

ЛЕКЦИЯ 5

ОБОРУДОВАНИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

5.1 Трансформаторные подстанции

Главные понизительные подстанции (ГПП) служат для приема электроэнергии из энергосистемы и понижения напряжения питания до уровня распределения электроэнергии по предприятию. ГПП могут быть закрытого или открытого типа. В подстанциях открытого типа, т.е. с открытыми распределительными устройствами (ОРУ), все или основное оборудование расположено на открытом воздухе, в подстанции закрытого типа практически все оборудование установлено в здании. Трансформаторные подстанции могут быть комплектными внутренней (КТП) или наружной (КТПН) установки. Такие подстанции состоят из трансформаторов и блоков комплектных распределительных устройств (КРУ, КРУН), поставляемых в собранном или полностью подготовленном для сборки виде.

Для ГПП рекомендуется применять глубокий ввод напряжением 35-330 кВ. При выборе схемы подстанции стремятся к максимальному упрощению схем коммутации и применению минимума коммутационных аппаратов. Упрощение достигается за счет отказа от выключателей на стороне высшего напряжения (35-330 кВ) и применения более простой и дешевой аппаратуры, оперативного переменного тока, отказа от щитов управления, сборных шин на первичном напряжении и т.д. Как правило, предусматривают раздельную работу линий и трансформаторов.

Наиболее простыми являются схемы подстанций с плавкими предохранителями на вводе (рис.36, а).

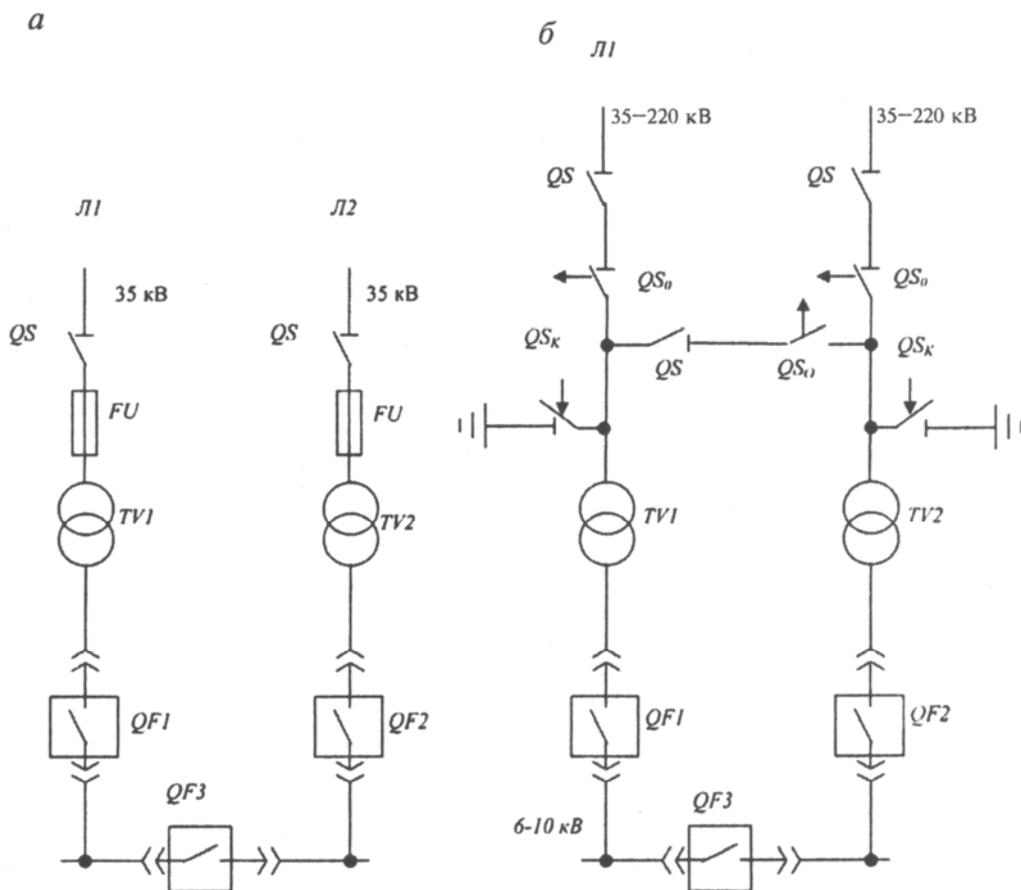


Рис.36. Принципиальные схемы ГПП: а – с плавкими предохранителями; б – с короткозамквателями и отделителями.

Плавкие предохранители стреляющего типа ПСН выпускают с предельным током плавкой вставки: 100 А при напряжении 35 кВ, 50 А при напряжении 110 кВ. Поэтому предохранитель ПСН-35 может защитить трансформатор мощностью не более 4000 кВА, а предохранитель ПСН-100 – не более 6300 кВ·А.

Короткозамыкатели и отделители на вводе главных понизительных подстанций (рис.36, б), в отличие от подстанций с предохранителями, могут использоваться при напряжении до 220 кВ.

ГПП вторичного напряжения (6-10 кВ) на ОГР должно иметь, как правило, одинарную секционированную систему сборных шин. Число секций определяется схемой электроснабжения и мощностью подстанции. Секция питается от отдельного трансформатора при нормально разомкнутом секционном выключателе, оборудованном устройством АВР. На однострансформаторных подстанциях сборные шины не секционируются. На стороне вторичного напряжения ГПП предусматривают раздельную работу трансформаторов с целью ограничения токов КЗ. При необходимости для этого применяют силовые трансформаторы с расщепленными обмотками или устанавливают реакторы (одинарные или сдвоенные), включаемые между трансформатором и сборными шинами распреустройства, либо на отходящих линиях.

В качестве примера на рис.37 приведена принципиальная схема типовой двухтрансформаторной ГПП 110/6-10 кВ для железорудного карьера с трансформаторами мощностью по 25–63 МВ·А. В данной схеме с целью ограничения токов КЗ и уменьшения тока замыкания на землю в качестве основных трансформаторов применены трансформаторы серии ТРДН (ТРДНС) с расщепленными обмотками. На стороне 110 кВ установлены отделители и короткозамыкатели с перемычкой между ними. Трансформаторы питают каждый две секции шин РУ 6 кВ. Нормально разомкнутые секционные выключатели размещены между секциями, получающими питание от разных трансформаторов, что позволяет резервировать две секции при выходе из работы одного трансформатора. Непосредственно от каждого силового трансформатора питается ТСН на вторичное напряжение 0,4/0,23 кВ, благодаря чему сохраняется источник питания силовой и осветительной нагрузок непосредственно подстанции при ремонте на любой секции шин.

Трансформаторы собственных нужд обеспечивают энергией цепи защиты и сигнализации, внутреннее освещение подстанции. Трансформатор напряжения НОМ-6 используют для питания оперативных цепей. Трехобмоточные трансформаторы напряжения НТМИ-6 служат для питания обмоток напряжения измерительных приборов, счетчиков электрической энергии, цепей устройств релейной защиты и системной автоматики, устройств контроля изоляции сети.

При необходимости иметь на ГПП несколько вторичных напряжений, например 35 и 10 кВ, устанавливают трехобмоточные трансформаторы и выполняют раздельные РУ.

РУ на ГПП служат для приема электроэнергии и распределения ее на том же напряжении и содержат коммутационные аппараты, устройства защиты и автоматики, измерительные приборы, сборные и соединительные шины и вспомогательные устройства.

Для заземления участков электрических цепей при их ремонтах и осмотрах в соответствии с Правилами безопасности в схеме применены специальные заземляющие разъединители. Отдельный однополюсный разъединитель ЗОН установлен для заземления нейтрали обмотки 110 кВ силового трансформатора ГПП. Защита от волн грозовых перенапряжений, приходящих с линий электропередачи, осуществлена с помощью вентильных разрядников РВС, установленных на вводе 110 кВ и в нейтрали главного трансформатора.

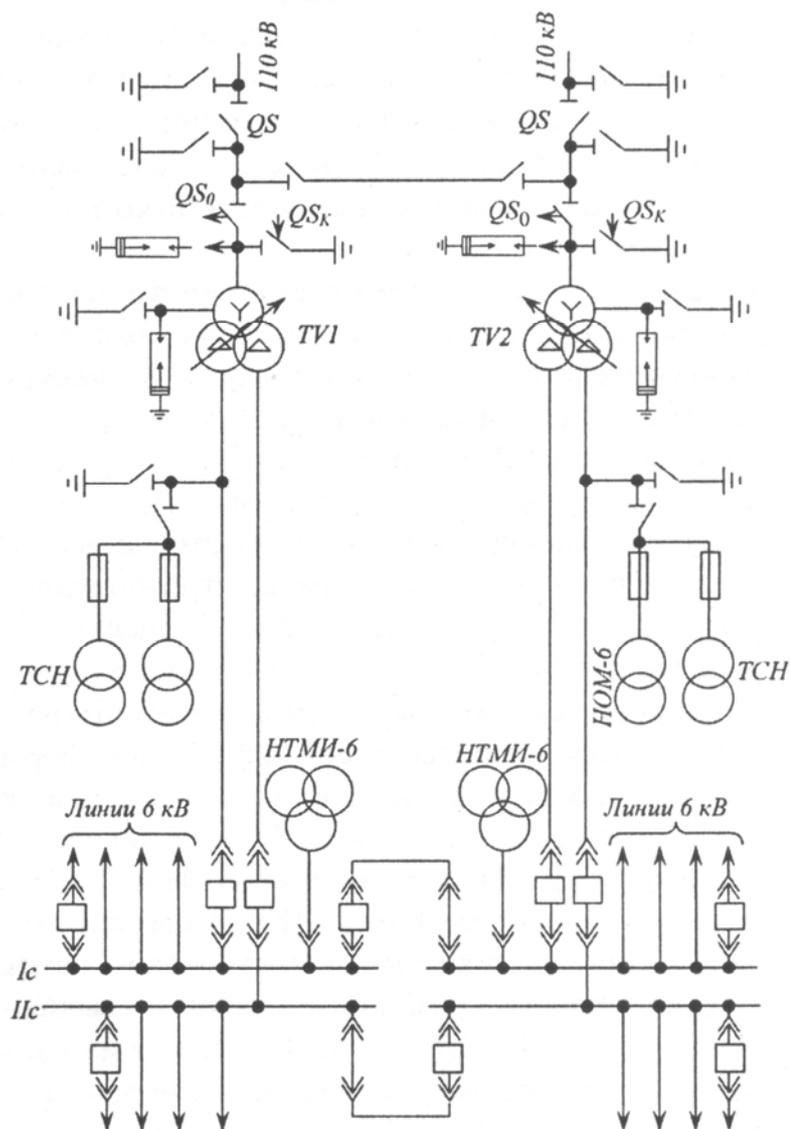


Рис.37. Схема ГПП 110/6-10 кВ с трансформаторами мощностью по 25-63 МВА

Применяемые в настоящее время РУ можно подразделить на *сборные и комплектные*. Сборные выполняют из отдельных элементов и узлов, изготовленных и укомплектованных на заводах или в мастерских, с монтажом электрооборудования на месте установки. Комплектные устройства полностью изготовляют на заводе и доставляют в собранном виде; на месте установки их крупные элементы только монтируют. Эти установки отвечают требованиям индустриализации энергетического строительства, поэтому в настоящее время они становятся наиболее распространенной формой исполнения электрических устройств. Вместе с тем широко сооружают также установки смешанного типа, выполняемые частично как сборные и частично как комплектные.

Комплектные распределительные устройства (КРУ) состоят из набора типовых шкафов (ячеек), в которых смонтированы измерительные и защитные приборы и различные аппараты (выключатели, разъединители и т.п.) с цепями первичной и вторичной коммутации. Шкафы КРУ поставляют с полностью собранным и готовым к работе оборудованием. На месте установки соединяют лишь шины на стыках шкафов, подводят силовые и контрольные кабели. Применение КРУ значительно сокращает объем проектирования, сроки и стоимость строительно-монтажных работ.

КРУ изготовляют для внутренней и наружной (КРУН) установки, стационарной и выкатной конструкции. Стационарные КРУ серии КСО (камеры стационарные одностороннего обслуживания) изготовляются лишь для внутренней установки в двух модификациях: КСО с силовым выключателем и КСО с выключателем нагрузки.

Корпус камеры КСО первого типа разделен на три отсека: в нижнем установлен линейный разъединитель с заземляющими ножами или выполняется шинный переход в соседнюю камеру, в среднем – силовой выключатели или трансформатор напряжения, в верхнем – шинный разъединитель и сборные шины. Выключатель соединяется с разъединителями через трансформаторы тока и проходные изоляторы. На фасаде камеры укреплены приводы разъединителей и выключателя. Три двери запирают нижний и средний отсеки, а также отсек коробки зажимов. Внутри установлена лампа освещения. Сверху крепится световой карниз.

В камере КСО второго типа могут размещаться выключатель нагрузки, предохранители с разъединителем, трансформаторы тока и напряжения, разрядники. В стальной двери имеется смотровое окно. На фасаде укреплены приводы разъединителя или выключателя нагрузки и заземляющих ножей и предусмотрена установка светильника для освещения прохода обслуживания.

Задняя и боковые стенки камер КСО не имеют ограждений, сборные шины открыты. Поэтому камеры устанавливают непосредственно к стене в отдельных помещениях закрытого распределительного устройства (ЗРУ), с доступом к ним только квалифицированного персонала.

Стационарные камеры серии КСО рекомендуется применять в простых схемах, особенно при малых токах присоединений, когда целесообразно использование выключателей нагрузки, а также для временных установок и в случае, если по условиям общей компоновки подстанции из-за ограниченной площади будут затруднены установка и двустороннее обслуживание выкатных КРУ.

В выкатных КРУ основные аппараты размещены на выкатной тележке, что обеспечивает возможность взаимозаменяемости выкатных частей при авариях. *КРУ выкатного типа внутренней установки* широко применяют на ОГР. На рис.38 показан общий вид современного малогабаритного КРУ типа КМ-1 на номинальные токи 2000 и 3200 А для приема и распределения электрической энергии в сетях с изолированной нейтралью.

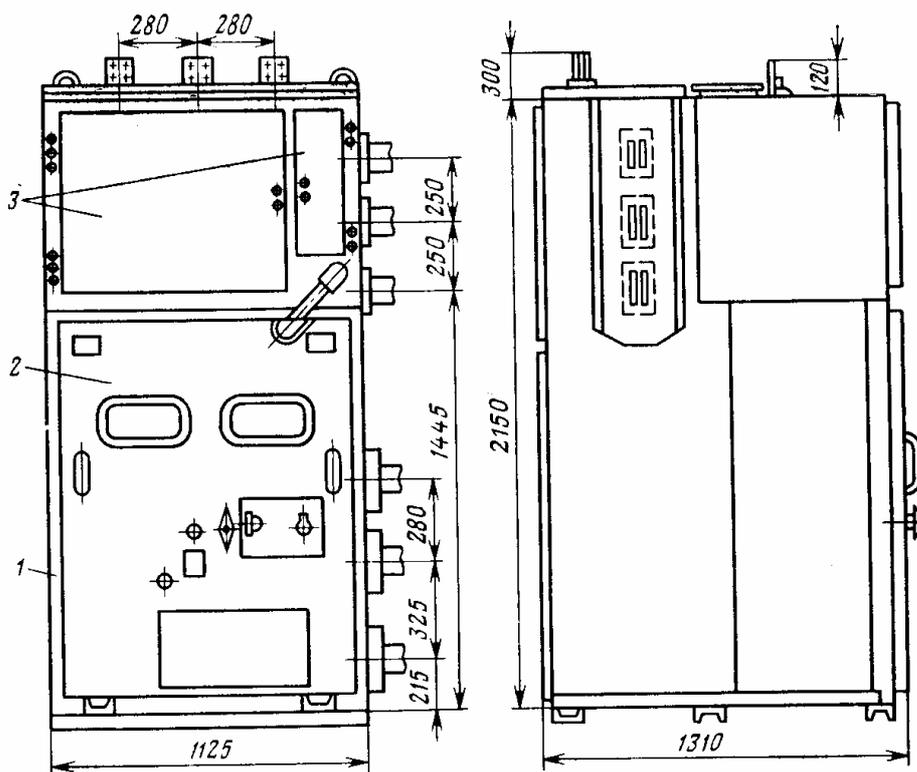


Рис.38. Комплектное распределительное устройство типа КМ-1

Металлический корпус шкафа разделен на три отсека: 1 – распределительный, 2 – выкатной тележки и 3 – релейный. Тележка КРУ, на которой смонтирован выключатель с приводом, перемещается на четырех катках. Токоведущие части 6-10 кВ тележки и корпуса соединены штепсельными контактами, неподвижная часть которых размещена на корпусе шкафа, а подвижная – на тележке. При выкатывании тележки из шкафа автоматически металлическими шторами перекрывается доступ к неподвижным частям контактов шинного и линейного разъединителей, остающихся под напряжением.

Комплектные распреустройства наружной установки (КРУН) предназначены для открытых РУ 6-10 кВ. Они входят в состав КТП напряжением 35/6-10 и 110/6-10 кВ, которые применяются на ОГР. Шкафы КРУН защищены от попадания внутрь атмосферных осадков и пыли. Количество и типы высоковольтных ячеек, формирующих РУ подстанции, определяются схемой электрических соединений подстанции, количеством вводов и отходящих присоединений.

Передвижные комплектные трансформаторные подстанции

Электроснабжение экскаваторов и другого горно-технологического оборудования большой мощности от стационарных трансформаторных подстанций 35-220/6-10 кВ на ОГР сопряжено со значительной суммарной протяженностью электрических сетей напряжением 6-10 кВ и применением максимально допустимых сечений проводов ЛЭП. Это в свою очередь связано с большими затратами на сооружение и эксплуатацию ЛЭП, ростом потерь электроэнергии и ухудшением качества напряжения, подаваемого к ЭП.

Указанные недостатки, а также относительно быстрое изменение положения экскаваторов требуют применения передвижных комплектных трансформаторных подстанций (ПКТП), благодаря которым возможен глубокий ввод напряжения 35 кВ на рабочие уступы без промежуточных ступеней трансформации. В перспективе широкое применение должны найти ПКТП 35-220/6-10 кВ для электроснабжения не только экскаваторов, но и передвижных горнодобывающих и горнотранспортных машин большой мощности, а также для электроснабжения других ЭП при значительной протяженности ЛЭП.

В настоящее время на открытых горных разработках находят применение сборно-разборные комплектные трансформаторные подстанции с трансформаторами мощностью до 10000 кВ·А напряжением 35/6 кВ. На рис.39 приведен общий вид и габаритные размеры ПКТП 35/6-10 кВ мощностью 10000 кВ·А.

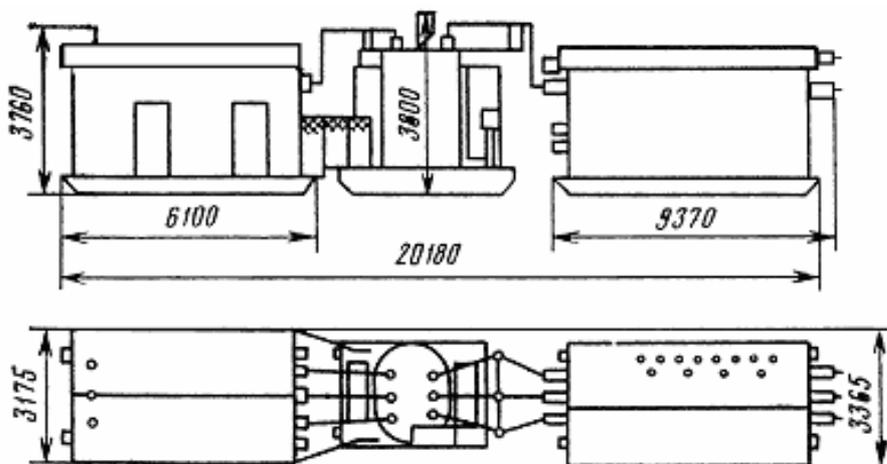


Рис.39. Общий вид и габаритные размеры ПКТП 35/6-10 кВ мощностью 10000 кВ·А

Базовая модель передвижной трансформаторной подстанции ПТЛА-10000-35/6-10 состоит из двух отдельных тележек, соединенных между собой механически и электрически. В одном отделении помещается силовой трехфазный трансформатор ТДП-

10000/35, в другом – сборные шины РУ, состоящего из шести КРУН 6-10 кВ. В соответствии с требованиями ПБ и ПТЭ, подстанции также оборудованы соответствующими устройствами защиты и блокировки, а также устройствами контроля целостности заземляющих цепей отходящих фидерных кабелей.

Для электроснабжения участков горных машин и приводов небольшой мощности (буровых станков, насосов водоотлива, передвижных компрессорных установок, небольших конвейеров, осветительных установок и т.п.) на ОГР обычно применяют ПКТП с трансформаторами мощностью от 25 до 630 кВА.

В качестве примера на рис.40 приведен общий вид *передвижной комплектной трансформаторной подстанции ПКТП 400-6-10/0,4*. Подстанция состоит из низковольтного РУ 1, камеры силового трансформатора 2, блока воздушного ввода 3, высоковольтного блока 4, смонтированных на общей раме-салазках 5. Подстанция имеет механическую замковую блокировку, исключающую отключение высоковольтного разъединителя при включенном главном выключателе низшего напряжения, а также предотвращающую доступ к высоковольтному оборудованию при включенном разъединителе. Имеется также блокировка, предотвращающая включение разъединителя при включенных заземляющих ножах, как со стороны ЛЭП, так и со стороны трансформатора.

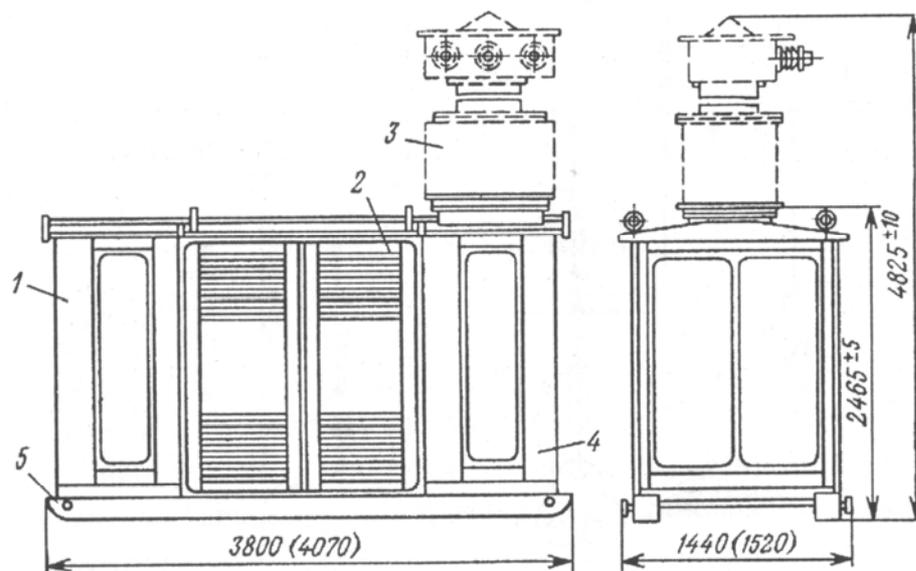


Рис.40. Общий вид передвижной подстанции типа ПКТП 400-6-10/0,4 (в скобках даны размеры для ПКТП 630-6-10/0,4)

В условиях ОГР применяются также подстанции с сухими силовыми трансформаторами. Разработана подстанция типа ПСКТП с сухим трансформатором мощностью 100, 250 и 400 кВ·А. Подстанция ПСКТП-100/6 применяется для осветительных установок, ПСКТП-250/6 и ПСКТП-400/6 – для питания силовых установок.

Подстанция ПСКТП смонтирована на салазках с жестким прицепным устройством для перемещения по территории предприятия, оснащена необходимыми механическими защитами и блокировками, реле утечки и устройством контроля целостности заземляющих цепей отходящих кабелей при использовании 5-жильных кабелей марки КГ.

Особенность электрической схемы подстанции ПСКТП – применение отдельного блока защиты АЗПБ (рис.41). Этот аппарат защищает сети напряжением 0,4 кВ от токов утечки. Защита силового трансформатор Т1 от перегрузки осуществляется тепловой защитой, в которой контролирующим элементом являются специальные датчик-реле (не

показаны на схеме) с размыкающими контактами в цепи защиты. Эти датчик-реле закреплены на низковольтных отводах трансформатора. При перегреве трансформатора размыкаются контакты реле, в результате чего срабатывает промежуточное реле в одном из блоков управления БУ и силовой трансформатор отключается. Трансформатор TV4 с обмотками на напряжение 36 и 127 В питает цепи защиты, а трансформаторы TV2 и TV3 с обмотками 220 В – питают цепи освещения.

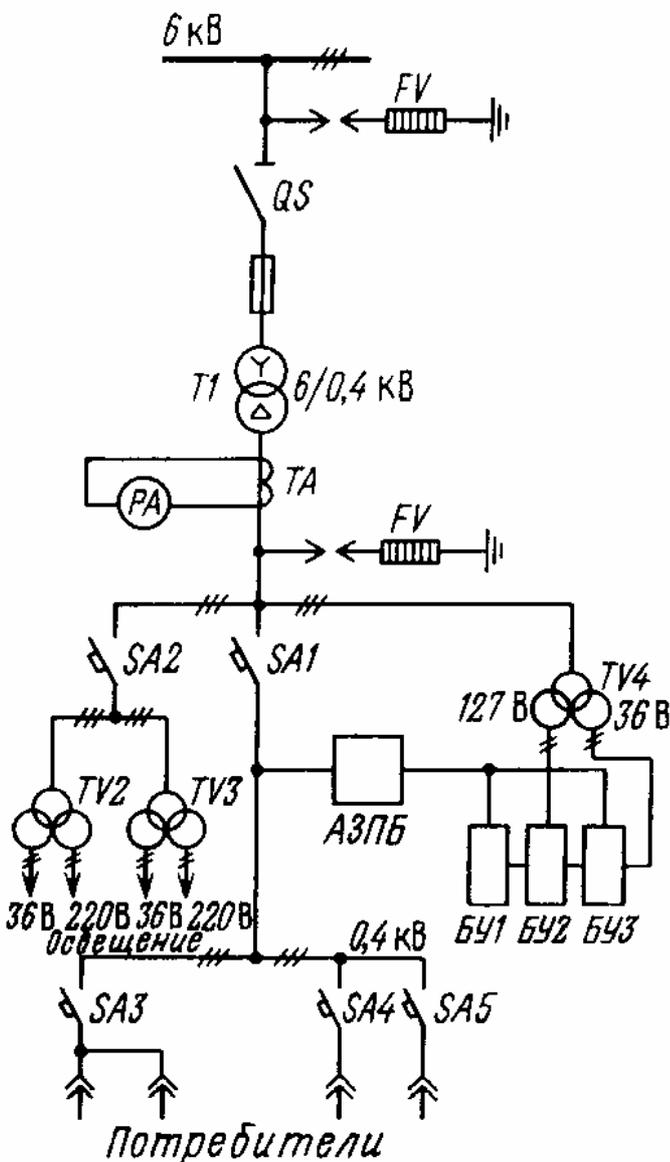


Рис.41. Принципиальная электрическая схема подстанции ПСКТП

Следует отметить, что в ПСКТП-100/6, широко применяемой для карьерных осветительных установок, имеется устройство автоматического включения освещения.

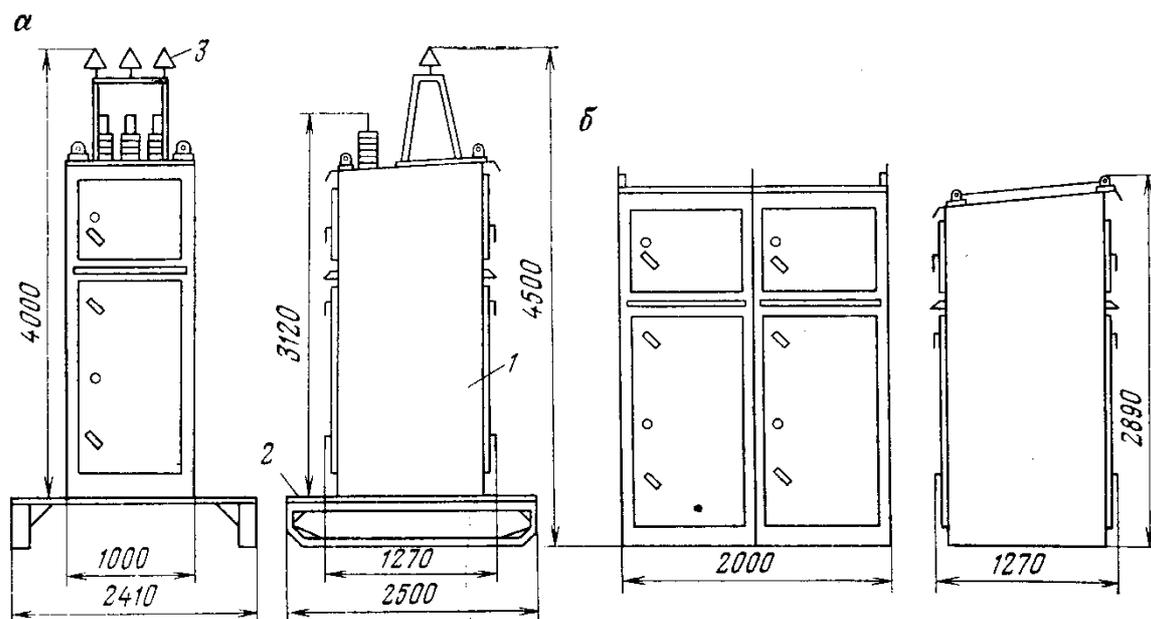
В систему внутреннего электроснабжения ОГР входят также мачтовые трансформаторные подстанции с силовым трансформатором до 35 кВ мощностью 400 кВА, установленным на столбе ЛЭП на высоте более 4 м. Схемы этих подстанций в основном аналогичны схемам рассмотренных выше подстанций.

5.2 Распределительные и приключательные пункты

Приключательные пункты применяют для подключения передвижных потребителей ОГР к воздушным или кабельным ЛЭП. Приключательные пункты выпускаются с

разъединителями, выключателями нагрузки и масляными выключателями. В качестве ППП могут быть использованы ячейки наружной установки типов ЯКНО-6ЭП и ЯКНО-10ЭП с ручным приводом ПРБА и масляным выключателем ВМП, электромагнитным пофазным приводом и вакуумным выключателем ВВ/TEL или ВВТЭ-М. Как ППП используют также распределительные устройства ПКРН-6В и РВНО-6.

В качестве примера рассмотрим устройство (рис.42) и принципиальную электрическую схему (рис.43) получившей наибольшее распространение ячейки наружной установки типа ЯКНО-10 (исполнение У1), которая изготавливается в следующих исполнениях: I – предназначено для установки в осветительных и магистральных сетях, а также в местах присоединения к внутрикарьерным воздушным ЛЭП; II – предназначена для питания электрооборудования роторных комплексов.



**Рис.42. Общий вид приключательного пункта ЯКНО-10У1:
а – исполнение I; б – исполнение II.**

Ячейка ЯКНО-10У1 состоит из металлического шкафа 1, установленного на салазках 2. Воздушный ввод 3 выполнен в раме, расположенной на крыше шкафа. Шкаф ячейки разделен на четыре отсека: трансформатора напряжения, управления и разъединителя, масляного выключателя. В отсеке масляного выключателя установлены выключатель ВМП-10К и два трансформатора тока ТПЛМ-10, предназначенные для питания реле максимального тока. Здесь же расположены трансформатор тока нулевой последовательности для питания устройства защиты от однофазного замыкания на землю и механическая блокировка между разъединителем и выключателем. Отсек закрывается сплошной металлической дверью. Доступ в отсек возможен лишь при отключенном положении масляного выключателя и разъединителя.

В отсеке трансформатора напряжения установлены измерительный трансформатор НТМИ-10, предназначенный для питания цепей вторичной коммутации, и высоковольтные предохранители ПКТ-10. Доступ в отсек возможен только при отключенном разъединителе. В отсеке управления расположены панели учета, измерения и сигнализации, ручной привод разъединителя и заземляющих ножей, привод масляного выключателя, различная аппаратура защиты и управления. В отсеке разъединителя размещены проходные изоляторы ПНБ-10 и разъединитель с заземляющими ножами. Доступ в отсек возможен только при отключенном разъединителе.

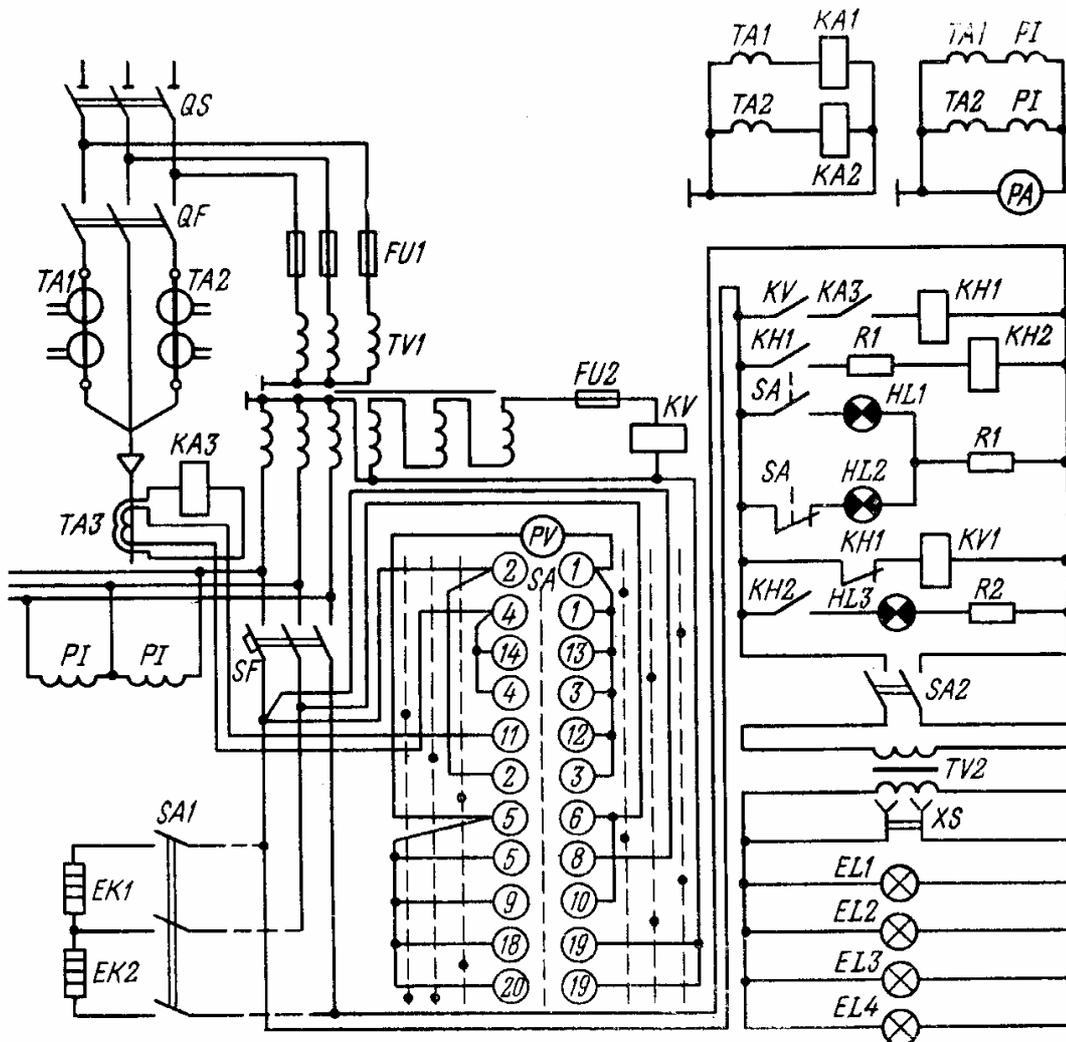


Рис.43. Принципиальная электрическая схема ППП типа ЯКНО-10У1

Приключательный пункт ЯКНО-10У1 оборудован следующими видами защит, действующими на отключение выключателя: максимальной токовой, минимального напряжения, от однофазного замыкания на землю.

Максимальная токовая защита мгновенного действия выполнена на токовых реле прямого действия РТМ, встроенных в привод выключателя, и предназначена для защиты от токов КЗ участков цепи, расположенных за трансформатором тока. Защита минимального напряжения выполнена на реле РНВП-10, также встроенных в привод.

При однофазном замыкании на землю импульс на отключение масляного выключателя подается контактом реле КН1, включенного в цепь отключающей катушки КВ1 (рис.43). В свою очередь, реле КН1 получает питание через контакты реле защиты от однофазных замыканий на землю КВ и КА3. Реле К включено на открытый треугольник трансформатора напряжения TV1 (НТМИ-10) и реагирует на напряжение нулевой последовательности. Катушка реле КА3 находится в цепи вторичной обмотки трансформатора тока ТА3 и реагирует на ток нулевой последовательности. Этим достигается направленность действия схемы фиксации однофазного замыкания на землю. Указательное реле КН2 срабатывает, замыкая свой контакт в цепи желтой сигнальной лампы HL3, которая извещает об отключении масляного выключателя от действия данного вида защиты. После снятия напряжения на работу данного вида защиты указывает блинкер реле КН2.

В ячейке предусмотрена световая сигнализация положения масляного выключателя с помощью сигнальных ламп. При включенном масляном выключателе горит красная лампа HL1, при отключенном – зеленая HL2.

Трансформатор TV2 питает лампы EL1–EL4 освещения отсеков и розетку XS. Обогрев ячейки при холодной температуре обеспечивают термонагревательные элементы EK1 и EK2.

ППП типа КРУПП, которым предполагается заменить приключательные пункты типа ЯКНО, представляет собой блок с аппаратурой, установленной на салазках (I исполнение) или монтируемый на раме (II исполнение) и предназначен для подключения, питания и защиты электрооборудования мощных потребителей ОГР. ППП с кабельным вводом выполняется без мачты и проходных изоляторов на крыше.

Приключательный пункт КРУПП-1-6(10)/630 представляет собой комплектное распределительное устройство, состоящее из двух шкафов, установленных на салазках 1 с прицепным устройством 9 или раме (рис.44). Шкафы разделены на релейный отсек 4, отсеки трансформатора собственных нужд 3, разрядников 6, разъединителя 7, вакуумного выключателя 8. При использовании воздушного ввода на блоке с аппаратурой устанавливается мачта 5. Кабели введены в ППП через сальники 2. КРУПП-1-6(10)/630 оборудован: максимальной токовой защитой, от однофазных замыканий на землю, минимального напряжения, устройством контроля целостности заземляющей жилы кабеля, устройством однократного АПВ в случае ложного срабатывания защиты от замыканий на землю.

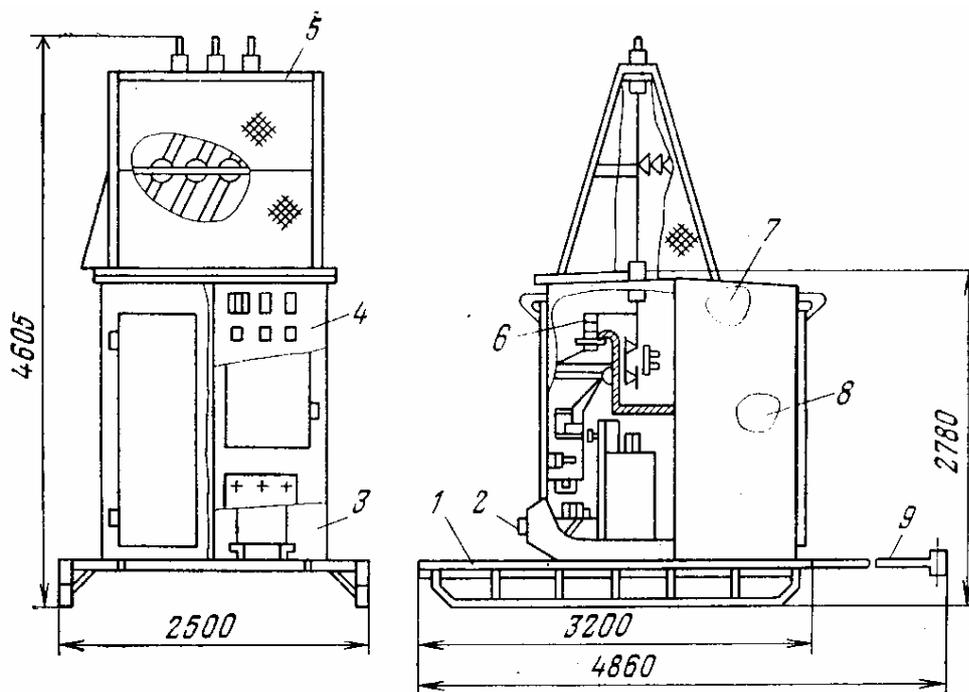


Рис.44. Приключательный пункт КРУПП-1-6-10/630 с вакуумным выключателем

Высоковольтный выключатель вакуумного типа ВВТП-10-20/630 УХЛ2 расположен на тележке, а на задней стенке отсека выключателя смонтированы трансформаторы тока и напряжения типов ТОЛ-10 и ЗНОЛ-6(10). В отсеке разъединителя установлен разъединитель РВФЗ-10/630, в отсеке разрядников – разрядники РВО-6(10)Н (при использовании КРУПП с кабельным вводом разрядники отсоединяются).

Конструкция ППП обеспечивает свободный доступ к аппаратуре, возможность ее быстрой замены при выходе из строя, максимальные удобства при техническом обслуживании и ремонте.

Передвижные карьерные распределительные пункты (КРП) на 6-10 кВ предназначены для приема и распределения электроэнергии напряжением 6–10 кВ на ОГР. Применение КРП позволяет значительно сократить протяженность распределительной сети

6–10 кВ, уменьшить объем и сроки строительных и монтажных работ при сооружении системы электроснабжения.

В общем случае КРП собирают из КРУ в составе: шкафов ввода 1, трансформаторов собственных нужд 2, трансформатора напряжения и разрядников 3, отходящих линий 4, помещения для установки аппаратуры телемеханического управления 5 (рис.45). Число шкафов для отходящих линий определяется схемой электроснабжения. При питании крупных участков горных работ, а также карьеров с потребителями первой категории применяют КРП с двумя и более вводами и секционирование шин.

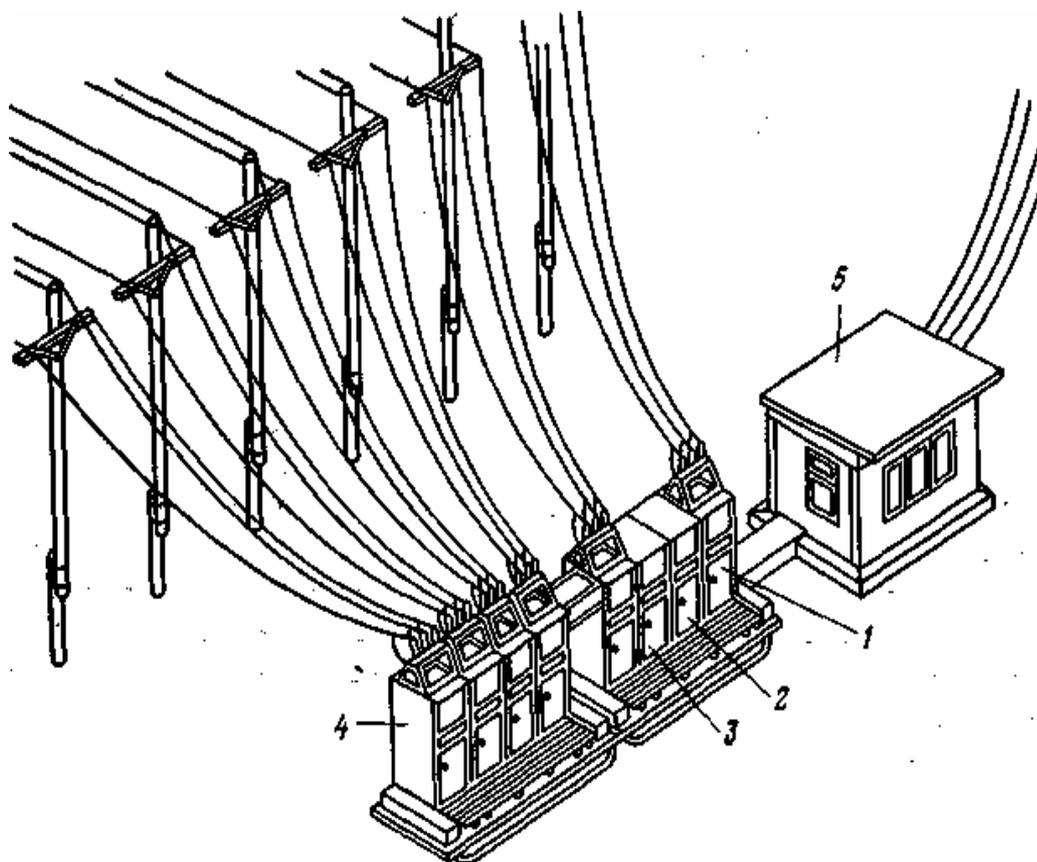


Рис.45. Общий вид карьерного распределительного пункта КРП

В зависимости от расположения шин КРП могут быть открытыми и закрытыми. Открытый КРП напряжением 6 кВ для удобства перемещения монтируется на металлических полозьях. КРП представляет собой несколько высоковольтных ячеек, состоящих из масляных выключателей, трансформаторов тока и вторичной коммутации. Над ячейками на сварной металлоконструкции смонтированы шины, разъединители и разрядники. КРП-6 кВ имеют, как правило, одинарную систему шин. Пять ячеек предназначены для отходящих присоединений и одна – для ввода и установки ТСН типа ТМ (10–25 кВ·А, 6/0,23 кВ) и трансформатора напряжения типа НТМИ-6. Каждая отходящая ячейка имеет максимальную защиту и защиту от однофазных замыканий на землю в сети 6 кВ. КРП напряжением 6 кВ с закрытым расположением шин комплектуются ячейками наружной установки КРУН различных серий. На рис.46 показан пример схемы электрических соединений КРП, укомплектованного из ячеек серии К-У1.

5.3 Электрооборудование подстанций

Силовые трансформаторы являются основным электротехническим оборудованием, обеспечивающим передачу энергии от электрических станций к потребителям и ее

распределение. С помощью трансформаторов в системе электроснабжения осуществляется многократное ступенчатое понижение напряжений до величин, применяемых непосредственно в ЭП (10; 6,3; 0,66; 0,38; 0,22; 0,127 кВ).

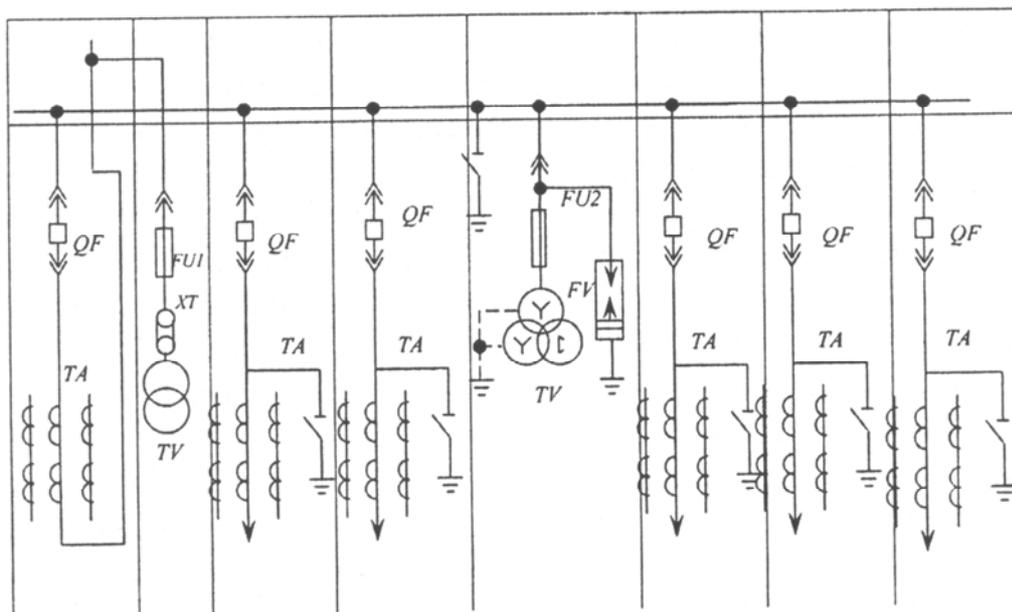


Рис.46. Схема электрических соединений КРП

Силовые трансформаторы выпускаются номинальной мощностью кратной мощности 10, 16, 25, 40, 63 кВ·А в трехфазном и однофазном исполнении.

Под номинальной нагрузкой трансформатора следует понимать нагрузку, равную номинальному току (номинальной мощности), которую трансформатор может нести непрерывно в течение всего срока службы (20–25 лет) при номинальных температурных условиях. Эти условия соответствуют максимальной температуре (+40 °С) и среднегодовой (+5 °С) при установке трансформатора на открытом воздухе.

Для всех трансформаторов в зависимости от условий эксплуатации, определяемых резервом мощности, графиком нагрузки и температурой окружающей среды, могут быть допущены перегрузки. При необходимости допущения длительных перегрузок и, следовательно, перегревов, рекомендуется применять форсированное охлаждение трансформатора (обдув с помощью вентиляторов).

Силовые трансформаторы допускают перегрузки в часы максимума нагрузки за счет недогрузки в часы минимума нагрузки потребителей и, таким образом, износ изоляции трансформаторов остается в пределах технических норм. Функции изоляции и охлаждающей среды выполняет трансформаторное масло, заполняющее бак. При работе трансформатора масло в нем непрерывно циркулирует, так как оно поглощает тепло, выделяющееся в обмотках и магнитопроводе, нагревается и поднимается вверх. Затем нагретое масло движется вниз вдоль охлаждающих поверхностей – по стенкам бака, трубам или радиаторам, отдавая тепло в окружающее пространство.

В зависимости от мощности трансформаторов применяют различные виды охлаждения: естественное масляное (М); масляное с воздушным дутьем (Д); то же, с принудительной циркуляцией масла (ДЦ); масляно-водяное с естественной циркуляцией масла (МВ); то же, с принудительной циркуляцией масла (Ц); с естественным воздушным охлаждением в трансформаторах с сухой изоляцией (С); с негорючим диэлектриком (Н).

Коммутационные аппараты напряжением выше 1000 В – наиболее ответственный элемент системы электроснабжения промышленных предприятий. Основным коммута-

ционным аппаратом является выключатель – он предназначен для коммутации рабочих и аварийных токов. При разрыве цепи контактами выключателя возникает электрическая дуга, которая должна гаситься коммутационным аппаратом. При конструировании аппаратов для этой цели предусматриваются специальные устройства, способствующие гашению дуги – охлаждение дуги посредством перемещения ее в окружающей среде, обдувание дуги воздухом, расщепление ее на несколько параллельных дуг малого сечения, удлинение, дробление и соприкосновение дуги с твердым диэлектриком, создание высокого давления в дуговом промежутке и т.п.

Наиболее распространены выключатели, в которых дугогасящей средой служит жидкость или газ, называемые масляными и воздушными. В масляных выключателях дугогасящей средой является трансформаторное масло, в воздушных – сжатый воздух. Помимо воздушных и масляных, имеется много других типов выключателей. Так, в автогазовых выключателях используется дутье газов, образующихся под действием высокой температуры дуги, которая, в свою очередь, воздействует на вкладыши дугогасительной камеры со стенками из органического стекла или фибры. В элегазовых выключателях гашение дуги осуществляется в среде элегаза.

Выпускаемые промышленностью масляные выключатели имеют в основном две конструктивные разновидности: много- и малообъемные. Для распределительных устройств 6–10 кВ наибольшее распространение получили малообъемные выключатели.

На напряжение 6–10 кВ выпускаются также вакуумные выключатели с вакуумной дугогасительной камерой. Достоинствами аппаратов такого типа являются длительный срок службы и большое число отключений номинального тока без замены камеры. К их недостаткам относятся высокая стоимость и малая отключаемая мощность; это делает пока ограниченной область их применения.

Приводы выключателей предназначены для управления ими: включения, отключения, удержания во включенном положении. По принципу действия приводы делятся на электромагнитные (соленоидные), грузовые, пружинные, электродвигательные, пневматические. При включении привод потребляет наибольшую энергию, преодолевая сопротивление системы передач выключателя – пружин и пр. При отключении привод должен обладать максимальным быстродействием. Потребляемая мощность при этом невелика, т.к. при отключении требуется только освобождение защелки, удерживающей привод во включенном положении. Отключение самого выключателя производится отключающими пружинами. На подстанциях наиболее часто применяются электромагнитные (соленоидные) приводы.

Разъединителем называется электрический аппарат для оперативного переключения под напряжением участков сети с малыми токами замыкания на землю и создания видимого разрыва цепи. По условиям техники безопасности при производстве работ в установках необходимо иметь видимые разрывы цепи, откуда может быть подано напряжение. Указанное требование обеспечивается разъединителями, они не имеют устройств для гашения дуги и не допускают переключения под нагрузкой. Поэтому их оснащают блокировкой, предотвращающей отключение нагрузочного тока.

Правилами устройства электроустановок допускается отключать разъединителями холостой ход трансформаторов при напряжении: 10 кВ – мощностью до 630 кВА; 20 кВ – до 6300 кВА; 35 кВ – до 20000 кВА; 110 кВ – до 40000 кВА; токи замыкания на землю, не превышающие 5 А при напряжении 35 кВ и 10 А при 10 кВ.

Короткозамыкатели – аппараты для создания искусственного КЗ на подстанциях без выключателей со стороны высшего напряжения Короткозамыкатели типов КЗ-110 и КЗ-220 изготавливают в виде однополюсных аппаратов, короткозамыкатели КЗ-35 – в

виде двухполюсных. Короткозамыкатель включается автоматически от действия защиты, а отключается вручную.

Отделители представляют собой двухколонковые разъединители с ножами заземления (ОДЗ) или без них (ОД); они управляются общим приводом при напряжении до 110 кВ. При 220 кВ отделители выполняются в виде трех отдельных полюсов с самостоятельными приводами. Отделитель отключается автоматически под действием пружин при срабатывании блокирующего реле или отключающего электромагнита. Включение отделителя производится вручную.

Плавкие предохранители служат для автоматического отключения цепи при превышении током защищаемого объекта некоторой величины. Достоинствами таких предохранителей являются простота, относительно малая стоимость, токоограничивающая способность. К их недостаткам относятся: значительное отношение тока расплавления плавкой вставки к ее номинальному току, что не гарантирует защиту некоторых участков цепи; отключение аварийных токов сопровождается перенапряжениями; возможность перегорания предохранителя в одной или двух фазах, вследствие чего нарушается нормальная работа электрооборудования; сложность обеспечения селективности в радиальных и кольцевых сетях; необходимость замены плавких вставок после их выгорания.

Несмотря на перечисленные недостатки, плавкие предохранители широко применяются для защиты трансформаторов небольшой мощности, электродвигателей, распределительных сетей, измерительных трансформаторов.

Наиболее распространены газогенерирующие предохранители, в которых используются твердые газогенерирующие материалы (фибра, винипласт и др.), и кварцевые, в которых патрон с плавкой вставкой заполнен кварцевым песком (не выделяющим газа при сгорании вставки). Газогенерирующие предохранители выполняются с выхлопом и без выхлопа газа, образующегося в патроне. Предохранители с выхлопом газа типа ПСН называются стреляющими, так как их срабатывание сопровождается звуковым эффектом, похожим на ружейный выстрел. Предохранители с кварцевым заполнением изготавливаются на напряжение до 35 кВ включительно, на номинальные токи до 400 А, с наибольшей отключаемой мощностью 500 МВА.

Измерительные трансформаторы тока – электромагнитные устройства для преобразования измеряемого тока до величины, допускающей подключение измерительных приборов и аппаратов защиты (реле). В установках напряжением выше 1000 В они выполняют также функцию изоляции цепей высокого напряжения от измерительных цепей.

Трансформаторы тока имеют классы точности 0,2; 0,5; 1; 3; 10 (Р), соответствующие токовым погрешностям в процентах. Так, при расчетах за пользование электроэнергией класс точности должен быть 0,5%, для лабораторных приборов – 0,2%, для щитовых электроизмерительных приборов – 1, 3 %, для устройств релейной защиты – 10%. Номинальные токи вторичных обмоток – 5 и 1 А.

Измерительные трансформаторы напряжения предназначены для преобразования высокого напряжения сети в напряжение, удобное для измерения обычными приборами, а также для изоляции этих приборов. Номинальное напряжение вторичных обмоток принимается 100 В или $100/\sqrt{3}$ В.

В условиях эксплуатации трансформатор напряжения может работать с различными погрешностями. В зависимости от величины этих погрешностей установлены четыре класса точности: 0,2; 0,5; 1 и 3. Эти цифры соответствуют погрешности трансформатора в величине вторичного напряжения в процентах. Номинальная мощность трансформатора отнесена к определенному классу точности. Однако по условию нагрева он может допускать перегрузки в несколько раз, выходя при этом из заданного класса точности.

Токоведущие части распределительных устройств крепятся и изолируются друг от друга посредством *изоляторов*. Последние делятся на аппаратные, опорные и проходные. Аппаратные изоляторы служат для крепления и вывода токоведущих частей электрических аппаратов, крепления шин. Опорные изоляторы внутренней установки на 6–10–35 кВ используют для крепления шин и аппаратуры распределительных устройств. Их изготавливают с овальными, круглыми или квадратными основаниями; они имеют металлическую арматуру для крепления и заделки. Опорные изоляторы наружной установки выполняют более массивными, чем изоляторы внутренней установки. Проходные изоляторы, предназначены для вывода токоведущих частей из зданий, прокладки шин через стены и перекрытия.

Шины распределительных устройств напряжением выше 1000 В делают из меди, алюминия, стали; они имеют прямоугольное, круглое или коробчатое сечение. Наиболее распространены алюминиевые прямоугольные шины. Медные шины в закрытых распределительных устройствах используют только в особых случаях, в открытых устройствах – при агрессивной среде.

В зависимости от величины тока шины собирают по одной, две, три и более полос в одном пакете на фазу. Для токов свыше 3000 А применяют шины коробчатого сечения. Окраска шин в распределительных устройствах следующая: фазы А – желтая, фазы В – зеленая, фазы С – красная.

5.4 Воздушные и кабельные линии электропередачи

Для электроснабжения электроприемников ОГР сооружают стационарные и передвижные воздушные ЛЭП напряжением 6–35 кВ. Для сооружения стационарных ВЛ, как правило, применяют типовые опоры, разработанные институтами "Энергосетьпроект" и "Сельэнергопроект" (рис.47).

Для стационарных ВЛ 6–35 кВ применяют алюминиевые (А) и сталеалюминевые (АС) провода сечением 35–185 мм². При использовании проводов повышенного сечения (150, 185 мм²) следует устанавливать опоры с подвесными изоляторами.

Воздушные ЛЭП 6–10 кВ, сооружаемые на рабочих уступах разрезов, необходимо выполнять на передвижных или переносных типовых опорах. Рекомендуются применять деревянные одностоечные опоры на железобетонных основаниях, конструкции которых разработаны институтами "Центрогипрошахт" и "Гипроруда" (рис.48).

Для передвижных ВЛ 6–10 кВ применяют, как правило, алюминиевые провода сечением 35–120 мм². Могут применяться сталеалюминевые провода сечением до 95 мм².

Расстояние (пролет) между передвижными опорами определяется расчетом в зависимости от конкретных климатических условий, но оно не должно превышать 50 м.

Рекомендуется совместная подвеска на общих опорах передвижной или стационарной ВЛ:

- проводов ВЛ 6–35 кВ и магистрального заземляющего провода;
- проводов ВЛ 6–10 кВ, проводов осветительной сети 0,22 (0,38) кВ и магистрального заземляющего провода;
- проводов контактной сети напряжением до 1650 В постоянного тока и осветительной сети напряжением 0,22 (0,38) кВ.

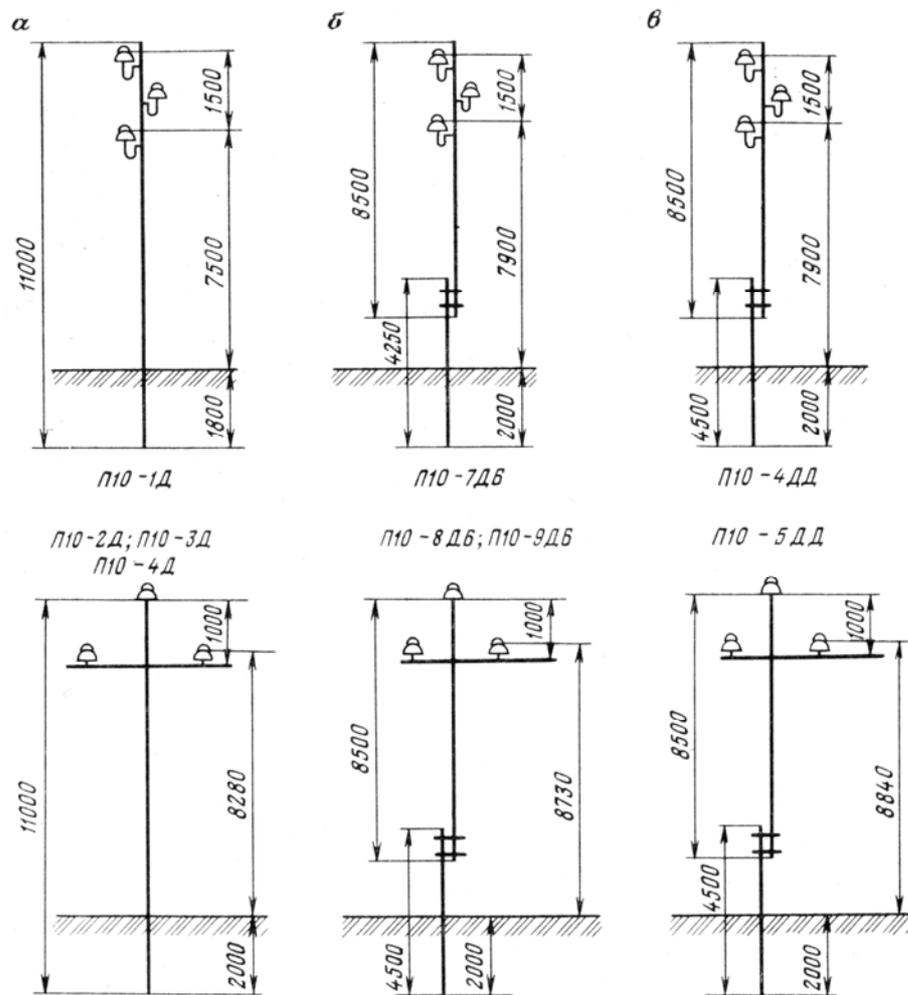


Рис.47. Промежуточные опоры стационарных ВЛ 6–10 кВ: *а* – из цельного леса; *б* – на железобетонных приставках; *в* – на деревянных приставках.

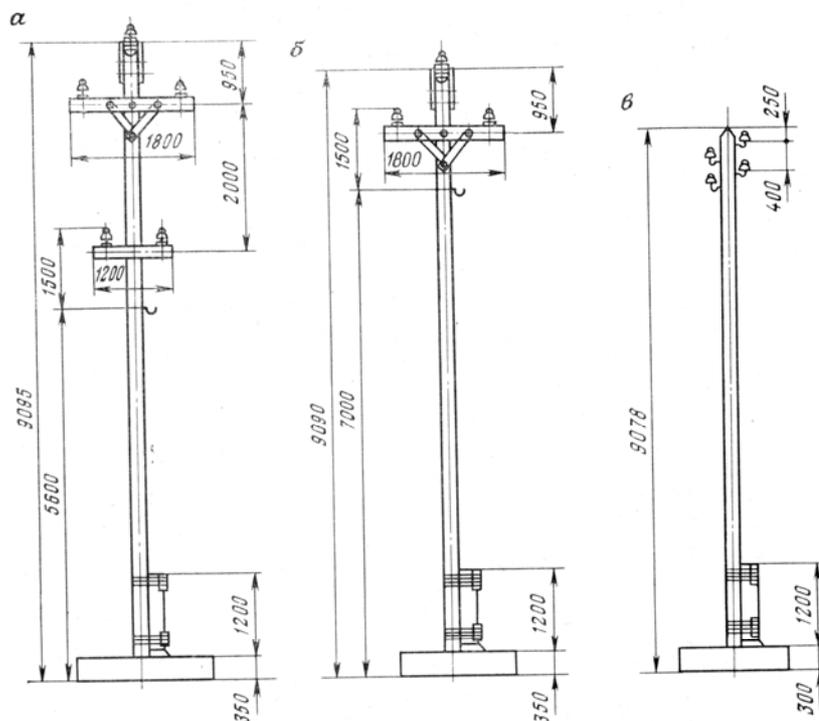


Рис.48. Деревянные промежуточные опоры на железобетонных основаниях для передвижных ВЛ 0,22–10 кВ: *а* – для проводов ВЛ 6 кВ, осветительной линии 0,22 кВ и магистрального заземляющего провода; *б* – для проводов ВЛ 6 кВ и магистрального заземляющего провода; *в* – для проводов осветительной линии 0,22 кВ.

При этом должны быть выполнены следующие условия:

- провода ВЛ более высокого напряжения должны располагаться выше проводов низшего напряжения;
- расстояния между проводами ВЛ разных напряжений должны выдерживаться в соответствии с требованиями для ВЛ более высокого напряжения;
- магистральный заземляющий провод следует подвешивать ниже всех других проводов, прокладываемых по опорам;
- крепление проводов ВЛ высшего напряжения на штыревых изоляторах должно быть двойным.

При совместной подвеске контактных и осветительных проводов необходимо соблюдение дополнительных требований:

- осветительные провода должны быть подвешены выше контактного провода по другую сторону опоры;
- расстояние от контактного провода до провода освещения должно быть по вертикали не менее 1,5 м;
- расстояние от контактного провода до опоры при боковой подвеске провода должно быть не менее 1 м;
- изоляторы осветительной сети должны быть приняты на напряжение контактной сети.

В местах пересечения передвижных ВЛ с проводами контактной сети, линиями связи и сигнализации, а также с другими ВЛ необходимо применять стационарные опоры и соблюдать требования ПУЭ для ВЛ соответствующих напряжений.

Секционирование стационарных и передвижных ВЛ 6–10 кВ осуществляют посредством установки секционных разъединителей на опорах в местах разветвления электрической сети. Расстояние между секционными разъединителями передвижных ВЛ принимают 400–600 м.

В схемах электроснабжения ОГР применяют магистральные кабельные ЛЭП, прокладываемые по уступам, и распределительные кабельные ЛЭП для присоединения экскаваторов и других передвижных машин к электрическим сетям напряжением до 35 кВ.

Магистральные и распределительные кабельные ЛЭП напряжением 6–35 кВ выполняют гибкими кабелями марок КГЭ, КШВГ-6, КШВГТ-10, КСГВ-6, КВГЭ-10 и др. Указанные марки кабелей применяют при температуре окружающей среды от -40 до +50 °С. В условиях холодного климата эти кабели используют в исполнении ХЛ: для работы при температуре окружающей среды от -60 до +50 °С.

На рис.49 приведена конструкция кабеля марки КШВГ. Для снятия потенциала с поверхности изоляции токоведущих жил поверх ее на каждой жиле наложены озоноустойчивый слой резины и экранирующая оплетка из медных проволок. Защитная оболочка кабеля представляет собой два резиновых шланга, между которыми помещена обмотка из тканевой ленты.

Для питания мощных экскаваторов ЭШ-100/100 применяют кабель КВГЭ 3×240 + 2×70+(1×10+6×2,5), имеющий три силовые жилы сечением по 240 мм², две заземляющие по 70 мм² и одну 10 мм² и шесть вспомогательных сечением по 2,5 мм². Рабочее напряжение кабеля 10 кВ, номинальный ток 600 А. Подготавливаются к выпуску пятижильные кабели напряжением 6 кВ, пятая жила служит для контроля целостности заземляющей жилы. Начато изготовление гибкого кабеля на напряжение 35 кВ для подвода электроэнергии к мощным экскаваторам.

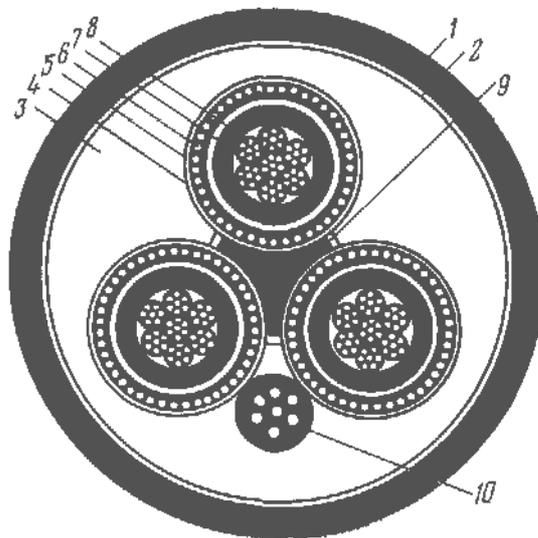


Рис.49. Разрез кабеля марки КШВГ: 1 – наружная защитная оболочка (шланг); 2, 4 – тканевые ленты; 3 – внутренняя защитная оболочка; 5 – экранирующая оплетка; 6 – озоностойкая оболочка; 7 – изоляционная оболочка; 8 – медная жила; 9 – сердечник; 10 – заземляющая жила.

Конструкция гибких кабелей марки КГЭ (КГЭ-ХЛ) с контрольной жилой обеспечивает совместно с ППП типа КРУПП и передвижными подстанциями 35/6–10 кВ, оснащенными специальными устройствами, непрерывный автоматический контроль целостности заземляющих цепей, а также электрическую блокировку от рассоединения кабельных соединителей (разъемов) под напряжением. Кабели марки КГЭ (КГЭ-ХЛ) выпускаются взамен кабелей марки КШВГ.

В настоящее время ведутся работы по созданию гибкого кабеля напряжением 35 кВ для питания мощных экскаваторов и подключения ПКТП 35/6-10 кВ.

Для питания буровых станков и других передвижных машин напряжением до 1000 В применяют гибкие кабели с резиновой изоляцией марок КРИТ, КРИС, КРПТН, КРПСН и др. Указанные марки кабелей выпускаются в исполнении УХЛ1.

Серийно выпускается также гибкий кабель марки КГ с контрольной жилой, обеспечивающей постоянный автоматический контроль целостности заземляющих цепей и электрическую блокировку от разъединения разъемов под напряжением при присоединении к подстанциям ПСКТП 6/0,4 кВ, которые оснащены устройствами контроля. Кабель марки КГ выпускается на номинальное напряжение до 660 В с сечением основных жил от 25 до 120 мм² и вспомогательной жилой 4–10 мм² в климатическом исполнении УХЛ1.

Технические характеристики используемых проводов и кабелей доступны в многочисленных литературных источниках и на сайтах заводов-изготовителей.