**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**
**РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное**
**образовательное учреждение высшего образования**
**«Тульский государственный университет»**

**Институт *Высокоточных систем им. В.П. Грязева***
**Кафедра «*Электроэнергетика*»**

**Утверждено на заседании кафедры**
**«*Электроэнергетика*»**
**«*23*» *января* 20*19*г., протокол №*1***

**Заведующий кафедрой**

**_____*В.М. Степанов***

# ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
**по выполнению курсовой работы**
**по дисциплине (модулю)**
«*Техника высоких напряжений*»
***«Конструкция ограничителей перенапряжения»***

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры

**по направлению подготовки**
*13.04.02 Электроэнергетика и электротехника*

**с направленностью (профилем)**
*Электроэнергетические системы и сети*

**Форма(ы) обучения: *очная, заочная***

**Идентификационный номер образовательной программы: 130402-05-19**

**Тула 2019 год**

**Разработчик методических материалов**

*Косырихин В.С. доцент, к.т.н.* _____

*(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)* *(подпись*

**Конструкция ОПН высокого напряжения**

Конструкция ОПН должна удовлетворять многим требованиям, предъявляемым к этому высоковольтному устройству в зависимости от условий его работы. В первую очередь конструктивное исполнение обусловлено размещением основных рабочих элементов ОПН — нелинейных резисторов, и определяется их размерами, формой, электрофизическими и теплофизическими свойствами, а также технологическими условиями изготовления. В современных конструкциях ОПН применяется корпус из изоляционного материала, как правило, цилиндрической формы, внутри которого размещены нелинейные резисторы (рис.1 ).

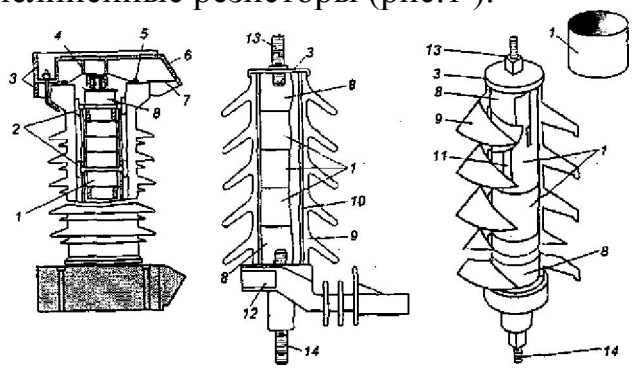



Рис.1- Общий вид нелинейного ограничителя перенапряжений высокого напряжения: 1 — металлооксидный диск; *2* — изолирующие и центрирующие прокладки, сепараторы; ***3*** — фланцы; ***4*** — сжимающие пружины; 5 — уплотнения из синтетической резины; 6 —устройство для сброса давления; 7—защитное устройство против животных; ***К*** — металлические электроды; ***9*** — изолирующий корпус; *10* **—** изолирующие стяжки; 11 — контактные пластины; ***12*** **—** маркировочная пластина; ***13, 14*** — линейные выводы присоединения к линии и заземлению

Корпус ОПН изготавливают из изоляционного материала с развитой поверхностью — ребрами, число, форма и размеры которых соответствуют требованиям по длине пути утечки внешней изоляции для требуемых внешних условий, в первую очередь по уровню загрязнений и атмосферных условий для наибольшего рабочего напряжения электроустановки (сети) в месте установки ОПН. Уровень электрической прочности внутренней изоляции ОПН значительно превышает уровень внешней изоляции в соответствии с требованиями координации изоляции.

Требование по длине пути утечки внешней изоляции корпуса определяет минимальную длину ОПН. В соответствии с рекомендациями стандарта МЭК IEC-99-4 и ГОСТ на ОПН (подробнее см. ниже) длина пути утечки внешней изоляции ОПН должна обеспечить уровень ее электрической прочности, превышающий в 1,3 раза этот уровень для основного электрооборудования и изоляционных конструкций по условию грозовых воздействий и превышающий в 1,25 раза этот уровень по условию коммутационных воздействий для ОПН с номинальным напряжением выше 200 кВ и стандартными номинальными разрядными токами 10 и 20 кА (максимальные значения). Уровень электрической прочности внешней изоляции ОПН при длительном рабочем напряжении промышленной частоты также должен превышать уровень электрической прочности защищаемого

оборудования. Этот уровень установлен стандартом МЭК IEC-99-4 и ГОСТ на ОПН и должен быть подтвержден соответствующими испытаниями.

При испытании напряжением промышленной частоты длительностью 1 мин уровень электрической прочности внешней изоляции ОПН с номинальными напряжениями в диапазоне от 1 до 52 кВ со стандартными номинальными разрядными токами 1,5, 2,5 и 5 кА и ОПН с тяжелыми условиями грозовых воздействий (с номинальным разрядным током 20 кА) должен быть не ниже 0,88 уровня электрической прочности по условию грозового воздействия (напряжение промышленной частоты и напряжение грозового импульса, амплитудные значения).

Для ОПН с номинальным напряжением меньше 200 кВ и стандартными номинальными разрядными токами 10 и 20 кА (максимальные значения) при испытании напряжением промышленной частоты длительностью 1 мин уровень электрической прочности внешней изоляции ОПН должен быть не ниже 1,06 уровня электрической прочности по условию коммутационного воздействия (напряжение промышленной частоты и напряжение коммутационного импульса, амплитудные значения).

В изоляционном корпусе ОПН располагаются его рабочие элементы — нелинейные резисторы. В настоящее время нелинейные резисторы изготавливают в виде дисков диаметром от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров (до 100 мм) и толщиной от единиц до нескольких десятков миллиметров. Технология изготовления дисков нелинейных резисторов предусматривает обработку (шлифование и обеспечение параллельности) торцевых поверхностей. Каждый диск имеет проводящее (металлизация плазменным напылением) покрытие торцевых поверхностей, обеспечивающее плотный, хороший контакт между последовательно соединяемыми в колонну (столб) дисками и дисков с контактными электродами. Контактные электроды обеспечивают соединение крайних дисков колонны (столба) с фланцами-выводами или фланцами модуля ОПН. Боковая поверхность диска покрывается изолирующим составом, предотвращающим перекрытие по поверхности диска.

Диски большого диаметра используют для ОПН на большие разрядные токи, а большая высота (толщина) дисков, как правило, определяет большие значения остающегося напряжения на диске.

Общее количество дисков определяется необходимым уровнем напряжения и пропускной способностью ОПН. Общая высота столба дисков при последовательном наборе в колонну (или параллельные колонны) определяются соответствующими требованиями порабочему и остающемуся напряжению для нормированных условий. Эта длина меньше длины изоляционного корпуса ОПН (всего устройства). Длина изоляционного корпуса, в свою очередь, определяется уровнем рабочего напряжения с учетом всего комплекса воздействий и условий работы всей изоляции ОПН (рис. 2)

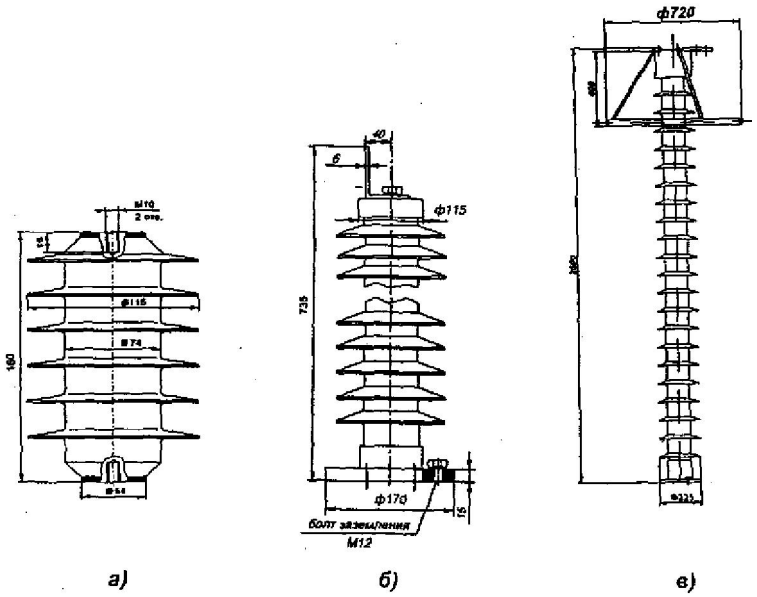



Рис.2 - Внешний вид ОПН на различные номинальные напряжения $U_{ном}$: а-$U_{ном}$ = 10 кВ; б - $U_{ном}$ =35 кВ; $U_{ном}$=220 кВ

Большие нормированные значения разрядных токов ОПН (пропускная способность) обеспечиваются применением дисков большого диаметра или параллельным соединением двух и более колонн (столбов) дисков, размещаемых в едином изолирующем корпусе.

Для изоляционного корпуса ОПН применяют различные диэлектрические материалы, свойства которых удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ОПН. Корпус из электротехнического фарфора или керамики (коричневого или белого цвета) с развитой поверхностью — ребрами и глазурованным покрытием применяют при изготовлении ОПН в широком диапазоне напряжений и, как правило, ОПН напряжений высших классов. Корпус ОПН из фарфора или керамики обладает достаточно высокой электрической и механической прочностью, трекингостойкостью и стойкостью к атмосферным воздействиям. Технология изготовления изоляционных корпусов (покрышек) из фарфора и керамики достаточно хорошо отработана. Также возможно применение изоляционных покрышек других видов электротехнического оборудования в качестве корпусов для ОПН (например, корпусов вентильных разрядников). К недостаткам изоляционных корпусов из фарфора или керамики можно отнести хрупкость и большой вес. Для фарфоровых корпусов необходимо обеспечивать соответствующую прочность на изгиб (выдерживаемый изгибающий момент при всех нагрузках). К этим нагрузкам относятся механические нагрузки, порождаемые термическими нагрузками при выделении энергии в ОПН как внутри, так и во внешней части ОПН (определяемые токами утечки в зависимости от условий загрязнения и атмосферных условий), и нагрузки от тяжения соединительных проводов или шин с учетом веса льда, арматуры, зажимных устройств, ветровых нагрузок. Эти нагрузки регламентируются в технических условиях для каждого типа ОПН высокого напряжения (допустимое значение минимального разрушающего момента лежит в

пределах от 1 до 2 кНм). Размещение нелинейных резисторов в фарфоровом корпусе предусматривает использование' центрирующих вставок между внутренней поверхностью фарфорового корпуса и нелинейными резисторами, обеспечивающих как соответствующие условия теплоотвода (учитывая большую теплоемкость и теплопроводность фарфора) и способность выдержать «термоудар» при кратковременных импульсах тока в десятки килоампер при ударах молнии, так и изоляцию нелинейных резисторов.

В настоящее время многие производители ОПН изготавливают его корпус из определяющего механическую и внутреннюю электрическую прочность изоляционного стеклопластикового цилиндра — остова, с внешней оболочкой из кремнийорганической (силиконовой) резины с ребрами. Внешняя изоляция, выполненная из силиконовой резины, обладает повышенной стойкостью к загрязнениям, обусловленной гидрофобными свойствами наружной поверхности силиконовой резины. Корпус ОПН, изготовленный из такой комбинированной изоляции, удовлетворяет требованиями стандартов по электрической и механической прочности, обладая в то же время существенно меньшим весом и хрупкостью, обеспечивает меньший риск повреждения (в том числе при транспортировке и монтаже).

ОПН с остовом корпуса из стеклопластика и внешней оболочкой с ребрами из силиконовой резины, выпускают для климатического исполнения и категорий размещения УХЛ1 и УХЛ2 по ГОСТ 15150—83 для защиты электрооборудования в сетях класса напряжения до 500 кВ.

Изоляционные корпусы со стеклопластиковыми стяжками и изолирующими оболочками на основе эпоксидных компаундов с ребрами из силиконовой резины также применяют при изготовлении ОПН на номинальные напряжения до 35 кВ.

В настоящее время ОПН также изготавливают с внешней изоляцией из силиконового полимерного материала. Изоляционную покрышку заданной формы с ребрами получают при вакуумном литье полимерного материала непосредственно на предварительно смонтированную внутреннюю конструкцию дисков нелинейных резисторов с электродами и выводами. ОПН с таким изоляционным корпусом изготавливают на номинальные напряжения до 24 кВ. Они имеют малый вес и специальные монтажные кронштейны, позволяющие устанавливать их непосредственно на выводах защищаемого оборудования.

Внешняя изоляция ОПН в значительной мере определяет надежную работу этого защитного устройства. Поэтому форма внешней поверхности изоляционного корпуса должна соответствовать рабочим условиям эксплуатации: более развитая и большей длины в условиях повышенного уровня загрязнений. Изготовители разрабатывают модификации изоляционных корпусов с повышенной способностью самоочищения под дождем, предназначенные для очистки и обмыва внешней изоляции в условиях эксплуатации под напряжением и при отсутствии напряжения. ОПН для электроустановок классов напряжения 110 кВ и выше, как правило,

снабжают специальными емкостными экранами, устанавливаемыми на высоковольтном вводе ОПН (ОПН на сверхвысокие напряжения имеют и промежуточные емкостные экраны) для исключения или, по меньшей мере, значительного снижения короны и обеспечения равномерного распределения напряжения по элементам (модулям) ОПН.

Конструктивное исполнение внутренней части ОПН разных типов и видов отличается расположением дисков нелинейных резисторов, способом создания контакта между дисками (непосредственным *контактом* или *применением* контактных прокладок). Электроды, между которыми находится комплект дисков нелинейных резисторов, как правило, имеют специальные выводы в виде стержней с резьбой для крепления проводников и присоединений к заземлению (для ОПН, устанавливаемых между «фазой» и «землей»). В некоторых типах ОПН применяют проводящие вставки для распределения дисков по всей длине внутренней полости корпуса, так как общая высота дисков меньше высоты изолирующего корпуса (рис. 3).

Для фиксации дисков внутри корпуса ОПН применяют специальные изоляционные распорки или цилиндры (рис. 3). Во внутренней полости ОПН для обеспечения требуемых условий теплоотвода предусматривают специальные теплоотводящие каналы и полости, теплоотводящие элементы, применяют специальные сплошные цилиндры с высокой теплопроводностью или специальные наполнители с высокой теплоемкостью (например, кварцевый песок). Сочетание разных методов и материалов и разные конструктивные особенности, реализуемые изготовителями, являются их индивидуальными технологическими решениями, детали которых не приводятся в технических описаниях.

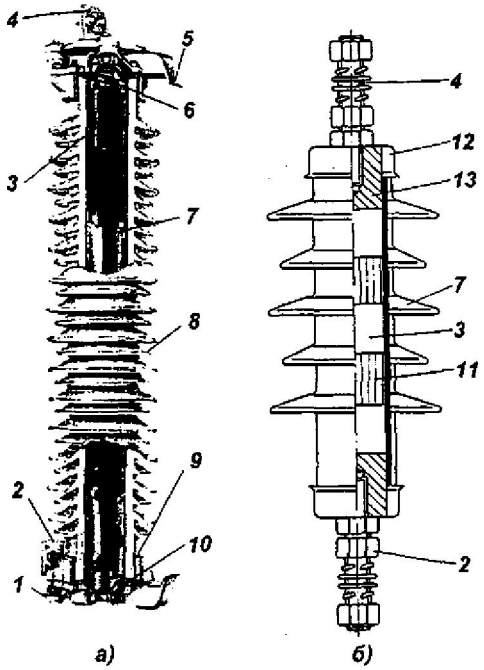



Рис. 3 - Расположение дисков нелинейных резисторов внутри корпуса ОПН, элементы присоединения ОПН к заземлению и к шине высокого напряжения: 1 — болты крепления к установочной плите, обеспечивающие вертикальное положение ОПН; *2* — вывод присоединения к заземлению; 3 — нелинейные резисторы ОПН; *4* — линейный

вывод высокого напряжения ОПН; 5 — система сброса давления — выхлопное устройство;*6* — пружина сжатия дисков нелинейных резисторов; 7 — внешняя изоляция корпуса из кремнкйорганической резины; *8* — фарфоровый корпус с промежуточными ребрами; *9* — маркировочная табличка;*10* — уплотнение корпуса; *11*— теплопоглотитель; *12* — фланец; *13* — электрод

Для обеспечения плотного контакта в разных модификациях ОПН высокого напряжения применяют или пружины, или специальные изолирующие стяжки, обеспечивающие за счет сильного сжатия всех дисков соответствующее контактное давление и низкие значения переходного контактного сопротивления между дисками, а также между дисками и электродом. Необходимость хорошего контакта обусловлена требованием минимального выделения тепла в соединениях элементов.

Сильное сжатие дисков обеспечивает их фиксацию во внутренней полости изоляционного корпуса и предотвращение смещение дисков нелинейного сопротивления внутри корпуса при различных механических нагрузках. Таким образом обеспечивается неизменное положение дисков внутри корпуса как при механических внешних воздействиях (в том числе и при транспортировке и монтаже), так и внутренних, связанных с протеканием больших импульсных токов и с изменением размеров в результате изменения температуры дисков и других несущих элементов конструкции. Это обусловливает и сохранение стабильности характеристик ОПН.

Важной конструктивной частью ОПН являются выводы подключения к заземлению и к высокому напряжению. В электроустановках на напряжение 35 кВ и ниже ОПН могут устанавливаться непосредственно на выводах защищаемого оборудования с соответствующими устройствами для монтажа и крепления. В электроустановках напряжением выше 35 кВ ОПН устанавливают на специальный «подножник» и присоединение выполняют специальным спуском от шинного моста или от вывода высокого напряжения защищаемого аппарата. Специальные присоединения имеют ОПН, устанавливаемые непосредственно на линии, подключаемые между проводом и опорой, параллельно гирлянде изоляторов или стержневому изолятору, как правило, в месте крепления гирлянды.

Для сохранения стабильности характеристик нелинейных резисторов корпус ОПН выполняется герметичным. Герметичность внутренней полости корпуса достигается применением кольцевых уплотнений из синтетической резины между торцевыми поверхностями изоляционного корпуса и фланцами. Это уплотнения, стойкие как к внешним воздействиям, соответствующим условиям эксплуатации, так и к возможным выделениям в результате ионизационных процессов внутри корпуса ОПН, например, озона или других веществ, стойкие к ультрафиолетовому излучению. Дополнительно в торцах изолирующего корпуса между уплотнением и фланцем устанавливается металлическая мембрана (как правило, из нержавеющей стали), обеспечивающая равномерное давление на уплотнение. При этом способе герметизации с гибкой мембраной во внутренней полости корпуса

поддерживается давление, незначительно изменяющееся в нормальных условиях. В случае значительного превышения давления во внутренней полости изоляционного корпуса мембрана срабатывает как предохранительный клапан, открывая путь для выхода ионизованных газов через специальные вентиляционные каналы.

Давление, при котором срабатывает мембрана-клапан, значительно ниже давления, при котором происходит разрушение корпуса ОПН. Расположение вентиляционных каналов создает встречное направление потоков газов высокого давления, равномерно распределяя давление этих потоков в торцевой области корпуса ОПН и предотвращая разрушение корпуса.

В конструкции ОПН в соответствии с требованиями безопасности эксплуатации должно быть предусмотрено устройство для сброса давления, обеспечивающее взрывобезопасность ОПН (рис.4). Это необходимо при пробое (как правило, тепловом) внутри корпуса ОПН в результате перегрева при выделении значительной энергии в режимах протекания токов или больших длительных токов промышленной частоты в установившихся режимах перенапряжений.

В случае аварийной перегрузки в ограничителе перенапряжений может произойти пробой во внутренней полости с последующим переходом в дуговой разряд. В новых разработках конструкций ОПН предусматривается перевод дугиво внешнее пространство ОПН вдоль боковой поверхности на некотором безопасном для внешней изоляции расстоянии от боковой поверхности изоляционного корпуса. Для этого используются специальные устройства, которые направляют выхлопные ионизованные проводящие газы, выбрасываемые под большим давлением из внутренней полости навстречу друг другу во внешнее пространство. При этом создается проводящий канал для дуги сопровождающего тока. Ток дуги соответствует условиям короткого замыкания или замыкания на землю и должен быть отключен при действии релейной защиты на отключение этого участка, сохраняя работоспособность ОПН.

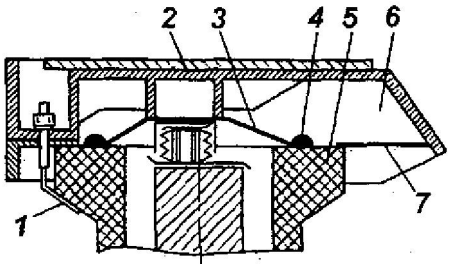



Рис. 4 - Уплотнение внутренней полости корпуса ОПН и защитное устройство для сброса давления: I — зажим; ***2*** — фланец; 3 — мембрана; *4* — резиновое уплотнительное кольцо; 5 — прокладка; 6 — вентиляционный канал; 7 — индикаторная пластина

Требуемые механические усилия сжатия обеспечиваются в конструкциях ОПН применением металлических фланцев, которые закреплены на изоляционном корпусе с использованием соответствующих прокладок между фланцем и изоляционным корпусом (или специальной

обоймой) в области сопряжения фланца (или обоймы) для равномерного распределения механических усилий, предотвращая концентрацию этих усилий на корпусе. В ОПН с изоляционным корпусом из хрупкого фарфора или керамики выполнение условия равномерного распределения механических нагрузок должно быть учтено при разработке конструкции ОПН. В ОПН с изоляционным корпусом на основе стеклопластика более эластичный конструкционный изоляционный материал в большей мере обеспечивает выполнение этого условия.

Применяемые для изготовления фланцев металлы (сплавы алюминия или нержавеющая сталь) наряду с высокой механической прочностью должны противостоять внешним воздействиям. Эти материалы должны иметь соответствующий уровень коррозионной стойкости с учетом условий загрязнения и наличия агрессивной среды (например, в прибрежных морских районах, в районах с промышленными выбросами в непосредственной близости от источников выбросов). При разработке конструкции ОПН необходимо принимать во внимание особые (аномальные) условия их работы.

Как известно, в герметизированных элегазовых комплектных распределительных устройствах (КРУЭ) применяются ограничители, заключенные в металлический герметический корпус с элегазовым наполнителем, получившие название ОПНЭ. Некоторые фирмы, например, Siemens, выпускают ОПНЭ не только как модуль КРУЭ, но и как самостоятельный аппарат для установки в открытых и закрытых распределительных устройствах. ОПНЭ выполняются для электроустановок 110—500 кВ.

Общий вид одной из конструкций ОПНЭ приведен на рис.5

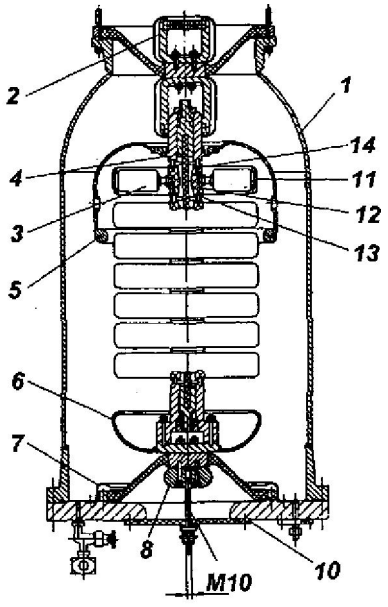



Рис. 5 - Элегазовый ограничитель перенапряжений на 220—500 кВ: 1 — резервуар, заполненный элегазом; *2* — высоковольтный ввод; 3 — колонны вводов нелинейных резисторов; *4* — изоляционная тяга; *5—7* — электростатические экраны; *8* — низ-

ковольтный вывод; *9* — заземляющий стержень; *10* — крышки;*11* — экран; *12* — эпоксидный блок; *13, 14* — входной и выходной электроды

Ограничитель состоит из резервуара, постоянно заполненного элегазом; контактного ввода высокого напряжения, осуществляющего электрическое соединение с элементами КРУЭ и состоящего из изоляционной перегородки и розеточного контакта; колонны блоков нелинейных резисторов, состоящих из отдельно собираемых блоков, стянутых в осевом

направлении изоляционной тягой с помощью натяжной гайки; электростатических экранов; вывода низкого напряжения с заземляемым стержнем, изолированного крышками. Каждый блок нелинейных резисторов состоит из экрана, входной и выходной групп металлооксидных резисторов, изоляционного блока, конденсаторов, распорных шпилек.

Электрическое соединение элементов ОПНЭ в колонне осуществляется через армированные в эпоксидном блоке токоведущие элементы, включающие входные и выходные электроды.

Заземляемый стержень вывода низкого напряжения ОПНЭ соединяется непосредственно с контуром заземления КРУЭ либо через регистратор срабатывания с приспособлениями для измерения тока проводимости.

В заключение этого раздела рассмотрим особенности размещения ОПН в электроустановках высокого напряжения.

Размещение ОПН в электроустановках ВН определяется в первую очередь требованиями ПУЭ по допустимым изоляционным расстояниям, общим для всех элементов электроустановок высокого напряжения. При этом необходимо учитывать размеры ОПН (экраны, арматуру, крепление к установочным основаниям) с допустимым отклонением от рабочего положения, устанавливаемого техническими условиями изготовителя для данного аппарата.

При выборе места расположения ОПН следует учитывать наличие элементов электроустановки или аппаратов, которые в рабочих условиях выделяют тепло, и температура вблизи которых в месте установки ОПН может отличаться от температуры окружающей среды. Эти условия должны быть согласованы с изготовителем. Также необходимо учитывать возможность разрушения ОПН (в критическом случае), чтобы последствия возможных разрушений не вызвали аварии в распределительном устройстве и не привели к повреждению расположенного рядом оборудования.

Важнейший элемент установки и монтажа ОПН — присоединение к заземляющему устройству (при включении ОПН «фаза»—«земля»). Только надежное присоединение к заземлителю с минимальным контактным сопротивлением может обеспечить нормированный защитный уровень. Большое значение сопротивления заземления приводит к большому значению напряжения на выводах защищаемого аппарата: дополнительно к остающемуся напряжению ОПН добавляется падение напряжения на заземлителе. При больших токах, протекающих через ОПН и, следовательно, через заземляющее устройство, в месте установки ОПН, падение напряжения

на заземлителе может достигать нескольких киловольт, а в случае неудовлетворительного состояния заземлителя — гораздо больших значений. В этом случае работа ОПН будет неэффективной.

Для присоединения к заземляющему устройству ОПН должен иметь специальные выводы. Металлическая арматура крепления ОПН к основанию не заменяет заземляющие проводники.

Оснащение современных ОПН выхлопными устройствами, срабатывающими при аварийных условиях внутри ОПН, требует их соответствующего размещения, чтобы выхлоп и перекрытия не перешли на другие элементы электроустановки.