльной стороны шкафа.

4) Шкаф учета (ШНУ) – комплектуется по заказу.

5) Шкаф сигнализации – комплектуется по заказу.

*Вспомогательными компонентами РУНН-0,4 кВ являются:*

- кабельный шкаф;
- щит уличного освещения (ЩУО);
- щит собственных нужд (ЩСН);
- шкаф компенсации реактивной мощности (ШКРМ);
- шкаф автоматики и телеметрии (ШАиТ).

### 3.2.2 Основные характеристики РУНН-0,4 кВ

Основные характеристики РУНН-0,4 кВ для КТПН – 400...2500 приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 Основные характеристики РУНН-0,4 кВ

| Наименование параметра РУНН  | Значение параметров для типов КТПН- |                                 |   |   |                                   |
|--|-------------------------------------|---------------------------------|---|---|-----------------------------------|
|  | 400                                 | 630                             | 1000  | 1600  | 2500                              |
| Мощность силового трансформатора, кВА                                | 400                                 | 630                             | 1000  | 1600  | 2500                              |
| Номинальное напряжение на стороне НН, кВ                             | 0,4                                 | 0,4                             | 0,4   | 0,4   | 0,4                               |
| Номинальный ток сборных шин НН, А                                    | 630                                 | 1000                            | 1500  | 2300  | 4100                              |
| Ток термической стойкости сборных шин в течении 1с на стороне НН, кА | 20                                  | 25                              | 25  | 31,5  | 40                                |
| Ток электродинамической стойкости сборных шин на стороне НН, кА      | 30                                  | 50                              | 50  | 70  | 100                               |
| Номинальный ток отходящих линий, А                                   | 100<br>160<br>250                   | 160<br>200<br>250<br>320<br>400 | 160<br>200<br>250<br>320<br>400<br>630<br>800<br>1000 | 250<br>320<br>400<br>630<br>800<br>1000<br>1600 | 400<br>630<br>800<br>1000<br>1600 |
| Масса, кг  | В зависимости от набора шкафов РУНН |                                 |   |   |                                   |

В шкафах РУНН предусмотрены обязательные блокировки:

- блокировка, обеспечивающая отключение коммутационного аппарата, находящегося в рабочем положении, при открывании защитной шторки распределительной панели;
- блокировка, не допускающая включения коммутационного аппарата при открытой защитной шторке распределительной панели.

### 3.3 Силовые трансформаторы

Трансформатор предназначен для преобразования (трансформирования) переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения — более низкого или более высокого. В КТПН тупикового типа применяются силовые трехфазные двухобмоточные трансформаторы, понижающие напряжение. Обмотка трансформатора, включенная в сеть источника электроэнергии, называется первичной; обмотка, к которой присоединены электроприемники, — вторичной.

Трансформаторы различаются также своими основными электрическими параметрами – номинальной мощностью (от 10 до 2500 кВА) , классом напряжения обмотки высшего напряжения (ВН) и низшего напряжения (НН).

Важными электрическими характеристиками трансформаторов являются:

#### 1) *Ток холостого хода*

Режим, при котором вторичная обмотка трансформатора разомкнута, а на зажимы первичной обмотки подано переменное напряжение, называется холостым ходом трансформатора. Наибольший ток, потребляемый первичной обмоткой трансформатора при холостом ходе, называется током холостого хода. Обычно значение его равно (3,5...10) % тока при номинальной нагрузке трансформатора.

#### 2) *Напряжение короткого замыкания*

Короткое замыкание трансформатора в эксплуатационных условиях является аварийным режимом. Но если зажимы вторичной обмотки трансформатора замкнуть накоротко, а к первичной обмотке подвести такое пониженное напряжение, при котором в обмотках трансформатора будут протекать нормальные токи, то при этом с трансформатором ничего опасного не произойдет. Это напряжение называется напряжением короткого замыкания  $U_k$ , оно характеризует индуктивное сопротивление обмотки и измеряется в процентах от номинального напряжения. Согласно ГОСТ  $U_k$  для отечественных трансформаторов составляет (5,5...10,5) % напряжения короткого замыкания.

Буквенно-цифровые условные обозначения силовых трансформаторов построены по определенной системе. Они состоят из букв, характеризующих отличительные признаки трансформатора, его конструкцию, и цифр, обозначающих мощность и класс напряжения обмоток.

Основным узлом конструкции каждого трансформатора является его активная система, состоящая из магнитопровода с расположенными на нем обмотками НН и ВН, отводов и переключателя напряжения.

В КТПН могут применяться силовые трансформаторы с различными видами систем охлаждения [2, 19]:

- масляные, активная система которых (магнитопровод с обмотками) расположена в баке, заполненном трансформаторным маслом;
- с негорючим жидким диэлектриком (например, совтолом, соволом и т. д.), которым заполняют бак с расположенной в нем активной системой трансформатора;
- сухие, т.е. трансформаторы с естественным воздушным охлаждением.

Наибольшее распространение получили силовые масляные трансформаторы, что обусловлено их надежностью и эксплуатационными преимуществами.

#### *Преимущества силовых масляных трансформаторов*

Силовые масляные трансформаторы имеют ряд преимуществ в своей конструкции над сухими:

- невысокое реактивное сопротивление;
- широкий температурный диапазон эксплуатации - от  $-60$  до  $+40$  °С;
- обмотки защищены трансформаторным маслом от воздействия окружающей среды;
- меньшие габариты и масса.

Среди масляных трансформаторов, выпускаемых отечественной промышленностью, в КПТН 10/0,4 кВ наиболее часто применяются силовые трансформаторы серии ТМ нормального конструктивного исполнения, а также трансформаторы специального конструктивного исполнения серий ТМГ, ТМЗ, ТМФ.

Трансформаторы указанных серий предназначены для работы в следующих условиях: высота на уровне моря до 1000 м; температура окружающего воздуха от  $-45$ °С до  $+40$ °С для трансформаторов, предназначенных для работы в условиях умеренного климата (исполнение «У» по ГОСТ 15150-69); от  $-60$ °С до  $+40$ °С для трансформаторов исполнения «ХЛ» (исполнение для холодного климата); относительная влажность воздуха не более 80 % при 25 °С, для трансформаторов исполнения «У» и «ХЛ». Трансформаторы ТМФ имеют также исполнение для тропического климата - от  $-10$  °С до  $+50$  °С (исполнение «Т»)  
[13].

Трансформаторы ТМ, ТМГ, ТМЗ не рассчитаны для работы:

- во взрывоопасной и агрессивной среде (содержащей газы, испарения, пыль повышенной концентрации и т.п.);
- при вибрации и тряске;
- при частых включениях со стороны питания до 10 раз в сутки.

### **3.3.1 Трансформаторы силовые масляные серии ТМ**

Трансформаторы масляные ТМ – силовые трехфазные двухобмоточные понижающие общепромышленного назначения мощностью от 25 до 2500 кВА, предназначены для внутренней и наружной установки (рисунок 3.11) [21].



Рисунок 3.11 Общий вид силового трансформатора серии ТМ  
с маслорасширителем

Условное обозначение трансформаторов ТМ

**ТМ-Х/10 У(ХЛ)1**, где:

- Т - трансформатор трехфазный,
- М - охлаждение масляное с естественной циркуляцией воздуха и масла,
- Х - номинальная мощность, кВ·А,
- У(ХЛ)1 - климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150-69,
- 10 - класс напряжения обмотки, ВН, кВ.

*Технические характеристики трансформаторов ТМ*

Силовые трансформаторы ТМ-25...2500 выпускаются с номинальным напряжением первичной обмотки (высокого напряжения) до 10 кВ, включительно, и вторичной обмотки (низкого напряжения) – 0,4 кВ. Схема и группа соединений – **Y/Y<sub>n</sub>-0, Δ/Y<sub>n</sub> -11**.

Переключатели напряжения служат для регулирования напряжения на стороне обмоток ВН путем изменения коэффициента трансформации (соотношения между числом витков обмоток ВН и НН. Существует два вида переключения: переключение без возбуждения (ПБВ), т. е. после отключения от сети, и переключение (регулирование) под нагрузкой (РПН).

Для регулирования напряжения силовые масляные трансформаторы оснащены высоковольтными переключателями, которые присоединяются к обмотке высокого напряжения и позволяют осуществлять ПБВ, т.е. регулировать напряжение ступенями при отключенном от сети трансформаторе со стороны НН и ВН с диапазоном  $\pm 2 \times 2,5\%$ .

### *Конструкция силовых трансформаторов ТМ*

Основным узлом в конструкции трансформатора является его активная система, состоящая из магнитопровода с расположенными на нем обмотками НН и ВН, отводов и переключателя напряжения.

Активная часть погружена в бак трансформатора, представляющий собой стальной резервуар овальной формы. Бак у масляных трансформаторов заполнен трансформаторным маслом, которое служит охлаждающей и изолирующей средой. Масло отводит тепло, выделяющееся в магнитопроводе и обмотках, и отдает его в окружающую среду через стенки и крышку бака, а также повышает изоляцию между токоведущими частями и заземленным баком. Поэтому масло, которым заполняется бак трансформатора и других маслonaполненных аппаратов, должно удовлетворять требованиям и нормам ПУЭ [5] по своему химическому составу и электрической прочности.

Баки трансформаторов серии ТМ различаются в зависимости от мощности. Трансформаторы ТМ-25...250 имеют баки овальной формы, а ТМ-630...2500 – прямоугольной. Для увеличения поверхности охлаждения в трансформаторах ТМ-25...1600 применяются гофрированные стенки, а в ТМ-1600...2500 – радиаторы.



Для подъема бака и трансформатора в сборе используются крюки, расположенные под верхней рамой бака. На крышке бака имеется кран (пробка) для залива масла, внизу бака имеются пробка для спуска масла, кран (пробка) для взятия пробы, болт заземления.

В трансформаторах мощностью от 160 до 2500 кВА устанавливаются катки, которые служат для продольного и поперечного перемещения трансформаторов.

Обмотки трансформаторов серии ТМ выполняются алюминиевыми или медными. Вводы ВН и НН расположены на крышке бака.

#### *Особенности конструкции силового масляного трансформатора*

На крышке бака трансформатора расположен маслорасширитель - добавочный бак цилиндрической формы, служащий для защиты масла от окисления и увлажнения. Маслорасширитель компенсирует температурные изменения объема масла в баке и обеспечивает наличие масла при всех режимах работы трансформатора и колебаниях температуры окружающей среды. Объем расширителя составляет (8...10) % объема масла трансформатора. Важным компонентом маслорасширителя является встроенный воздухоосушитель, который служит для того, чтобы не допустить попадания в масляный трансформатор загрязнений и влаги. Воздухоосушитель представляет собой цилиндр, заполненный индикаторным адсорбентом – силикагелем, который поглощает поступающую в трансформатор влагу. При увлажнении он меняет свою окраску с голубой на розовую.

Для контроля уровня масла на торце маслорасширителя закреплен маслоуказатель, он имеет три контрольные метки, соответствующие уровню масла в неработающем трансформаторе при различных температурах:

- 45°C, +15°C, +40°C - исполнение «У»;
- 60°C, +15 °C, +40 °C - исполнение «ХЛ».

Трансформаторы мощностью 1000 кВА и выше снабжены выхлопными (предохранительными) трубами. Назначение трубы — предохранить бак от деформации и разрыва при бурном газовыделении вследствие интенсивного раз-

ложения масла при внутренних повреждениях трансформатора. Одной стороной труба соединена с крышкой бака, а на другой установлена тонкая стеклянная мембрана, которая разрушается при давлении свыше 0,05 МПа и дает выход газа и масла наружу раньше, чем произойдет деформация бака. Газовое реле предназначено для защиты трансформатора от внутренних повреждений, сопровождающихся выделением газов, а также при утечке масла и при попадании воздуха в бак. Оно устанавливается на трубопроводе, соединяющем расширитель с баком. Выделяющиеся газы приводят в действие простой механизм реле, действующий на предупредительную сигнализацию и на отключение.

Для измерения температуры верхних слоев масла в баке на крышке трансформатора установлен термометр. Термометрические сигнализаторы и газовое реле устанавливаются на трансформаторы мощностью ТМ-1600, ТМ-2500.

В конструкции силовых масляных трансформаторов предусмотрена гильза для жидкостного термометра, который необходим, чтобы измерять температуру верхних слоев масла. Устройство и компоненты масляных трансформаторов таковы, что эти устройства являются очень надежными в эксплуатации.

### **3.3.2 Трансформаторы силовые серии ТМГ**

Трансформаторы масляные герметичные ТМГ – понижающие двухобмоточные трехфазные мощностью от 10 до 2500 кВА напряжением до 10 кВ предназначены для внутренней и наружной установки (рисунок 3.12) [20].



Рисунок 3.12 Общий вид силового трансформатора серии ТМГ

### *Технические характеристики трансформаторов ТМГ*

Силовые трансформаторы ТМГ- 10...2500 кВА выпускаются с номинальным напряжением первичной обмотки (высокого напряжения) до 10 кВ включительно и вторичной обмотки (низкого напряжения) - 0,4 кВ и группы соединений - У/УН-0; Д/УН-11.

Напряжение регулируется без возбуждения. Для этого трансформаторы ТМГ оснащены высоковольтным переключателем, позволяющим регулировать напряжение ступенями по 2,5 % на величину  $\pm 2 \times 2,5$  % от номинального значения при отключении от сети трансформаторе со стороны ВН и НН.

### *Конструкция силовых трансформаторов ТМГ*

Баки силовых трансформаторов ТМГ-10-250 сварные, овальной формы, а ТМГ-400-2500 – прямоугольной формы изготовлены с гофрированными стенками.

Подъем бака масляных трансформаторов ТМГ в сборе осуществляется с помощью крюков, расположенных на крышке бака. В нижней части стенки бака силового трансформатора ТМГ имеется пробка для спуска масла, кран (пробка) для взятия пробы, болт заземления.

Активная часть трансформатора ТМГ состоит из магнитопровода, изготовленного из холоднокатной электротехнической стали, обмоток и высоковольтного переключателя. Обмотки силового трансформатора ТМГ алюминиевые.

Вводы трансформатора ВН и НН наружной установки, съемные, изоляторы проходные фарфоровые (ИПТ 10/250). При токе ввода 1000А и выше верхней части токоведущего стержня крепится специальный контактный зажим с лопаткой, обеспечивающий подсоединение плоской шины. Вводы расположены на

крыше масляного трансформатора. Для контроля уровня масла на крышке бака силового трансформатора устанавливается поплавковый маслоуказатель. Для измерения температуры верхних слоев масла устанавливается термометр.

В трансформаторах ТМГ мощностью от 160 до 2500 кВА устанавливаются катки, которые служат для продольного и поперечного перемещения силовых трансформаторов.

#### *Особенности конструкции трансформаторов серии ТМГ*

Силовые масляные трансформаторы серии ТМГ полностью герметичны, что исключает контакт содержимого трансформатора с внешней средой. Такие трансформаторы изготавливаются без воздушной подушки, используемой при расширении масла. Увеличение объема трансформаторного масла при повышении температуры компенсируется за счет гофрированной поверхности бака. Для предотвращения избыточного давления в трансформаторе в крышке бака дополнительно устанавливается предохранительный клапан.

Трансформаторы серии ТМГ выполнены в герметичном исполнении с полным заполнением бака маслом. В их конструкции отсутствует маслорасширитель и газовая подушка. Температурные изменения объема масла компенсируются изменением объема гофров бака за счет их пластичной деформации. Сообщение масла с окружающей средой отсутствует, что исключает увлажнение, окисление и шламообразование масла. Перед заливкой масло дегазируется, заливка производится в специальной вакуумзаливочной камере при глубоком вакууме, что обеспечивает удаление из масла растворенного в нем воздуха, удаление из изоляции воздушных включений, исключается окисление масла, т.е. достигается высокая электрическая прочность изоляции трансформатора. Масло не меняет своих свойств в течение всего срока службы трансформатора. Избыточное давление в баках при эксплуатации трансформаторов не превышает 0,2-0,25 кгс/с м<sup>2</sup>. Для ограничения давления в баках при перегрузках мощностью от 25 до 250 кВА установлены предохранительные клапаны, в трансформаторах мощностью 1000 кВА и выше установлены, газовое реле, термосигнализатор

ТКП-160Ст. Для контроля уровня масла трансформаторы всех мощностей снабжаются маслоуказателем поплавкового типа.

Силовые масляные трансформаторы ТМГ более популярны, чем трансформаторы с воздушной подушкой (например, ТМ), так как наличие воздушной подушки предполагает дополнительный уход за сорбентом воздушосушителя и выполнение других работ. В герметичных трансформаторах типа ТМГ масло не соприкасается с воздухом и не окисляется, они не требуют дополнительных расходов при вводе в эксплуатацию и не нуждаются в профилактическом ремонте, ревизиях в течение всего срока службы и отпадает необходимость в анализе и регенерации масла. Рекомендуется лишь пополнять уровень масла и соблюдать правила техники безопасности.

Силовые масляные трансформаторы герметичного исполнения (ТМГ и другие) более безопасны, поскольку масло не имеет контакта с окружающей средой.

### **3.3.3 Трансформаторы силовые серии ТМЗ**

Силовые трансформаторы масляные понижающие двухобмоточные трехфазные герметичные с защитой масла мощностью от 400 кВА до 2500 кВА напряжением до 10 кВ предназначены для трансформаторных подстанций внутренней и наружной установки.

#### *Технические характеристики трансформаторов ТМЗ*

Силовые трансформаторы ТМЗ выпускаются с номинальным напряжением первичной обмотки (высокого напряжения) до 10 кВ включительно и вторичной обмотки (низкого напряжения) - 0,4 кВ.

Для регулирования напряжения трансформаторы ТМЗ оснащены высоковольтным переключателем, позволяющим регулировать напряжение ступенями по 2,5 % на величину  $\pm 2 \times 2,5\%$  от номинального значения при отключении от сети трансформаторе со стороны ВН и НН. Переключатель трансформатора присоединен к обмотке высокого напряжения (ВН).

#### *Конструкция силовых трансформаторов ТМЗ*

Баки силовых трансформаторов сварные, прямоугольной формы. Для увеличения поверхности охлаждения применяются радиаторы.

Подъем бака масляного трансформатора и силовых трансформаторов в сборе осуществляется с помощью крюков, расположенных под верхней рамой бака силового трансформатора. В нижней части стенки бака трансформатора имеются пробка для спуска масла, кран (пробка) для взятия пробы, болт заземления.

Активная часть силового трансформатора состоит из магнитопровода, изготовленного из холоднокатной электротехнической стали, обмоток и высоковольтного переключателя. Подъем ее производится за ушки, расположенные в верхней части остова. Обмотки силового трансформатора алюминиевые.

Вводы ВН и НН наружной установки, съемные, изоляторы проходные фарфоровые. При токе вводе 1000А и выше в верхней части токоведущего стержня крепится специальный контактный зажим с лопаткой, обеспечивающий надежное соединение с плоской шины. Вводы расположены либо на узких стенках бака силового трансформатора ТМЗ устанавливается маслоуказатель для контроля уровня масла. На маслоуказателе масляного трансформатора нанесены три контрольные метки, соответствующие уровню масла в неработающем трансформаторе при различных условиях:

#### *Особенности конструкции трансформаторов серии ТМГ*

Силовые трансформаторы серии ТМЗ, применяемые для комплектования КТП, имеют герметичный бак повышенной прочности с азотной защитой. Они снабжены электроконтактными вакуумметрами (контроль внутреннего давления), реле давления, термосигнализаторами, а также термосифонными фильтрами (для серии ТМЗ мощностью 1000 кВА и выше).

Азотная подушка трансформатора ТМЗ обеспечивает защиту масла от окисления и компенсирует температурные колебания уровня масла. Для измерения температуры верхних слоев масла в баке силового трансформатора устанавливается термометрические сигнализаторы. Для контроля внутреннего давления

и сигнализации о предельно допустимых величинах давления устанавливаются мановакуумометры ЭКМВУ, либо ДА 2005, либо ДА 2010..

Для защиты устанавливается на трансформаторах ТМЗ предохранительная диафрагма или реле давления, которые срабатывают при достижении в баке трансформатора давления 0,75 атм и газы выходят наружу.

### **3.3.4 Трансформаторы типа ТМФ**

Силовые масляные понижающие трехфазные двухобмоточные трансформаторы мощностью от 400 до 1600 кВА предназначены для внутренней и наружной установки.

#### *Технические характеристики силовых трансформаторов ТМФ*

Силовые трансформаторы ТМФ выпускаются с номинальным напряжением первичной обмотки (высокого напряжения) до 10 кВ включительно и вторичной обмотки (низкого напряжения) – 0,4 кВ.

Для регулирования напряжения трансформаторы оснащаются высоковольтными переключателями, которые присоединяются к обмотке высокого напряжения и позволяют регулировать напряжение ступенями по 2,5 % на величину  $+2 \times 2,5 \%$  от номинального значения при отключенном от сети трансформаторе со стороны НН и ВН.

#### *Конструкция масляных трансформаторов ТМФ*

Баки силовых трансформаторов – прямоугольные с боковыми вводами. На узких противоположных стенках бака расположены вводы ВН и НН, которые закрываются коробами с уплотнениями.

Вводы съемные, изоляторы проходные фарфоровые, не рассчитаны для работы в среде, загрязненной активными газами и токопроводящей пылью. Активная часть трансформатора силового состоит из магнитопровода, изготовленного из холоднокатанной электротехнической стали, обмоток и высоковольтного переключателя.

Обмотки трансформаторов алюминиевые, для исполнения «Т» - медные. Маслорасширитель обеспечивает наличие масла при всех режимах работы

трансформатора и колебаниях температуры окружающей среды. Для контроля уровня масла на торце маслорасширителя устанавливается маслоуказатель. На маслоуказателе нанесены три контрольные метки, соответствующие уровню масла в неработающем трансформаторе при различных температурах:

–45°C, +15°C, +40°C - исполнение «У»;

–60°C, +15°C, +40°C - исполнение «ХЛ»;

–10°C, +20°C, +50°C - исполнение «Т».

Трансформаторы типа ТМФ мощностью 1000, 1600 кВА снабжаются газовым реле и предохранительной (выхлопной) трубой, срабатывающей при внутреннем давлении выше 0,5 атм.

Для перемещения волоком на небольшие расстояния и крепления к платформе экскаваторов трансформаторы имеют салазки с отверстиями.



## **4 ЗАЩИТА ОСНОВНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОТ КОММУТАЦИОННЫХ И ГРОЗОВЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

### **4.1 Назначение, принцип работы и преимущества нелинейных ограничителей перенапряжений**

#### **4.1.1 Назначение**

Ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН) предназначены для использования в качестве основных средств защиты электрооборудования подстанций и сетей среднего и высокого классов напряжения переменного тока промышленной частоты от коммутационных и грозовых перенапряжений. При их разработке были использованы последние технологические достижения и опыт эксплуатации ОПН в отечественной и зарубежной практике. Ограничители рекомендуется применять вместо вентильных разрядников соответствующих классов напряжения при проектировании, эксплуатации, техническом перевооружении и реконструкции электроустановок.

Защитные свойства нелинейных ограничителей перенапряжений реализованы на базе варисторов. Варистор – это полупроводниковый резистор, величина сопротивления которого зависит от величины приложенного напряжения. Варисторы имеют нелинейную вольт-амперную характеристику, что позволяет использовать их для стабилизации напряжения.

Варисторы большой мощности рассеивания выпускают в виде шайб или дисков различной толщины с нанесенными методом вжигания контактными поверхностями. Для использования в ОПН варистры набирают в столбики (колонки), изолируют и снабжают радиаторами для улучшения теплоотвода.

#### **4.1.2 Принцип работы**

Для защиты электрооборудования от коммутационных и грозовых перенапряжений варистор (колонку варисторов) подключают параллельно защищаемому устройству.

При возникновении высоковольтного импульса сопротивление варистора резко уменьшается до долей Ома и шунтирует нагрузку, защищая ее и рассеивая поглощенную энергию в виде тепла. При этом через варистор может протекать импульсный ток, достигающий нескольких тысяч ампер. Так как варистор практически безынерционен, то после снижения перенапряжения его сопротивление вновь становится большим. Таким образом, включение варистора параллельно защищаемому устройству не влияет на работу последнего в нормальных условиях, но гасит импульсы опасного напряжения.

В нормальном режиме, при рабочем напряжении через ОПН протекает ток величиной доли миллиампер. Ток носит емкостной характер, вследствие чего в ОПН не выделяется активная мощность, и он может неограниченно долго находиться под рабочим напряжением. В результате ОПН не требует обслуживания и контроля параметров в процессе эксплуатации.

#### **4.1.3 Преимущества ОПН**

ОПН с полимерной изоляцией, по сравнению с применявшимися до настоящего времени вентильными разрядниками, обладают целым рядом преимуществ:

- 1) Варисторы, применяемые в ОПН, обладают высокой стабильностью параметров в процессе длительной эксплуатации.
- 2) Высокое быстродействие срабатывания ОПН при коммутационных и грозовых перенапряжениях.
- 3) Стабильность защитных свойств ОПН в широком диапазоне рабочих температур.
- 4) Уменьшение габаритов и массы ОПН в 10...20 раз по сравнению с вентильными разрядниками позволяет устанавливать их непосредственно вблизи защищаемого оборудования.
- 5) ОПН в полимерном корпусе не требуют специального обслуживания, не повреждаются при транспортировке и хранении.

б) Малые массо-габаритные показатели ОПН позволяют легко выполнять их монтаж при минимальном использовании технических средств.

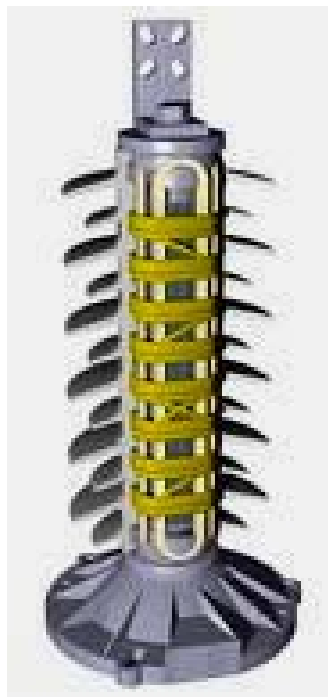
## **4.2 Основные типы и конструкции ОПН 6 –10 кВ**

Наибольшее распространение для защиты электрооборудования подстанций от коммутационных и грозовых перенапряжений получили ОПН серии PEXL1 фирмы «ABB», серий КР/TEL, РТ/TEL фирмы «Таврида электрик», ОПН фирмы «Rauchem» и некоторые другие.

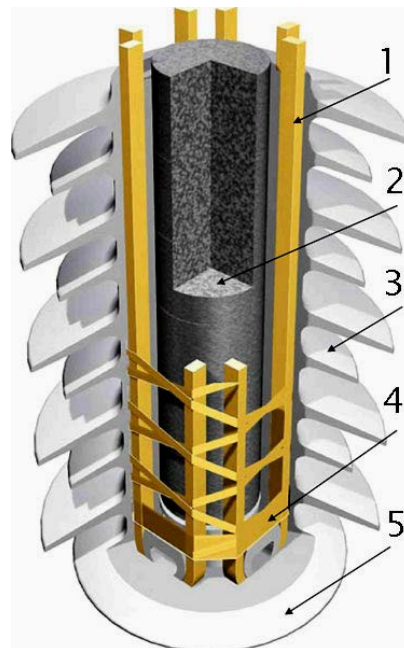
### **4.2.1 ОПН серии PEXL1 фирмы «ABB» (рисунок 4.1) [17]**

ОПН фирмы «ABB» в полимерном корпусе могут состоять из одного или нескольких модулей, каждый из которых содержит одну колонку варисторов. Силиконовая изоляция 3 наносится на активную часть (колонку варисторов) методом непосредственного вакуумного литья в специальной машине. Фланцы 5 соединены друг с другом двумя или более усиливающими элементами 1 из стекловолокна, что придает ОПН высокие механические характеристики. Благодаря тому, что силиконовая изоляция наносится непосредственно на варисторы 2, внутри конструкции нет воздуха и, как следствие, отсутствуют внутренние частичные разряды. Кроме того, улучшаются условия охлаждения варисторов, что улучшает энергопоглощающую способность ОПН.

Активная часть ОПН состоит из металлооксидных варисторов дисковой формы, покрытых слоем тонкого стекла (внутренняя изоляция), содержащим РbО. Силиконовая резина, используемая для внешней изоляции, обладает значительно более высокой гидрофобностью и стойкостью к воздействию ультрафиолетовой радиации, чем фарфоровая изоляция. Кроме того, применение полимерной изоляции снижает массогабаритные параметры ОПН, что расширяет возможность их применения.



а



б

Рисунок 4.1 ОПН серии PEXLIM: а – общий вид; б – конструкция;  
1 – усиливающие элементы; 2 – варисторы; 3 – силиконовая изоляция;  
4 – защитная лента; 5 – фланец

Использование полимерной изоляции также повышает взрывобезопасность ОПН и позволяет избавиться от специальных устройств по сбросу давления. На внутренней стенке полимерного корпуса имеются специальные насечки, и в случае внутреннего перекрытия аппарата происходит разрыв корпуса в этих местах.

**4.2.1 ОПН серий КР/TEL, РТ/TEL фирмы «Таврида электрик»** (рисунок 4.2) [17].

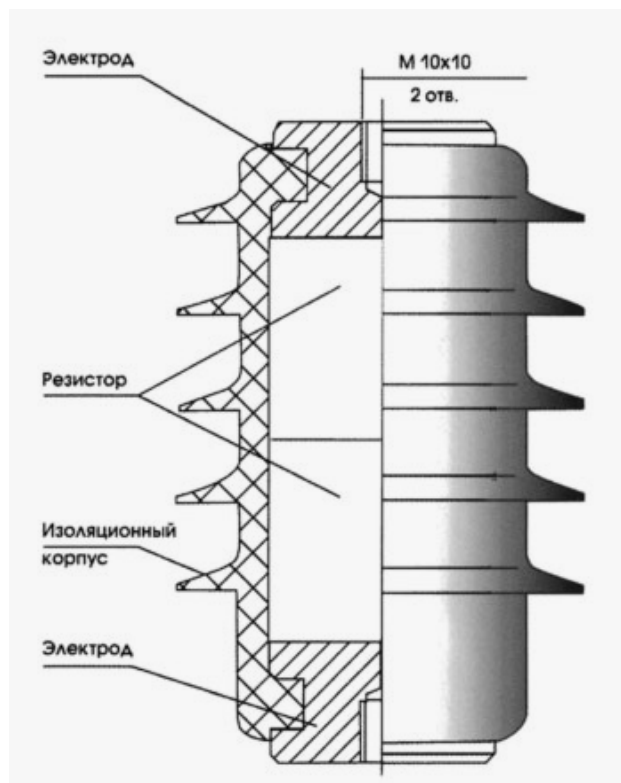


Рисунок 4.2 Конструкция ОПН внутренней установки

При сборке ограничителей ОПН-КР/TEL, ОПН-РТ/TEL колонка резисторов заключается между металлическими электродами и спрессовывается в оболочку из специального атмосферостойкого полимера, который обеспечивает требуемые механические и изоляционные свойства ограничителей. Эта конструкция хорошо зарекомендовала себя при различных условиях эксплуатации, включая районы с высоким уровнем атмосферных загрязнений. Ограничители ОПН-КР/TEL выпускаются для внутренней и наружной установки. Ограничители типа ОПН-РТ-/TEL выпускаются только для внутренней установки, за исключением исполнения ОПН-РТ-3. Ограничители имеют одинаковую конструкцию и отличаются только длиной пути утечки изоляционного корпуса.

### 4.3 Монтаж ОПН

Монтаж ОПН 6...110 кВ должен производиться в строгом соответствии с требованиями инструкций завода-изготовителя.

Перед монтажом все элементы ОПН необходимо тщательно осмотреть, обращая особое внимание следует на следующее:

1) Поверхности покрышек, в том числе торцы, примыкающие к фланцам, не должны иметь трещин, каких-либо следов удара.

2) Состояние внутренних деталей ОПН проверяется слабым встряхиванием при проворачивании его в разные стороны под углом 20...30° от вертикальной оси. Наличие при этом шумов или позвониваний свидетельствует о повреждении внутренних деталей устройства.

3) Перед монтажом, элементы ОПН должны быть испытаны в соответствии с инструкцией завода-изготовителя и требованиями ПУЭ.

4) При монтаже используются только те элементы ОПН, результаты испытаний которых удовлетворяют требованиям вышеперечисленных нормативных документов.

5) Монтаж многоэлементных ОПН (начиная от земли) следует выполнять, строго соблюдая указания завода-изготовителя о размещении порядковых номеров элементов. Замена одних элементов другими или изменение их взаимного расположения в ОПН, по сравнению с предписанным заводом-изготовителем не допускается.

6) После окончания монтажа все наружные металлические детали аппарата, кроме паспортных щитков, необходимо окрасить влагостойкой краской или эмалью. ОПН устанавливаются в ЗРУ на специальных конструкциях - стойках с учетом требований защиты от ливневых вод и высоты снежного покрова. ОПН, у которых нижняя кромка фарфорового кожуха расположена над уровнем планировки ПС на высоте не менее 2500 мм, разрешается устанавливать без постоянных ограждений. Расстояние в свету между фазами ОПН или от ОПН до за-

земленных или находящихся под напряжением других элементов ПС должны быть не менее значений заказанных в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Наименьшие допустимые расстояния в свету между ОПН и токоведущими и заземленными частями оборудования ПС, а также между ОПН и постоянными ограждениями

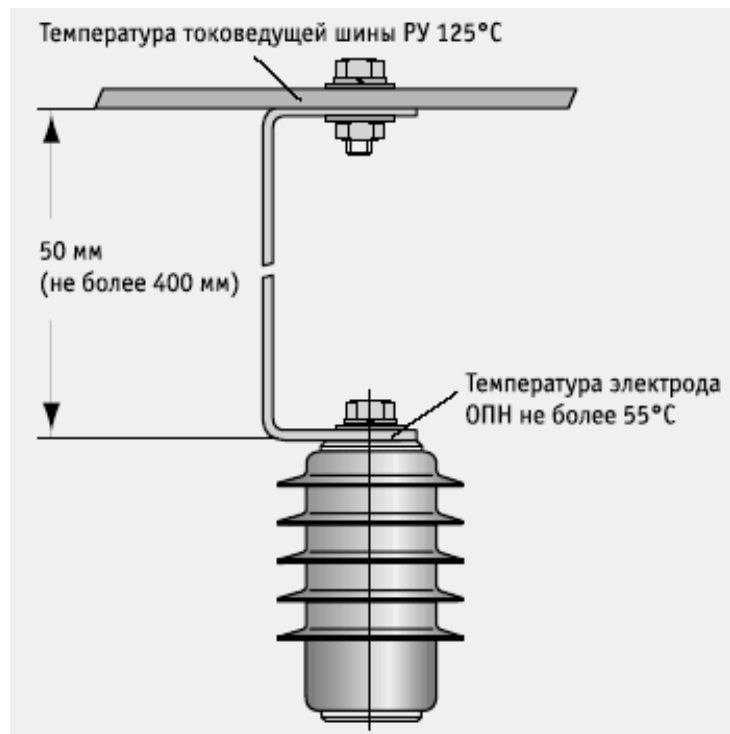
| Расстояние  | Изоляционные расстояния, мм, для номинального напряжения, кВ |     |     |     |
|---|--|-----|-----|-----|
|   | 6  | 10  | 55  | 110 |
| <b>ЗРУ</b>  |  |     |     |     |
| От ОПН до заземленных частей                        | 90   | 120 | 290 | 700 |
| Между ОПН и от ОПН до токоведущих частей других фаз | 100  | 130 | 320 | 800 |
| От ОПН до сплошных ограждений                       | 120  | 150 | 320 | 730 |
| От разрядников до сетчатых ограждений               | 190  | 220 | 390 | 800 |

Рассмотрим более подробно монтаж ОПН на примере изделий фирмы «Таврида Электрик».

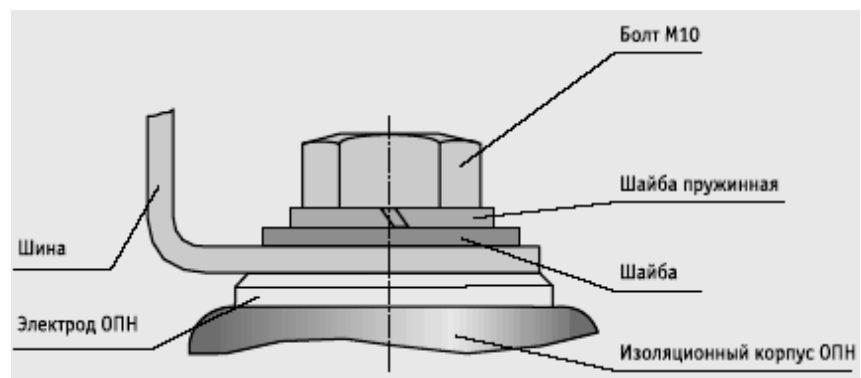
Монтаж ОПН типа ОПН-КР/TEL, ОПН-РТ/TEL должен проводиться в соответствии с требованиями Инструкции по монтажу и эксплуатации ГКД 34.35.512-2002 «Средства защиты от перенапряжений в электроустановках 6-750 кВ» [17].

ОПН данных серий не требуют применения специальных крепежных устройств и могут устанавливаться с помощью болтов или шпилек М10. Допускается устанавливать ограничители типа ОПН-КР/TEL исполнения УХЛ1 под углом к вертикальной оси не более 45°, ОПН-КР/TEL, ОПН-РТ/TEL исполнения УХЛ2 - в любом положении в пространстве.

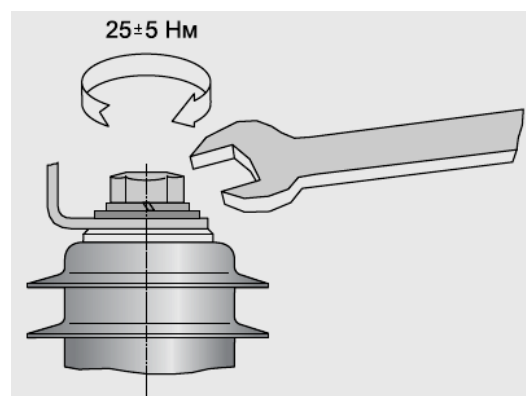
Подключение ОПН ВВ/TEL при монтаже показано на рисунке 4.3.



а



б



в

Рисунок 4.3 Подключение ОПН ВВ/TEL при монтаже: а – общий вид; б –



узел крепления электрода ОПН; в – ограничение момента затяжки

При выборе места расположения ОПН следует учитывать наличие элементов электроустановки или аппаратов, которые в рабочих условиях выделяют тепло, и температура вблизи которых может отличаться от температуры окружающего воздуха.

Болты (шпильки) для присоединения ограничителей к электрической цепи должны быть выполнены из металла, стойкого к коррозии, или покрыты металлом, предохраняющим их от коррозии, и не должны иметь поверхностной краски. Вокруг болта (шпильки) должна быть контактная площадка для присоединения проводника (шины). Площадка должна быть защищена от коррозии и не иметь поверхностной окраски. Допускается обеспечивать необходимую поверхность соприкосновения в соединении при помощи шайб. Между проводником (шиной) и болтом (шпилькой) необходимо устанавливать контргайки или пружинные шайбы (см. рисунок 4.2 б).

Момент затяжки болтов при подсоединении фазного и заземляющего проводников ОПН должен составлять не более 30 Нм (см. рисунок 4.2 в).

При внутренней установке ОПН, с целью исключения неучтенных механических усилий при монтаже и эксплуатации, рекомендуется использование нежесткого присоединения фазного вывода ограничителя к электрической цепи РУ, например, с помощью стальной шины 20х1 мм.

Изгибающее усилие, усилие на сжатие и растяжение при ошиновке ОПН не должны превышать 300 Н. Правильный монтаж должен исключить все статические нагрузки на ОПН.

При внутренних установках, длина соединительных шин ОПН должна быть выбрана так, чтобы исключить внешний нагрев ОПН со стороны токоведущих шин выше 55°C. Рекомендуется применение стальной шины 20х1 мм, обеспечивающей градиент снижения температуры порядка 70°C на 50 мм длины шины. Также следует избегать использования фазных проводников длиной более 400 мм.

Сечение заземляющей шины выбирается по критерию механической прочности соединения (порядка  $20 \text{ мм}^2$  и более). Шина заземления ОПН подсоединяется кратчайшим путем к общему контуру заземления в соответствии с рекомендациями ПУЭ [12].

## **5 ВЫБОР МЕСТА УСТАНОВКИ КТПН И МОНТАЖ ФУНДАМЕНТА**

### **5.1 Выбор места установки КТПН и типа фундамента**

Место установки подстанции и расстояние до соседних сооружений должны соответствовать правилам пожарной безопасности и ПУЭ [12]. В то же время в любом случае должны быть обеспечены:

- пожарный подъезд;
- выкатка и транспортировка силового трансформатора;
- свободный приток и отвод воздуха через жалюзи.

Выполняют привязку территории площадки подстанции к плану расположения объекта (объектов) электроснабжения. Проверяют планировку площадки для обеспечения отвода ливневых вод.

КТПН устанавливают на специальное строительное основание - фундамент. Для установки КТПН используют фундаменты заглубленного или незаглубленного типа.

Фундаменты разрабатывает проектная организация по требованиям СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений» и СНиП 2.02.-3-85 «Свайные фундаменты». Исходными данными для проектирования фундаментов являются:

- вес блоков без оборудования, тн;
- максимальный вес оборудования, тн;
- габаритные размеры блока, мм;
- характеристики грунта в месте установки подстанции.

Тип фундамента под сооружаемые подстанции во всех случаях выбирают в соответствии с проектным решением, принятым на основании данных инженерно-геологических изысканий.

### **5.2 Фундамент заглубленного типа**

Фундамент заглубленного типа применяют для установки металлических КТПН. Фундамент выполняют из железобетонных стоек серии УСО различной конструкции, заглубляемых в специальные котлованы в грунте.

Котлованы для фундаментов бурят буровыми или бурильнокрановыми машинами БКГО, БМ (БКГМ), ГБС.Л. Диаметр сверленных котлованов должен составлять 450 мм. Устанавливают стойки УСО-3А или УСО-4А. При установке стоек в котлованы послойно трамбуют (уплотняют) грунт механическими или ручными трамбовками. Для засыпки котлованов на песчаных почвах используют грунт, полученный при разработке котлована, а на глинистых почвах песчано-гравийную смесь состава 1: 1.

Для удобства обслуживания КТПН сооружают площадки на высоте 0,75 м от поверхности земли. Площадки также устанавливают на двух стойках УСО-4А, которые заделывают в сверленные котлованы. Котлованы под стойки площадки обслуживания бурят только после окончательной установки стоек под блоки КТПН. Металлическую раму площадки крепят к оголовкам стоек при помощи сварки.

Силовые трансформаторы 630 кВ·А содержат значительное количество масла, поэтому при планировке на территории площадки КТПП предусматривают маслостоки для отвода масла в аварийных случаях. В целях создания безопасных в пожарном отношении условий расстояние от маслотоков до оборудования и зданий должно быть не менее 10 м.

### **5.3 Фундамент незаглубленного типа**

Фундамент незаглубленного типа применяют для установки КТПН с кабельным вводом, он может быть ленточным или сплошным. Ленточный фундамент выполняют из бетона методом заливки, либо из стандартных фундаментных блоков типа ФБС.

Сплошной фундамент выполняют из железобетонных плит. При сооружении фундамента срезают растительный слой грунта не менее чем на 30 см, засыпают песчаное основание и укладывают железобетонные конструкции.

Рекомендации по выполнению ленточного варианта фундамента: (рисунок 4.1):

- ширина тела ленточного фундамента в плане не менее 300 мм;
- глубина заложения ленточного фундамента определяется расчетом (не менее расчетной глубины промерзания грунта;
- отметка верха ленточного фундамента принимается  $H$  м над уровнем земли;
- так как кабельный ввод выполняется в полу модуля электротехнических блоков, то необходимо устройство технического подполья.
- поверхность ленточного фундамента должна быть отнивелирована с отклонением не более  $H \pm 5$  мм.

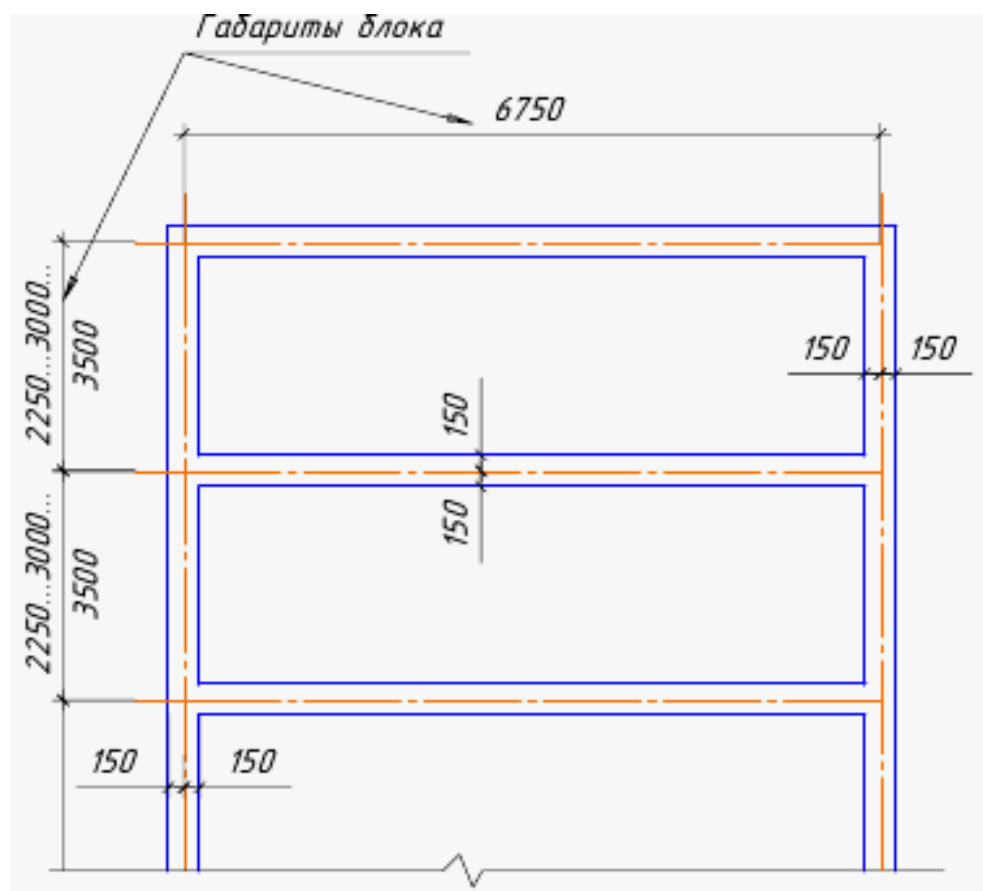


Рисунок 5.1 Ленточный фундамент КТПН

Рама основания каркаса опирается на фундамент без крепления к нему. Наружные площадки выполняются у ворот и дверей.

## **5.4 Проверка фундаментов под монтаж**

Фундамент для установки КТПН должен быть достаточно массивным, чтобы воспринимать статические и динамические нагрузки от работающего оборудования, не допуская сдвигов и вибраций при его работе. Строители должны нанести на фундаменты их главные оси (продольную и поперечную) и отметку верхней поверхности фундамента относительно нулевого репера.

Перед монтажом следует проверить готовые фундаменты на их соответствие проектной документации: правильность положения фундамента по отношению к элементам привязки конструкции (например, по отношению к фундаментам других зданий), а также точность размеров фундамента по основным осям.

По нанесенным на фундамент осям проверяют размеры колодцев под фундаментные болты, правильность их выполнения и расположения по отношению к главным осям согласно проекту.

Горизонтальность фундаментов определяется с помощью уровней или нивелира. На практике используют гидростатический уровень или рамный прецизионный уровень. При больших размерах фундаментов целесообразно применение гидростатического уровня и нивелиров, при малых - рамного прецизионного уровня.

## **5.5 Изготовление фундамента**

### **5.5.1 Фундамент для КТПН с кабельным вводом (К/К)**

КТПН мощностью 400 кВА и выше имеют, как правило, конструкцию киоскового типа. Монтаж трансформаторных подстанций киоскового типа ведется

на общем фундаменте, обеспечивающем строительную надежность всей конструкции и защиту от снежных заносов и наводнений.

КТПН устанавливается на подготовленный ленточный фундамент, на плиты ФБС, на подготовленную площадку из железобетонных плит. Установка производится без силового трансформатора и заземляется. Фундамент разрабатывает проектная организация в зависимости от данных инженерно-геологических изысканий по требованиям СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений», и СНиП 2.02.-3-85 «Свайные фундаменты». Отметка верха фундамента принимается +0,2...+1,5 м над уровнем земли. Количество и порядок размещения закладных труб для прохода кабелей определяется заказчиком с учетом 50 % запаса. Высота опорной конструкции выбирается в зависимости от следующих факторов:

- высота снегового покрова в зоне установки для предотвращения заметания приточных жалюзийных решеток.
- исполнение кабельных вводов и необходимость их обслуживания.

5.5.2 Фундамент для КТПН с воздушным (В/В) или воздушно-кабельным вводом (В/К)

При монтаже КТПН указанного типа все основные узлы конструкции подстанции и силового трансформатора закрепляют на общей раме и устанавливают на четырех железобетонных приставках, заглубляемых в землю на 2,5 м. Со стороны дверей шкафа устанавливают жесткую или складную лестницу с площадкой для обслуживающего персонала.

## 6 ЗАЗЕМЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО КТПН 10/0,4 КВ

Защитное заземление представляет собой преднамеренное электрическое соединение открытых проводящих частей электрооборудования с заземляющим устройством, выполняемое в целях электробезопасности.

Заземляющее устройство КТПН 10/0,4 кВ выполняется в соответствии с рекомендациями ПУЭ [12] и проектом установки подстанции. Заземляющее устройство КТПН принято общим для напряжений 10 и 0,4 кВ.

В целях создания безопасных условий труда на подстанциях заземляют нейтраль обмоток низшего напряжения силового трансформатора. В соответствии с требованиями ПУЭ [12] заземляют также все металлические корпуса, кожухи оборудования и аппаратуры (разъединитель, выключатель, щиты низкого напряжения и т. д.), которые вследствие нарушения изоляции могут оказаться под напряжением.

Сопrotивление заземляющего устройства при протекании по нему расчетного тока замыкания на землю  $I_z$  в любое время года должно быть не более

$$R_{3y} \leq 125 / I_z, \text{ Ом.} \quad (6.1)$$

Сопrotивление заземляющего устройства на подстанциях с учетом использования естественных и повторных заземлений нулевого провода на ВЛ до 1000 В должно быть не более 4 Ом для электроустановок 380/220 В.

Расчет заземляющего устройства производится при привязке объекта к конкретным условиям.

Заземляющее устройство КТПН 10/0,4 кВ включает два контура: внутренний и внешний.

*Внутренний контур заземления* выполняется внутри модулей электротехнических блоков УВН и РУНН и служит для заземления основного электрооборудования этих блоков.

*Внешний контур заземления* выполняется замкнутым и располагается по периметру площади, занимаемой подстанцией.



Замкнутый внешний контур заземления прокладывают на глубине не менее 0,5 м и на расстоянии не более 1 м от края фундамента подстанции. Металлоконструкции основания соединяются с внешним контуром заземления сваркой в двух местах полосой 40х4 мм и соединяется с внешним контуром заземления при помощи сварки по диагонали в двух местах.

План расположения заземляющего устройства КТПН 10/0,4 кВ показан в графической части дипломной работы.

### **6.1 Монтаж внешнего контура заземления**

Внешний контур заземления представляет собой систему заглубленных вертикально в грунт электродов, соединенных между собой системой горизонтальных электродов. Количество и материал электродов определяются проектом КТПН 10/0,4 кВ.

Монтаж внешнего контура заземления включает следующие технологические операции:

#### **1) Разметка и устройство траншеи**

Расстояние от наружных стен подстанции до центра траншеи должно быть не менее 2...2,5 м. Рытье траншеи обычно производят механизированным способом. Траншею выполняют глубиной 0,8 м, ширина дна – не менее 500 мм.

#### **2) Заглубление вертикальных электродов в грунт**

Вертикальные электроды (заземлители) представляют собой стальные стержни диаметром 10...14 мм и длиной не менее 5 м, либо стальной уголок с толщиной полки не менее 4 мм и не менее 3 м. Для уменьшения коррозии заземлителей обычно используют оцинкованные электроды.

При монтаже заземляющего устройства заглубление в грунт электродов вертикальных заземлителей осуществляют различными способами:

- ввертывание;
- забивка электродов заземлителей;

- вдавливание.

Все перечисленные способы реализуются с применением средств механизации, что позволяет значительно сократить время монтажа и повысить качество монтажных работ. Рассмотрим их более подробно.

#### 6.1.1 Ввертывание электродов заземлителей [26]

Осуществляют электрозаглубителями различных типов. Наиболее распространены ручные переносные электрозаглубители, выпускаемые промышленностью, имеющие электросверлильную машину и редуктор, понижающий частоту вращения обычно ниже 100 об/мин и, соответственно, увеличивающий крутящий момент на ввертываемом электроде. При пользовании этих заглубителей к концу электрода приваривают наконечник-забурник, обеспечивающий разрыхление грунта и облегчающий погружение, а также направляющий электрод в нужном направлении. Выпускаемый промышленностью наконечник представляет собой заостренную на конце и изогнутую по винтовой линии стальную полосу шириной 16 мм.

При отсутствии стандартных наконечников заостряют конец электрода. Около заостренного конца приваривают спираль из проволоки диаметром 4...6 мм и длиной около 1 м, образующую наконечник в виде бурава. Либо приваривают разрезанную и изогнутую стальную шайбу. С помощью этих приспособлений можно даже вернуть электрод в промерзший грунт при небольшой глубине промерзания. При изготовлении электродов со спиралью нужно учитывать направление вращения применяемого заглубителя, так как в некоторых конструкциях электрозаглубителей с редуктором вращение левое, и винтовой электрод должен соответствовать этому, иначе электрод при ввертывании будет тормозиться.

Технические данные ручных переносных электрозаглубителей различных типов (ПЗ, ПВЭ, УВЭГ) отечественного производства:

- диаметр ввертываемого электрода – 12...16 мм;
- глубина погружения – 5 м;

- масса – 13...15 кг;
- напряжение питания – переменное, 220 В;
- номинальная мощность электрозаглубителя – 400...600 Вт;
- частота вращения электрода – 80 об/мин;
- подача электрода – ручная;
- зажим для электрода – автоматический.

Чтобы облегчить ввертывание электродов в плотные грунты, конструируют и изготавливают различные направляющие рамы, на которых устанавливают серийные заглубители или более мощные электрозаглубители с приводным электродвигателем и редуктором (рисунок 5.1). Если поперечину 9, на которой закреплен электрозаглубитель 7, сделать поворотной, как показано на рисунке 1, то это не только облегчит установку электрода, но и позволит погружать как вертикальные, так и наклонные электроды. К верхней перекладине 6 прикрепляют трубу 5, в которой находится электрод 1 при ввертывании. Это позволяет применять длинные (до 6 м) и тонкие (диаметром 10...12 мм) электроды, не опасаясь, что они изогнутся при ввертывании. Без трубы 5 вворачивают составные электроды или цельные электроды увеличенного диаметра. Трубу 5 или всю перекладину 6 делают съемной.

Если электроснабжение на месте монтажа заземлителей отсутствует, можно использовать привод от небольшого бензодвигателя. Такие двигатели внутреннего сгорания выпускаются промышленностью для мотопил: «Дружба», «Урал» и «Тайга». На базе двигателя «Дружба» отечественными производителями выпускаются приспособления для ввертывания электродов заземления серии ПЗД. В отличие от электрозаглубителей бензomotorный механизм тяжелее и мощнее (обычно 4...5 л. с. или 3...4 кВт), что позволяет заглублять электроды большего диаметра, а если применить составные электроды – то и большей длины.

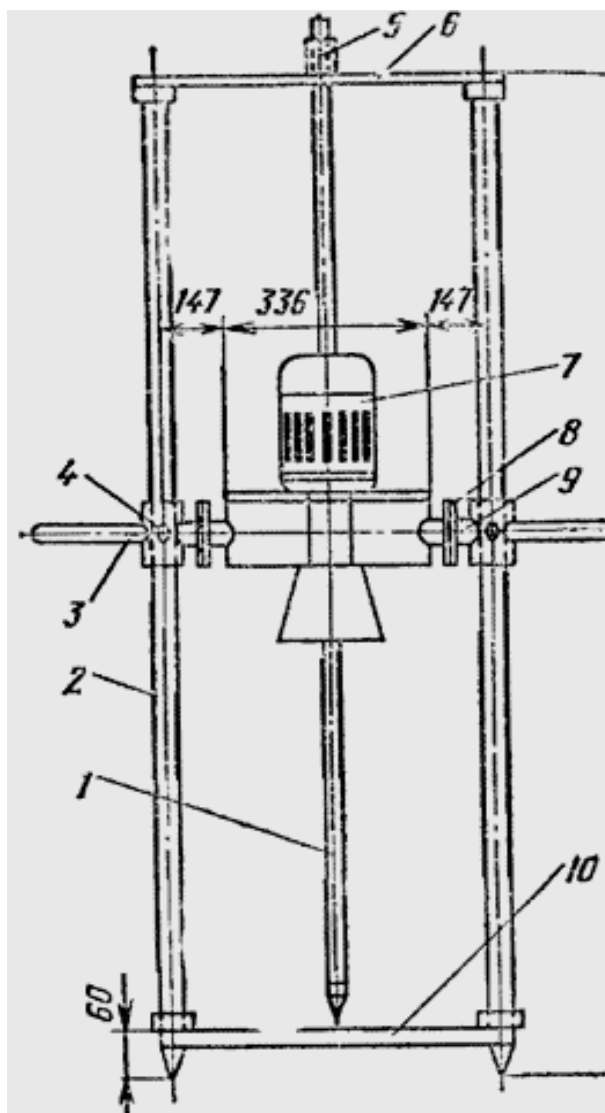


Рисунок 6.1 Ввертывание стержневых заземлителей в грунт мощным приводным электрозаглубителем; 1 – электрод; 2 – стойка; 3 – ручка; 4 – втулка; 5 – труба; 6 – перекладина; 7 – электрозаглубитель (двигатель, редуктор и зажим); 8 – узел вращения; 9 – поперечина; 10 – основание

#### 6.1.2 Забивка электродов заземлителей [26]

Электроды заземлители забивают в грунт машинами специального назначения, или приспособливают для этого серийные электрические и пневматические молотки, электротрамбовки, бензоперфораторы, легкие копры, вибраторы и другие механизмы ударного и виброударного действия, а также и ручные приспособления для монтажа единичных заземлителей в удаленных местах. При забивке можно применять стальные электроды любого профиля – из углового

проката, круглого или квадратного сечения. Однако наименьший расход металла (при одинаковой проводимости) и наибольшая устойчивость к грунтовой коррозии (в случае равного расхода металла) достигаются при использовании стержневых электродов круглого сечения.

При забивке в обычные грунты на глубину до 6 м рационально и экономично применять стержневые электроды диаметром 12...14 мм. При требуемой глубине до 10 м, а также при забивке коротких электродов в особо плотные грунты необходимы более прочные электроды диаметром от 16 до 20 мм. С помощью ударных механизмов трудно забить электроды глубже, чем на 10...12 м. Для этого рациональнее применить механизмы ударно-вибрационного действия – вибраторы, с помощью которых электроды легко погрузить даже в промерзший грунт, теряющий свою прочность под воздействием вибрации. Вибраторами можно погрузить электроды значительно глубже, чем при ввертывании и вдавливании. Это особенно важно для грунтов с высоким удельным сопротивлением (порядка 1000 Ом) и глубоким уровнем грунтовых вод (более 9 м), например для сухих песков, в которых сопротивление электрода по мере заглубления снижается очень резко:

|                                  |     |     |     |     |    |    |    |    |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
| Глубина забивки электрода, м ... | 3,5 | 5   | 7   | 9   | 11 | 13 | 15 | 18 |
| Сопротивление растеканию, Ом ... | 300 | 250 | 150 | 110 | 85 | 45 | 20 | 10 |

Из этих цифр видно, что один вертикальный электрод, погруженный на глубину 18 м, будет иметь примерно такую же проводимость, что и 30 электродов, погруженных на глубину 3,5 м. Учитывая перемычки, необходимые для соединения коротких электродов, металла понадобится гораздо больше, значительно повысится и затраты труда и стоимость заземляющего устройства, а проводимость ввиду взаимозащитывания коротких электродов может оказаться даже меньше, чем у одного глубинного электрода.

Если при проектировании грунт не зондировали и электрические характеристики грунта неизвестны, то во избежание лишней работы монтаж глубинных заземлителей рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- подготовить отрезки электрода, их длину принять соответственно конструкции

- забить нижний отрезок электрода;
- измерить сопротивление растеканию забитого отрезка;
- приварить следующий отрезок электрода;
- забить второй отрезок и снова выполнить измерение;
- работу продолжать до достижения нужной проводимости.

Механические вибраторы часто устанавливают на трактор, на том же тракторе устанавливают и сварочный генератор для сварки отрезков электрода (рисунок 6.2).

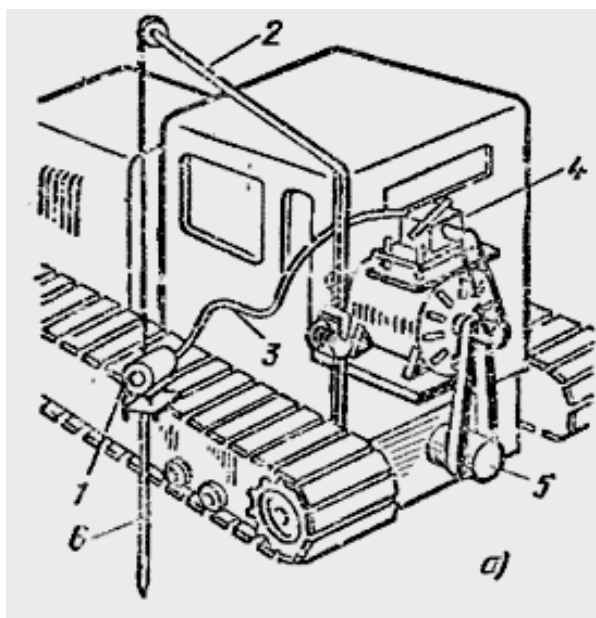


Рисунок 6.2 Забивка вертикальных электродов-заземлителей навесным механическим вибратором: 1 – вибратор; 2 – грузоподъемная стрела; 3 – гибкий приводной вал; 4 – сцепление; 5 – вал отбора мощности трактора и ременная передача на сварочный генератор и на сцепление привода вибратора; 6 – погружаемый заземлитель

Механический вибратор 1 массой 8 кг имеет круглый корпус диаметром 100 мм, в котором на двух подшипниках вращается дебаланс. Посредством промежуточного бойка, прикрепленного к корпусу на спиральных пружинах, и

трубчатого наконечника удары передаются на погружаемый электрод 6. Вибратор подвешен к трактору на легкую откидную укосину. Во вращение он приводится двигателем трактора через дополнительно установленное сцепление 4 и гибкий вал 3 диаметром 16 мм. Данная конструкция вибратора не уравновешена в горизонтальной плоскости, и поэтому длина погружаемого отрезка определяется высотой подвески вибратора к укосине. При уравновешенной конструкции электрод, пропускаемый через эту конструкцию, мог бы быть цельным, однако перевозка и установка для погружения длинных прямых стержней затруднительна, а выполнение сварочных работ на месте необходимо во всех случаях.

Отсутствие силовых передач или движущихся частей в механическом вибраторе, кроме единственного массивного дебаланса, делает его исключительно надежным. В рабочей зоне нет открытых движущихся частей, нет сжатого воздуха и электрического напряжения. Это повышает безопасность работающих.

За один прием возможно погружение отрезка электрода длиной 2...2,5 м, затем вибратор поднимают, наращивают сваркой следующий отрезок и продолжают погружение до достижения достаточной проводимости заземлителя. Цикл работы – погружение электрода на 2,5 м и его наращивание – в зависимости от плотности грунта и достигнутой глубины занимает от 2 до 7 мин.

В других случаях используют электровибратор, подвешенный к крановой стреле, смонтированной на автомобиле (рисунок 6.3). Для выполнения сварочных работ в кузове машины установлен сварочный трансформатор, а для электропитания трансформатора, привода стрелы и вибратора установлен электрогенератор. Кнопки управления установки смонтированы на стенке автомашины в защитном кожухе. Стрела грузоподъемностью 0,5 т вынесена на крышу фургона. Подъем вибратора занимает 2 мин, а погружение отрезка электрода длиной 3 м – около 5 мин.

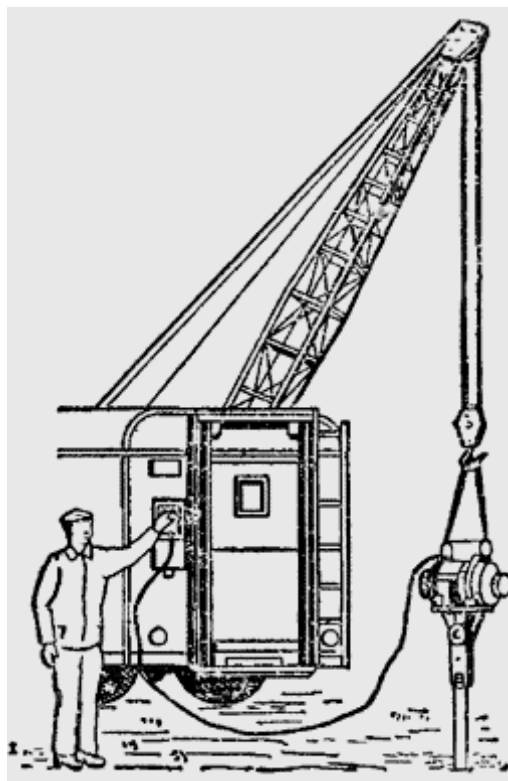


Рисунок 6.3 Забивка вертикальных электродов-заземлителей  
навесным электрическим вибратором

К электровибратору заводского выпуска дополнительно изготавливают направляющий стакан с цилиндрическим переходником для электродов круглого сечения или с переходником любого другого профиля.

Мощность электровибратора составляет 1,2 кВт, масса – 100 кг. Мощность электродвигателей на подъемной лебедке и стреле соответственно 1,7 и 1,0 кВт. На автомашине установлен электрогенератор мощностью 25 кВт, обеспечивающий питание вибратора, электродвигателей и сварочного трансформатора. Контур заземления монтируется с помощью такой установки звеном из двух рабочих, из которых один является шофером, а другой имеет совмещенную профессию электрослесаря и сварщика. Оба они обучены способам осмотра, измерения и проверки качества заземлителя. Звено монтирует электроды, сваривает их в контур, проверяет его и оформляет протокол измерения и акт осмотра заземлителя.



Такой же способ погружения небольшого числа электродов можно использовать и без специально оборудованного автомобиля или трактора, применив легкий электровибратор мощностью до 0,8 кВт, устанавливаемый в рабочее положение вместе с погружаемым электродом вручную. Использование специальной металлической подставки позволяет рабочим не прикасаться к приспособлению в процессе погружения электрода, что существенно облегчает работу.

Забивку заземлителей можно также производить при помощи электромолотков и пневмомолотков, серийно выпускаемых заводами. В мастерской заранее изготавливают отрезки стержневых электродов длиной по 2,5 м и к одному концу каждого отрезка приваривают муфту, изготовленную из трубы соответственного диаметра и длиной 100 мм, прорезанную с любой стороны на толщину стенки вдоль. Прорезь нужна для продольного сварного шва. При заготовке электродов их вставляют в муфту на 50 мм, приваривают поперечным швом торец муфты к электроду по его окружности и продольным швом длиной 50 мм вдоль прорези в муфте. Вторая половина длины муфты остается свободной для удобства соединения отрезков и забивки. Электромолоток с вставленным в него бойком, входящим своим концом в верхнюю половину муфты, надежно в ней удерживается и, вибрируя под действием собственной массы при включении источника энергии, забивает электрод. В процессе забивки удерживать электромолоток руками не нужно, что значительно облегчает работу. Но для установки электромолотка массой до 21 кг на вертикально поставленный на грунте электрод необходимы прочные, устойчивые переносные козлы с ограждением рабочей площадки. После того, как электрод погрузится до своего верхнего конца, молоток отключают, снимают с электрода и в верхнюю половину муфты вставляют нижний конец следующего отрезка электрода, приваривают его поперечным и продольным швами к забитому электроду и продолжают погружение, установив электромолоток в муфту, имеющуюся на верхнем конце второго отрезка. Соединение электродов муфтами надежно и создает удобство в работе. Однако

муфты создают дополнительное сопротивление (увеличивают реакцию грунта), немного замедляют погружение и уменьшают наибольшую возможную глубину погружения при данной мощности механизма, что особенно заметно в плотном грунте. Сварка электродов встык не рекомендуется из-за малой прочности, а сварка внахлест или с накладками замедляет погружение еще больше, чем муфта.

Для электробезопасности молоток должен иметь двойную изоляцию, либо (при обычной изоляции) он должен быть заземлен отдельной жилой шлангового кабеля, по остальным жилам которого подается электроэнергия от генератора или от внешней сети. Дополнительной мерой безопасности, как и для работы с любым электроинструментом, может быть применение резиновых перчаток или устройств защитного отключения.

Если вблизи имеется компрессор, то вместо электромолотка рациональнее применить легкий пневмомолоток, но и тогда нужно иметь прочные, устойчивые козлы, так как пневмомолоток в обычно применяемых приспособлениях приходится во время работы удерживать руками, чтобы он не соскочил с электрода вследствие отдачи. Одно из таких приспособлений представляет собой специальную насадку-переходник, верхним концом закрепляемую в пневмомолотке и имеющую в нижнем конце полый цилиндр, в который вставляется конец электрода.

Электроинструменты и механизмы с электрическим приводом получают питание от устанавливаемых на автомобилях и тракторах электрогенераторов или от перевозимых в кузовах автомобилей небольших (мощностью 2 кВт) серийно выпускаемых промышленностью бензоэлектрических агрегатов.

### 6.1.3 Вдавливание электродов заземлителей [26]

При вдавливании электродов-заземлителей грунт не только не разрыхляется, но даже уплотняется. Поэтому этот способ монтажа обеспечивает, так же как и способ забивки, наилучшую проводимость заземлителя вследствие хорошего

контакта электрода с грунтом и возможность немедленной сдачи в эксплуатацию после монтажа и измерения сопротивления.

Например, заземлители можно вдавливать простыми приспособлениями, устанавливаемыми на тяговой скобе прицепного устройства любого трактора, или на штанге бурильной машины и т. д.

Стержневой электрод диаметром 12 мм и более (диаметр выбирают в зависимости от плотности грунта и необходимой глубины вдавливания) вставляют сверху между зажимными плашками, нажимая на них концом электрода. От усилия нажатия, преодолевающего сопротивление пружин, плашки опускаются книзу и одновременно расходятся в стороны до тех пор, пока электрод не пройдет между ними.

Электрод вдавливается в грунт вертикальным опусканием прицепного устройства трактора вместе с зажимом и электродом под воздействием гидросистемы трактора. При ходе вниз плашки зажима автоматически зажимают электрод и вдавливают его на 20...25 см за один ход прицепного устройства, опускаемого гидроцилиндром. Затем с помощью того же гидроцилиндра прицепное устройство поднимают вверх. В это время электрод удерживается в неподвижном состоянии силой сцепления с грунтом, а зажимные плашки раздвигаются и скользят по электроду. В той же последовательности повторяют работу до полного погружения электрода на заданную глубину. Ввиду большого давления на грунт, развиваемого мощным механизмом, подготавливать (заострять) нижний конец электрода, как это делается при применении маломощных ручных приспособлений, не требуется.

Для вдавливания электродов в грунт можно использовать бурильно-крановые машины любого типа. Такой машиной можно быстро и просто заглубить заземлитель. Для этого электрод небольшой длины (до 1,5 м) устанавливают вертикально и ударом кувалды закрепляют в грунте, вгоняя на небольшую глубину. Это необходимо для того, чтобы исключить небезопасную работу по удерживанию электрода руками в начале вдавливания. Затем рабочий отходит от

места вдавливания электрода на безопасное расстояние и подгоняет буровую машину так, чтобы головка бура оказалась над электродом. Включают вертикальную подачу шнека, и головка бура, не вращаясь, за несколько секунд погружает электрод на полную глубину. К верхнему концу погруженного электрода приваривают следующий отрезок длиной до 1,3 м и продолжают вдавливание в грунт. Никакого переустройства машины и дополнительных приспособлений при этом не требуется, и после монтажа заземлителей машина сразу же может выполнять свою основную работу. Но этот способ имеет существенный недостаток, заключающийся в необходимости сваривать электрод нужной длины из нескольких коротких отрезков, предельная длина которых ограничивается наибольшим габаритом головки бура над поверхностью земли. Более длинный цельный электрод можно вдавливать бурильной машиной, имеющей пустотелую штангу. Для этого придется снять бур и под штангой укрепить зажим на вспомогательной конструкции, обеспечивающей соосность штанги и зажима. Электрод пропускают через штангу и зажим и вдавливают в грунт, отключив штангу от вращения и подавая ее вниз вместе с зажатым электродом.

Способ вдавливания более производителен, чем способ ввертывания (см. п. 6.1.1), но иногда при ввертывании легче преодолеть препятствие (особо плотный грунт), встретившееся при погружении электрода.

**Вывод:** Обычно наиболее рациональными способами монтажа являются: для талых, мягких грунтов – вдавливание и ввертывание стержневых электродов, забивка и вдавливание профильных электродов; для плотных грунтов – забивка электродов любого сечения; для мерзлых грунтов – вибропогружение.

Рассмотренными выше способами электроды заглубляют вертикально в дно траншеи так, чтобы их верхние концы выступали на 150...200 мм (рисунок 5.4).

### 3) Соединение вертикальных электродов между собой

Осуществляется горизонтальными заземлителями, которые прокладывают на уровне верхних концов вертикальных заземлителей. В качестве горизонталь-

ных заземлителей применяют электроды, выполненные из полосовой стали с размерами сечения не менее 40х4 мм, или стержневые электроды диаметром 10...12 мм. Соединение горизонтальных электродов с вертикальными осуществляется сваркой – приваркой с двух сторон. Более предпочтительно использование горизонтальных заземлителей из полосовой стали, поскольку они позволяют получить большую длину сварного шва при монтаже, т. е. обеспечивают большую надежность мест соединения контура заземления.

#### 4) Проверка качества сварных соединений

Качество сварных соединений проверяется осмотром, а прочность – ударом молотка массой 1 кг. После проверки все сварные соединения обрабатывают битумным лаком для предотвращения коррозии.

5) Контроль величины сопротивления заземляющего устройства и составление акта скрытых работ.

Измерение сопротивления ЗУ производят специальным прибором – измерителем сопротивления заземления, например, прибором М416 или Ф4103 - МІ или другими аналогичными. Если величина сопротивления ЗУ соответствует нормативному значению, то составляют акт скрытых работ по установленной форме.

6) Присоединение внутреннего заземляющего контура подстанции к внешнему заземляющему контуру.

Внутренний контур заземления имеет два (и более) вывода к внешнему контуру заземления. Присоединение осуществляется сваркой внахлест.

#### 7) Засыпка траншеи

Засыпку выполняют землей без камней и строительного мусора слоями по 200...300 мм с трамбовкой каждого слоя.

## **6.2 Монтаж внутреннего контура заземления**

Как отмечалось выше, внутренний контур заземления выполняется внутри модулей электротехнических блоков УВН и РУНН.

Монтаж контура производят стальной полосой 40х4 мм, проложенной по стенам блоков на отметке 145 мм от уровня пола.

Внутренний контур заземления имеет два (и более) вывода к внешнему контуру заземления. Внутренний контур заземления окрашивается: чередующимися полосами желтого и зеленого цвета либо в черный цвет повсей длине с нанесенными знаками «Заземление» в местах подключений. Места присоединения зачищаются и покрываются токопроводящей смазкой для защиты от коррозии.

Каждый заземляемый элемент подстанции присоединяют к внутреннему заземляющему контуру при помощи отдельного ответвления. Последовательно включать в заземляющий проводник несколько заземляемых частей установки запрещается. Все присоединения заземляющих проводников к заземляемым конструкциям выполняют сваркой, а к корпусам аппаратов - сваркой или болтами.

К внутреннему контуру заземления присоединяют:

- нейтраль трансформатора на стороне НН – медным проводником сечением не менее  $50 \text{ мм}^2$  или стальной полосой 4х40 мм<sup>2</sup>;
- корпус трансформатора – медным проводником сечением не менее 50 мм<sup>2</sup>;
- металлические нетоковедущие части УВН и РУНН – гибкими медными проводниками сечением не менее  $50 \text{ мм}^2$ ;
- металлические нетоковедущие части щитового оборудования - гибкими медными проводниками сечением  $16 \text{ мм}^2$ ;

Заземление камер КСО выполняется подсоединением шин заземления к основанию камер с помощью болта заземления. Металлические части встроенного оборудования и доступные прикосновению металлические конструкции имеют электрический контакт с каркасами камер КСО посредством

шинок заземления или зубчатых шайб.

В ячейках РУВН и панелях РУНН предусмотрены места для присоединения переносного заземления, необходимого для испытаний (эксплуатации) и наладки электрооборудования.

### **6.2.1 Особенности заземления КТПН с воздушным вводом и кабельным выводом (В/К)**

КТПН 10/0,4 кВ с кабельным выводом получили более широкое распространение для питания потребителей, чем КТПН 10/0,4 кВ с воздушным выводом. Это обусловлено тем, что отходящие линии 0,4 кВ обычно имеют небольшую протяженность и их сооружение в условиях населенных пунктов однозначно имеет преимущества в пользу кабельных линий.

Всю конструкцию комплектной трансформаторной подстанции КТПН и нулевую точку трансформатора заземляют согласно знакам заземления самостоятельными заземляющими спусками на общий контур заземления трансформаторной подстанции.

Заземляющее устройство разъединителя, к которому присоединяются заземляющие ножи, другие заземляемые элементы концевой опоры ВЛ-10 кВ (например, вентильные разрядники и их металлоконструкции), с которой осуществляется ввод ВН в КТП, имеют собственное заземление, соединяющееся с общим контуром комплектной трансформаторной подстанции.

На рисунке 5.5 показан план расположения заземляющего устройства КТПК 10/0,4 кВ (киоскового типа) с воздушным вводом и кабельным выводом. Габаритные размеры КТПК 1800×2500×4075 мм. Основные параметры ЗУ и расход металла на выполнение ЗУ представлены в таблице 6.1 [7].

На рисунке 6.5 конструкция заземляющего устройства включает:

- 6 стержневых вертикальных заземлителей из стали диаметром 16 мм, длиной 5 м;
- горизонтальный стержневой заземлитель, из стали диаметром 10 мм;
- заземляющий стержневой проводник, из стали диаметром 10 мм.

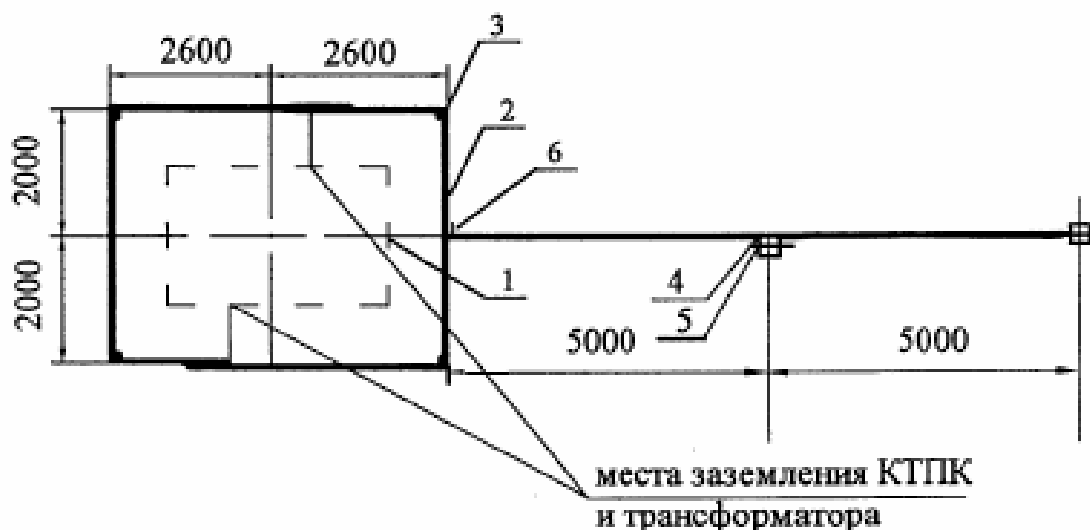


Рисунок 6.5 План расположения заземляющего устройства КТПК 10/0,4 кВ ки-оскового типа с воздушным вводом и кабельным выводом: 1 – периметр каркаса подстанции; 2- горизонтальный заземлитель; 3 – вертикальный заземлитель; 4 – заземляющий проводник; 5 – стойка концевой опоры ВЛ 10 кВ с разъедините-лем; 6 – место сварки (в местах стыковки каркаса КТПК, вводного короба и кронштейна)

Таблица 6.1 Основные параметры ЗУ и расход металла на его выполнение

| Удельное<br>электриче-<br>ское сопро-<br>тивление<br>грунта,<br>Ом·м | Норматив-<br>ное сопро-<br>тивление<br>ЗУ, Ом | Расход металла на ЗУ   |      |                             |    | Всего |
|--|---|--|------|-----------------------------|----|-------|
|  |   | Горизонталь-<br>ный<br>заземлитель и<br>заземляющий<br>проводник |      | Вертикальный<br>заземлитель |    |       |
|  |   | м  | кг   | м                           | кг |       |
| 100  | 4   | 41   | 25,4 | 30                          | 48 | 73,4  |

Аналогичная информация о заземляющем устройстве приводится предприятиями – производителями в типовых проектах на установку КТПН различных конструкций.



## **7 МОНТАЖ КТПН**

### **7.1 Общие требования**

Для качественного выполнения электромонтажных работ при минимальных затратах труда и материальных ресурсов необходимо провести инженерную подготовку, включающую разработку:

- проекта организации работ;
- проекта производства работ (ППР);
- сетевых графиков на проведение монтажных и пусконаладочных работ.

На основании ППР оформляются спецификации и заявки на необходимые монтажные механизмы, оборудование и приспособления, инструменты и монтажные материалы, а также на электромонтажные изделия, электрические конструкции, блоки и узлы, подлежащие изготовлению на заводах и в центральных монтажно-заготовительных мастерских.

Кроме того, в процессе подготовки к монтажу и монтажу необходимо обеспечить:

- комплектование и своевременную доставку на объект необходимых материально-технических ресурсов;
- схемы такелажа крупногабаритного и тяжеловесного оборудования;
- решения по технике безопасности, требующие проектной разработки;

Вся проектная техническая документация анализируется заказчиком, который перед передачей ее монтажной организации для производства работ обязан поставить на ней подпись и штамп «Разрешается к производству работ».

Любые виды электромонтажных работ выполняются в два этапа:

- 1) Заготовительные работы в мастерских и подготовительные работы непосредственно на объекте.
- 2) Электромонтажные работы на объекте.

Перед началом электромонтажных работ на объекте обычно проводятся:

- подготовительные работы по освоению монтажной площадки с организацией электромонтажного участка;
- организация временного энергоснабжения объекта электромонтажа;
- мероприятия по технике безопасности, охране труда и противопожарной безопасности.

К началу монтажа электрического и электромеханического оборудования подстанции все строительные работы должны быть закончены.

## **7.2 Транспортировка и хранение оборудования**

Транспортировка блоков КТПН осуществляется в упаковке в виде отдельных грузовых мест: электротехнические блоки с установленными в рабочее или транспортное положение шкафами УВН и РУНН, силовые трансформаторы, площадки для вывода трансформаторов в ремонт и т.д.

Условия хранения для полностью смонтированных комплектных изделий (УВН и РУНН) регламентируются ГОСТ 15150-69. Срок хранения до 1 года. Для составных частей и силовых трансформаторов условия хранения указаны в соответствующей эксплуатационной документации.

Сроки хранения составных частей не могут превышать указанных в эксплуатационных документах для каждого блока изделия. Сроки транспортирования входят в общий срок сохраняемости.

До начала работ по сооружению трансформаторной подстанции составляют график поставки конструкций и оборудования, выбирают необходимые транспортные средства и механизмы. Проверяют возможность проезда транспортных средств, проверяют мосты, переезды, допустимые габариты.

### 7.3 Монтаж 10/0,4 кВ

Монтаж КТПН выполняется в соответствии с требованиями СНиП, ПУЭ и монтажных инструкций заводов-изготовителей. Перед монтажом следует убедиться в соответствии исполнения оборудования условиям его эксплуатации.

Перед монтажом КТПН следует проверить комплектность поставки, произвести осмотр и проверку на отсутствие дефектов самой конструкции и встроенного оборудования.

Монтаж КТПН выполняется в следующей последовательности [23, 24]:

- монтаж силовых трансформаторов;
- установка КТПН на фундамент и присоединение к внешнему заземляющему контуру;
- установка УВН и РУНН;
- монтаж соединений трансформатора УВН с РУНН;
- монтаж ОПН;
- при воздушном вводе - монтаж соединения с ВЛ 10 кВ согласно ПУЭ [12] и проекту установки подстанции;
- при кабельном вводе - монтаж соединения с КЛ 10 кВ согласно проекту установки подстанции.

Рассмотрим более подробно основные операции монтажа

#### 7.3.1 Монтаж силовых трансформаторов

Силовой трансформатор - основной элемент схемы электроснабжения. От качества его монтажа во многом зависит надежность его работы в условиях эксплуатации.

По размерам силовые трансформаторы подразделяются на шесть габаритов. Применяемые в КТПН 10/0,4 кВ силовые трансформаторы относятся к первым трем габаритам: 1-й габарит - мощностью 25...100 кВА, 2-й габарит - мощностью 160 ... 630 кВА и 3-й габарит - мощностью 1000 ... 6300 кВА. С завода-изготовителя трансформаторы обычно доставляют железнодорожным или вод-

ным транспортом. Трансформаторы мощностью до 1600 кВ·А транспортируют в полностью собранном виде и заполненными маслом. Трансформаторы большей мощности транспортируют с маслом, но со снятыми отдельными узлами (вводы, расширители, радиаторы и т. п.).

На месте монтажа трансформаторы разгружают либо при помощи кранов соответствующей грузоподъемности, либо при помощи домкратов на специально выполненную шпальную клеть.

Трансформаторы, поступившие к месту монтажа, в течение 10 дней подвергают осмотру и проверке на герметичность.

При проверке герметичности бака у трансформаторов, транспортируемых с маслом, убеждаются в отсутствии утечки масла и нормальном его уровне. У трансформаторов, транспортируемых с расширителем, уровень масла определяют по масломерному стеклу. У трансформаторов, транспортируемых с маслом, но без расширителя, на крышке бака устанавливают трубу длиной 1,5 м и диаметром, равным 1...1,5 дюйма с воронкой. В трубу наливают масло. Если в течение 3 часов течи нет, то бак трансформатора герметичен.

До проверки герметичности запрещается подтягивать уплотнения.

Во время хранения трансформаторов фарфоровые вводы закрывают деревянными ящиками, в процессе хранения периодически контролируют уровень масла в расширителе, отсутствие течи масла.

Чтобы монтаж силового трансформатора прошел успешно, необходимо тщательно выполнить подготовительные работы. До начала монтажа необходимо подготовить следующее:

- строительную часть (фундамент, пути перекатки до места монтажа);
- помещение или площадку для сборки, ревизии и прогрева трансформатора;
- соответствующие подъемные механизмы, инструмент, приспособления и материалы;
- трансформаторное масло и оборудование для его обработки и заливки;

- источники электроснабжения;
- противопожарный инвентарь и систему оповещения (телефон и т. п).

Трансформаторы всегда устанавливаются по оси трансформаторного отсека. Для установки силовых трансформаторов предусмотрены специальные устройства:

- трансформаторы мощностью до 1000 кВА устанавливаются на тележках, межосевое расстояние направляющих составляет 1000 мм;
- трансформаторы ТМГФ 1600кВА, 2500кВА устанавливаются на колесах, межосевое расстояние направляющих составляет 1070 мм.

В основании электротехнического блока для вкатывания (выкатывания) трансформатора, установленного на тележке (на колесах), имеются направляющие швеллеры (в некоторых блоках швеллеры могут быть не установлены). В местах выката трансформаторов полы в электротехническом блоке должны быть усилены.

Если в КТПН применяются силовые масляные трансформаторы, то в местах их установки в основании монтируют маслоприёмники, предназначенные для приема 20 % масла трансформатора (в стандартном варианте) и обеспечения откачки масла передвижными средствами. На месте монтажа КТПН необходимо врезать патрубки в маслоприемники и соединить их с баком для временного хранения масла (патрубки и баки в комплект поставки КТПН не входят). Маслоприемник может быть закрыт просечным листом.

После этого приступают к подготовке трансформатора и его арматуры к монтажу. К арматуре трансформаторов относятся вводы, радиаторы и расширитель (прибывшие отдельно), термосифонный и воздухоочистительный фильтры, вспомогательная аппаратура (газовое реле, термометры и т. п.) и уплотнения.

Вводы класса напряжения 3 ... 35 кВ очищают от пыли и влаги в случае необходимости армировки пользуются магнезиальной массой.

Выполняют контроль изоляции трансформатора, для этого делают следующее:

а) у трансформаторов, транспортируемых с маслом, отбирают пробу масла, которую подвергают сокращенному анализу и для которой измеряют тангенс угла диэлектрических потерь;

б) у трансформаторов, транспортируемых без масла, проверяют электрическую прочность остатков масла, взятого через пробку бака.

Результаты предварительной оценки состояния изоляции учитывают при решении вопроса о включении трансформатора в эксплуатацию без сушки.

### **7.3.2 Установка КТПН на фундамент и присоединение к внешнему заземляющему контуру**

Монтаж заземляющего устройства КТПН описан в разделе 6, оно принято общим для напряжений 10 и 0,4 кВ. Замкнутый внешний контур заземления прокладывается вокруг подстанции на глубине 0,5 м и расстоянии не более 1 м от края фундамента.

Основание подстанции присоединяется к внешнему контуру заземления в двух местах стальной шиной 4х40 мм с помощью сварки.

### **7.3.3 Установка УВН и РУНН**

После установки на фундамент КТПН следует смонтировать все монтажные изделия и электрооборудование, поставляемые комплектно с КТПН в демонтированном на период транспортировки виде.

### **7.3.4 Монтаж соединений трансформатора УВН с РУНН**

Подключение вводов УВН, установка и подключение трансформатора к УВН и РУНН, соединение сборных шин секций производится только после окончательной установки, сборки и заземления КТПН на месте ее дальнейшей эксплуатации.

Соединение УВН с трансформатором выполняется высоковольтными однопроволочными кабелями с изоляцией, не распространяющей горение. Кабели, соединяющие УВН с силовым трансформатором, прокладываются через кабельное сооружение по кронштейнам, установленным на стенах кабельного сооружения. В отсеки распределительных устройств кабели вводятся через проемы в полу.

Соединение трансформатора с РУНН выполняется одножильными кабелями 0,4 кВ с изоляцией, не распространяющей горение (типовое решение).

Кабели, соединяющие РУНН с силовым трансформатором, прокладываются через перегородку между отсеками и раскладываются на кабельных лотках в отсеке трансформатора.

Кабели с алюминиевыми жилами, присоединяемые к распределительным устройствам КТПН, должны быть оконцованы кабельными наконечниками по ГОСТ 7397 или медно-алюминиевыми наконечниками по ГОСТ 8581.

### **7.3.5 Монтаж ОПН**

Для защиты обмоток силового трансформатора от перенапряжений на вводах подстанций устанавливают нелинейные ограничители перенапряжений. Конструкция и требования к монтажу ОПН рассмотрены в разделе 4.

После установки каждый ОПН присоединяют к заземляющей сети стальной полосой 40×4 мм. Соединение с заземляющим контуром должно быть выполнено по кратчайшему расстоянию. Верхний наружный контакт присоединяют к защищаемым токоведущим частям. Затем измеряют сопротивление ограничителей мегомметром на 2500 В. Величина сопротивления не должна отличаться больше, чем на 30 % от величин, приведенных в паспорте аппарата.

После монтажа ограничителей до включения под напряжение необходимо произвести измерение тока проводимости. Так, например, измерение тока проводимости (тока утечки) ограничителей 10 кВ производят с помощью миллиамперметра переменного тока при напряжении 12 кВ.

Допускается проводить измерение тока проводимости с помощью миллиамперметра постоянного тока. При этом значение тока проводимости примерно на 10 % ниже, чем измеренное миллиамперметром переменного тока под рабочим напряжением.

Некоторые фирмы, выпускающие ограничители перенапряжений, не требуют эксплуатационного контроля состояния аппаратов. Однако Российская техническая политика в высоковольтной технике направлена на реализацию та-

кого контроля. Это обычно достигается измерением токов утечки ОПН под рабочим напряжением (таблица 7.1).

Таблица 7.1 Величина допустимых токов утечки ОПН

| Тип ограничителя | Наибольшее рабочее напряжение, кВ <sub>(действ.)</sub> | Ток проводимости мА <sub>(действ.)</sub> |
|------------------|--|--|
| ОПН-0,4          | 0,48   | 0,4...0,5                                |
| ОПН-6            | 7,2  | 0,4...0,5                                |
| ОПН-10           | 12   | 0,4...0,5                                |

Если измеренное значение тока проводимости достигает величины 1 мА, то ограничитель должен быть снят с эксплуатации.

Для защиты оборудования комплектной трансформаторной подстанции от атмосферных перенапряжений со стороны отходящих линий 0,38 кВ устанавливают ОПН-0,4 кВ.

### 7.3.5 Монтаж вводов ВН

#### 1) Воздушный ввод

При исполнении КТПН с воздушным вводом со стороны ВН на крыше КТПН устанавливается высоковольтный блок, состоящий из: токопроводов на опорных изоляторах; проходных изоляторов; траверсы со штыревыми опорными изоляторами; ограничителей перенапряжения.

После закрепления КТП на фундаменте устанавливают:

- 1) низковольтные изоляторы;
- 2) проходные изоляторы 6 ... 35 кВ, удалив деревянные заглушки;
- 3) патроны предохранителей типа ПК;
- 4) высоковольтные и низковольтные разрядники.

Собирают линейный разъединитель на раме, регулируют углом поворота одновременность включения, ход контактов. Проверяют состояние поверхности и площадь прилегания контактов, регулируют усилие сжатия контактов. Допускается несоосность вертикальных осей фаз разъединителя не более  $\pm 2$  мм, отличие угла поворота подвижных ножей фаз не должно быть более 3%. Параллель-



ность подвижных ножей и одновременность их замыкания регулируют изменением межполюсных тяг и перестановкой упоров. Разновременность включения ножей фаз может составлять не более 3 мм для разъединителей до 10 кВ и 5 мм для разъединителей на напряжение 35 кВ. Монтаж разъединителя выполняют следующим образом. Подготавливают приводную тягу и привод, после чего разъединитель устанавливают на опору. Монтируют элементы блокировки привода разъединителя и дверцы высоковольтного шкафа.

Полностью собранные и отрегулированные разъединители подвергают испытаниям. Мегомметром на напряжение 2500 В измеряют сопротивление изоляции поводков и тяг, выполненных из органических материалов, и многоэлементных изоляторов.

Для проверки регулировки контактных систем измеряют вытягивающие усилия подвижных контактов из неподвижных и измеряют сопротивление контактов постоянному току. Полученные данные должны соответствовать нормам.

## 2) Кабельный ввод

Для ввода и подключения кабелей в основании модуля электротехнических блоков в местах установки УВН и РУНН имеются отверстия. Отверстия уплотнены резиновыми прокладками (рисунок 7.1).

Количество и порядок размещения закладных труб для прохода кабелей определяется с учетом 50% запаса.

Кабельный ввод в камеру КСО-СЭЩ осуществляется через кабельные каналы снизу камеры и с подсоединением внутри камеры. Конструкция камеры позволяет подключать не более двух трехжильных высоковольтных кабелей сечением 240 мм или трех одножильных высоковольтных кабелей сечением до 630мм.

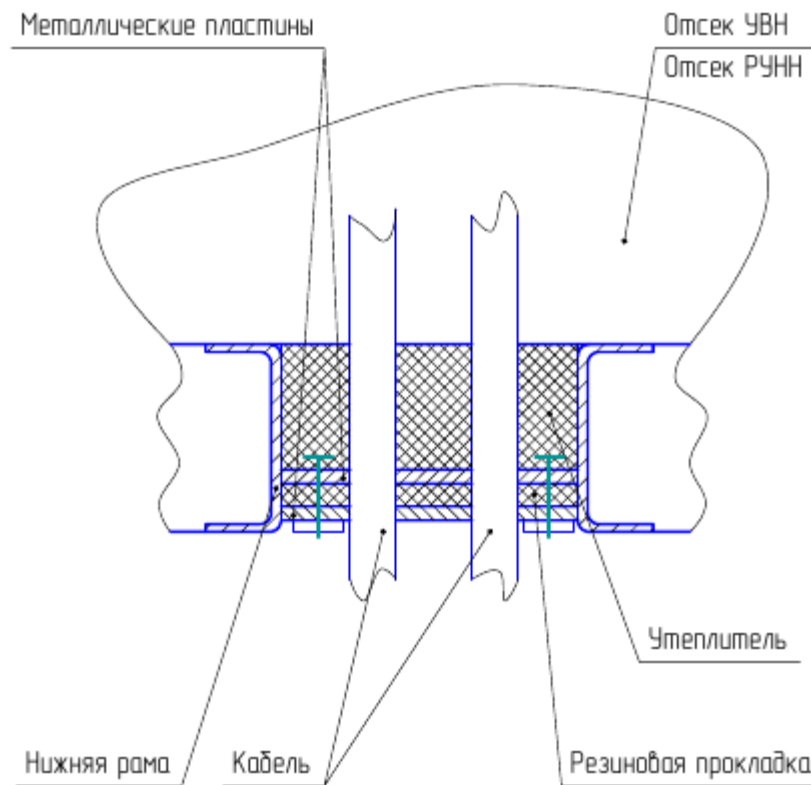


Рисунок 7.1 Кабельный ввод через нижнюю раму

#### 7.4 Подготовка к работе и подключение к сети высокого напряжения

При подготовке КТПН к работе необходимо [23, 24]:

- очистить КТПН от пыли и других загрязнений;
- подтянуть все болтовые соединения;
- проверить наличие и техническое состояние заземления;
- убедиться в правильности включения низковольтных фидеров к выводам КТПН согласно схемы электрической принципиальной;
- проверить наличие патронов в предохранителях;
- проверить сопротивление изоляции, которое должно быть не менее: для цепей 0,4 кВ и ниже – 1 МОм; для цепей 6 (10) кВ – 1000 МОм;
- подготовить силовой трансформатор к включению согласно инструкции по эксплуатации трансформатора;

- замерить изоляционные расстояния на стороне ВН, которые должны быть не менее: 130 мм - между проводниками различных фаз; 120 мм - между токоведущими и заземленными частями. На стороне НН изоляционные расстояния между сборными шинами должно быть не менее 50 мм;

- первое включение КТПН на рабочее напряжение разрешается производить после выполнения перечисленных выше требований и приемки КТПН организацией, наделенной соответствующими полномочиями.

При подключении КТПН к сети высокого напряжения необходимо выполнить следующую последовательность операций:

- установить рукоятки всех коммутационных аппаратов в положение «отключено»;
- закрыть двери отсека силового трансформатора на замок;
- снять защитные заземления;
- закрыть двери всех входящих шкафов на замки;
- включить разъединитель QS1 согласно инструкции на него;
- закрыть двери УВН на замок;
- проверить переключением SA1 наличие напряжения на фазах РУНН;
- включить ввод на автоматический выключатель;
- включить автоматические выключатели отходящих линий 0,4 кВ;
- закрыть наружную дверь РУНН на замок.

## **7.5 Меры безопасности при монтаже КТПН**

Эксплуатация и монтаж КТПН производится в соответствии с требованиями «Межотраслевых правил по охране труда при эксплуатации электроустановок» [9].

К работе на подстанции допускается только специально обученный персонал с удостоверением соответствующего образца, который должен:

- иметь специальную подготовку при эксплуатации электроустановок до и выше 1000 В;
- организовать на месте безопасное производство работ;
- знать правила оказания первой медицинской помощи пострадавшему от действия электрического тока.

При эксплуатации КТП необходимо соблюдать следующие основные правила техники безопасности:

- при работе КТП нормальное положение всех дверей — закрытое;
- запрещается проводить какие-либо работы внутри УВН, РУНН, а также на силовом трансформаторе без полного снятия напряжения необходимо убедиться в отсутствии напряжения на токоведущих частях;
- вторичная обмотка трансформаторов тока должна находиться под нагрузкой, при отсутствии нагрузки – вторичные обмотки трансформаторов тока должны быть закорочены и заземлены;
- все металлические части, подлежащие заземлению, должны быть надежно заземлены соответствии с требованиями ПУЭ;
- эксплуатация и обслуживание КТП с неисправными блокировками запрещена.

Наложение заземления при производстве работ при полном снятии напряжения выполняется:

- в отсеке УВН стационарными ножами заземления, расположенными на выключателе нагрузки (разъединителе) 6...10 кВ;
- на сборные шины РУНН – переносным заземлением.

При воздушном вводе и выводе, подъем персонала выше уровня крыши запрещается.

Защитные меры безопасности:

Перед пуском в эксплуатацию КТПН следует выполнить все необходимые проверки и регулировки установленного оборудования и аппаратов в соответ-

ствии с инструкциями по монтажу и эксплуатацию на данное оборудование и аппаратуру.

Эксплуатация КТПН должна производиться квалифицированным персоналом в соответствии с инструкциями по эксплуатации, входящими в эксплуатационные документы, а также в соответствии с «Правилами устройства электроустановок», «Правилами эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Осмотры, чистка изоляции оборудования, планово-предупредительные ремонты и профилактические испытания проводятся в сроки, определяемые ПТЭ и местными инструкциями.

При осмотрах особое внимание следует обращать на состояние контактных соединений, исправность заземления, состояние изоляции: загрязненность, наличие трещин, следов разрядов и пр. Загрязненную фарфоровую изоляцию следует очищать ветошью, смоченной в бензине или растворителе. Поверхность изолятора после чистки вытереть насухо.

Ремонтные работы внутри КТПН, как правило, выполняются при полном снятии напряжения с токоведущих частей и включенных заземляющих ножах.

Работы на сборных шинах должны выполняться только при отключенных коммутационных аппаратах и заземленных сборных шинах.

Включение автоматических выключателей на отходящих линиях в РУ-0,4 кВ, отключенных защитой, следует выполнять в соответствии с инструкцией по эксплуатации на данные выключатели.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Будзко И. А. Электроснабжение сельского хозяйства [Текст] / И. А. Будзко, Н. М. Зуев. – М. : Колос, 2000. – 536 с.
2. Быстрицкий Г. Ф. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов [Текст] : учеб. пособие для вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Б. И. Кудрин. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 176 с.
3. Вакуумный выключатель ВВ-TEL 6(10)-20кА-1000А [Электронный ресурс] : каталог продукции / Российская группа компаний «Таврида-Электрик», г. Москва. – Режим доступа <http://www.elec.ru/library /manuals /vakuumnyj-vyklyuchatel-vv-tel-610-20ka-1000a.html>.
4. Водяников В. Т. Экономическая оценка энергетики АПК [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Т. Водяников. – М.: ИКФ «ЭКМОС», 2002. – 304 с.
5. Зотов Б. И. Безопасность жизнедеятельности на производстве [Текст] / Б. И. Зотов, В. И. Курдюмов. – М.: Колос, 2000. – 424 с.
6. Камеры сборные одностороннего обслуживания 6 и 10 кВ серии КСО-СЭЩ [Электронный ресурс] : техническая информация : ТИ – 082; версия 2.0 /«САМАРАЭЛЕКТРОЩИТ». – Режим доступа [http://www. samaraelektrochit.ru /kamery\\_kso](http://www. samaraelektrochit.ru /kamery_kso).
7. Комплектная трансформаторная подстанция напряжением 10 (6) кВ мощностью 25...630 кВА киоскового типа [Текст] : типовой проект : ЧЭМЗ.674810.069. – Чебоксары : Издательство ЗАО «Чебоксарский Электромеханический Завод», 2008. – 40 с.
8. КТПН 10/0,4 кВ [Электронный ресурс] : каталог / ООО «Казанское Электромонтажное Предприятие». – Режим доступа <http://www.kepkazan.ru/tovar&11>.

9. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок [Текст] : ПОТ РМ–016–2001 : РД 153.34.0–03.150–00. – Введ. 2001–01–07. – СПб. : Издательство ДЕАН, 2003. – 208 с.
10. Ополева Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения [Текст] : справочник : учебное пособие / Г. Н. Ополева. – М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2009. – 480 с.
11. Подстанция трансформаторная комплектная наружной установки типа «СЭНДВИЧ» 2КТПНУ-250...1000/6(10)/0,4-02-У1 [Электронный ресурс] : техническая информация / ПКФ АВТОМАТИКА. – Режим доступа <http://www.tulaavtomatika.ru>.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) [Текст] / 7-е издание, дополн. с исправл. – Ч. : ООО «Центр безопасности труда», 2004. – 848 с.
13. Распределительные устройства РУНН 0,4 кВ [Электронный ресурс] : каталог продукции / ООО Промышленные системы. – Режим доступа <http://www.04kv.com/produkziy/runn-04kv>.
14. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций [Текст] / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1980. – 600 с.
15. Сибикин Ю. Д. Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий [Текст] : учебник для нач. проф. образования / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 240 с.
16. Сибикин Ю. Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок : учебник для проф. учеб. заведений / Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин, В. А. Яшков. – М. : Высш. шк., 2001. – 336 с.
17. Средства защиты от перенапряжений в электроустановках 6...750 кВ [Электронный ресурс] : типовая инструкция по эксплуатации ограничителей перенапряжения нелинейных 6 -110 кВ: ГКД 34.35.512-2002 / Служба эксплуатации и ремонта ПС и ЛЭП 35...110 кВ. – Режим доступа <http://forca.ru/spravka/bezopasnost.html>.

18. Стандарт организации. Самостоятельная работа студента. Оформление текста рукописи [Текст] : СТО 0493582-003-2009. – Взамен СТП 0493582-003-2006; введ. 2009–04–01. – Уфа. : БГАУ, 2009. – 36 с.

19. Трансформаторы силовые. общие технические условия [текст] : гост 11677-85 / введен 01.07.86; переиздан с изменениями 01.01.1999. – м. : ИПК издательство стандартов, 1999. – 48 с.

20. Трансформаторы силовые масляные серий ТМ и ТМГ [Электронный ресурс] : каталог продукции / Группа компаний «УРАЛЭЛЕКТРОЩИТ». – Режим доступа <http://www.uralelektrochit.ru/transformatory>.

21. Трансформаторы стационарные силовые масляные [Электронный ресурс] : каталог продукции / НПП «Региональная энергетическая корпорация». – Режим доступа <http://rec21.ru/products/20102005/page12.htm>.

22. Филатов А. А. Обслуживание электрических подстанций оперативным персоналом [Текст]/А. А. Филатов. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 304с.

23. Филиппов А. С. Основные конструктивные элементы электроустановок 0,38 – 10 кВ и условия их безопасной эксплуатации [Текст] : практическое пособие / А. С. Филиппов, В. Б. Тондрик, П. И. Каика; под общ. ред А. С. Филиппова. – 2-е изд., испр. – Мн. : Техноперспектива, 2005. – 223 с.

24. Эксплуатация комплектных трансформаторных подстанций [Электронный ресурс] : Школа для Электрика». – Режим доступа <http://electricalschool.info/main/ekspluat/247-jekspluatacija-komplektnykh.html>.

25. Электроустановки [Текст] : сборник нормативных документов. – М. : ЭНАС, 2008. – 688 с.

26. Энергетика: оборудование, документация [Электронный ресурс] : статьи. – Режим доступа <http://forca.ru/spravka/bezopasnost.html>.