

нескольких РП), в нормальном режиме питающихся от подстанций с разными режимами заземления нейтрали. В этом случае штатные релейные защиты от замыканий на землю на участках сети, переключённых в режим нейтрали, не соответствующий нормальной схеме, могут оказаться неработоспособными. Для организации селективной защиты в таких режимах следует предусмотреть резервирование штатной защиты от замыканий на землю. Это достигается установкой в каждой ячейке 6 – 10 кВ соответствующих РП двух комплектов (типов) релейных защит на разных принципах работы.

4. Для перевода городской распределительной сети, в том числе с компенсацией ёмкостного тока, из режима удержания однофазных замыканий на режим их отключения за счёт реализации низкоомного резистивного заземления требуются согласования новой схемы заземления нейтрали, а также действия релейных защит и устройств АВР между поставщиками электроэнергии (или организациями, эксплуатирующими городские центры питания 110 – 220 кВ с протяжённой прилегающей сетью 6 – 10 кВ) и потребителями, на балансе и в эксплуатации которых находятся РП и ТП этой сети.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила устройства электроустановок. 7-е изд.* — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
2. *Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. СО 34.20.501–03.* — М.: ОРГРЭС, 2003.
3. *Вильгельм Р., Уотерс М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах / Под ред. Д. В. Разевица, перевод с англ.* — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. — 416 с.
4. *Востросаблина В. А. Резисторное заземление нейтрали в сетях среднего напряжения: «за» и «против» // Электроэнергия. Передача и распределение. 2014. № 4 (25). С. 76 – 79.*
5. *Ширковец А. И., Хадыев И. Г., Кудряшов Д. С. О переводе сетей 6 – 10 кВ горных и металлургических предприятий на режим эксплуатации с резистивно-заземлённой нейтралью // Безопасность труда в промышленности. 2016. № 1.*
6. *Fickert L., Schmautzer E., Raunig C., Lindinger M. Verification of Earthing Global Systems / In Proc. on 22<sup>nd</sup> International Conference on Electricity Distribution CIREC 2013. Stockholm, June 2013. P. 0035.*
7. *ГОСТ 12.1.038–82. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.* — М.: Изд-во стандартов, 1982.
8. *Ушаков В. Я. Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции.* — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 152 с.
9. *IEEE Standard 32–1972 (Reaffirmed 1997). Standard Requirements, Terminology, and Test Procedure for Neutral Grounding Devices.*



А. А. Челаэнов



М. В. Ильиных

## Разработка регламента по способам подключения, обслуживанию и ремонту устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ

**ЧЕЛАЗНОВ А. А., доктор техн. наук**  
**АО «Объединённая энергетическая компания»**  
**115035, Москва, Раушская наб., д. 8**  
**chelaznovaa@uneco.ru**  
**ИЛЬИНЫХ М. В., ООО «Болид»**  
**630015, г. Новосибирск,**  
**Электростанционной пр., д. 1**  
**nio\_bolid@ngs.ru**

Приведены общие требования к применяемым и вновь разрабатываемым резисторным устройствам заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ, их основные параметры и характеристики, требования по способам подключения, приёмке, обслуживанию и ремонту, а также положения по расчёту оптимального значения сопротивления резистивного заземления нейтрали.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** регламент, резистивное заземление нейтрали, резисторные установки заземления нейтрали, сеть 20 кВ, технические требования, способы подключения.

Электрическая сеть 20 кВ Москвы выполняется с резистивным заземлением нейтрали при действии устройств релейной защиты (РЗ) на отключение однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) [1, 2]. Для правильной эксплуатации устройств резистивного заземления нейтрали разработан и утверждён «Регламент организации ОАО «ОЭК» по способам подключения, обслуживанию и ремонту устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ» (далее Регламент) [3].

Основные цели данного Регламента:

- осуществление безопасной и надёжной эксплуатации электрических сетей 20 кВ при резистивном режиме заземления нейтрали 20 кВ силовых трансформаторов 220(110)/20 кВ;
- контроль технического состояния устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ, в том числе для раннего обнаружения их дефектов в целях своевременного выполнения мероприятий по техническому обслуживанию, ремонтам и замены, а также отключения электрооборудования при рисках его повреждения.

Регламент содержит основные требования по способам подключения устройств резистивного заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ АО «ОЭК», их приёмке, обслуживанию и ремонту.

В общей части Регламента приведены назначение, цели, область применения, нормативные ссылки.

Содержательная часть включает в себя следующие разделы:

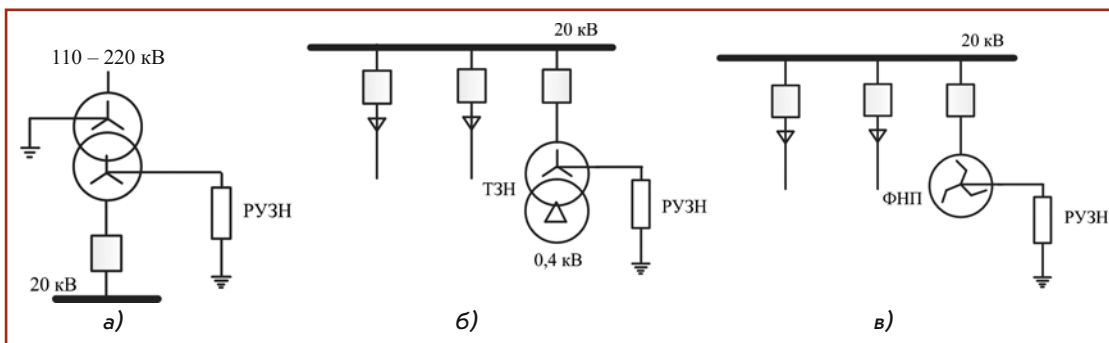
1. Технические требования к устройствам заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ;
2. Способы подключения резисторных установок заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ;
3. Приёмка устройств заземления нейтрали в эксплуатацию;
4. Порядок эксплуатации, возможные неисправности и способы их устранения;
5. Техническое обслуживание и ремонт резисторных устройств заземления нейтрали (РУЗН) сетей 20 кВ;
6. Требования по транспортированию, хранению и утилизации;
7. Расчёт оптимального значения сопротивления резистивного заземления нейтрали в целях обеспечения допустимого тока однофазного короткого замыкания (КЗ) в сети 20 кВ.

#### Технические требования к устройствам заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ

В данном разделе Регламента приведены общие требования к применяемым и вновь разрабатываемым РУЗН электрических сетей 20 кВ, их основные параметры и характеристики, требования к изоляции, стойкости к внешним воздействующим факторам, конструкции, нагреву, надёжности, комплектности, маркировке и упаковке, безопасности.

#### Основные параметры и характеристики РУЗН

Номинальное напряжение, кВ . . . . . 11,55  
 Номинальное напряжение сети  
 с РУЗН, кВ . . . . . 20



Схемы резистивного заземления нейтрали электрической сети 20 кВ

|  |                           |
|--|---------------------------|
| Наибольшее рабочее напряжение сети с РУЗН, кВ . . . . .                            | 24                        |
| Активное сопротивление, Ом . . . . .   | Не более 24               |
| Допустимое отклонение номинального сопротивления, % . . . . .                      | $\pm 10$                  |
| Изменение сопротивления РУЗН при номинальном токе, % . . . . .                     | Не более 15               |
| Номинальное рабочее время (протекание номинального тока в режиме ОЗЗ), с . . . . . | Не менее 10               |
|  | (IEEE Std.32-1972 п. 2.5) |

Следует отметить, что конструкция РУЗН должна обеспечивать безопасную эксплуатацию и техническое обслуживание, а также быть ремонтпригодной. Токопроводящие резистивные элементы РУЗН следует охлаждать за счёт естественной конвекции без использования специальных устройств принудительного обдува. Предпочтительно применение объёмных и малоиндуктивных РУЗН.

### Способы подключения РУЗН электрических сетей 20 кВ

Нейтрали сетей 20 кВ заземляются через РУЗН на питающих ПС (500 – 110)/20 кВ. Установка подключается к выведенной нейтрали обмоток 20 кВ силового трансформатора (500 – 110)/20 кВ со схемой соединения обмоток  $Y_0/Y_0$  (рисунок, а). При отсутствии указанной нейтрали резисторы целесообразно подключать к нейтрали специального нейтралеобразующего устройства — трансформатора заземления нейтрали (ТЗН) 20/0,4 кВ со схемой соединения обмоток  $Y_0/\Delta$  (рисунок, б), вторичную обмотку которого можно использовать для питания собственных нужд или фильтра нулевой последовательности (ФНП) 20 кВ со схемой соединения обмоток «зигзаг» (рисунок, в). Устройство РУЗН подключается к нейтрали обмоток 20 кВ. Специальные нейтралеобразующие устройства с РУЗН устанавливаются на каждой секции шин 20 кВ.

В связи с кратковременным режимом работы РУЗН, ТЗН (ФНП) может быть выбран с учётом его перегрузки. Выбор номинальной мощности ТЗН (ФНП) зависит от перегрузочной способности конкретного типа нейтралеобразующего устройства. Подключение РУЗН должно осуществляться с помощью высоковольтного одно-

фазного кабеля или жёсткой ошиновки сечением не менее 120 мм<sup>2</sup>. Для контроля тока через РУЗН его ввод, предназначенный для заземления, должен быть соединён с общим заземляющим устройством через трансформатор тока (ТТ).

### Приёмка РУЗН в эксплуатацию

Указанная приёмка должна проводиться в соответствии с разделом 1.2 [4], комплект технической документации формируется согласно разделу 1.7 [4]. Устройства заземления нейтрали, поставляемые в сборе, перед монтажом визуально проверяются на соответствие маркировки, целостности изделия, защитных покрытий и сопротивления паспортным значениям.

Все работы по монтажу устройства и его вводу в эксплуатацию осуществляются в соответствии с требованиями [4], инструкции по монтажу и руководству по эксплуатации (РЭ) производителя устройства. После монтажа устройства перед его приёмкой в эксплуатацию обязательно проверяется выполнение требований нормативных документов (ПУЭ, ПТЭ, ГОСТ, СНиП и пр.) и проведено комплексное опробование оборудования, перед которым выполняются необходимые испытания устройства в соответствии с указаниями РЭ. Окончание приёмки РУЗН в эксплуатацию оформляется актом ввода устройства в эксплуатацию.

### Порядок эксплуатации, возможные неисправности и способы их устранения

Устройства РУЗН включены постоянно. Их эксплуатация проводится подготовленным электротехническим персоналом в строгом соответствии с требованиями [4], РЭ, местных эксплуатационных инструкций, указанного Регламента [3] и при соблюдении правил по охране труда [5].

В электрических сетях 20 кВ с РУЗН работа в длительном режиме ОЗЗ не допускается. В этих сетях все отходящие от подстанции линии должны быть оборудованы защитами от замыканий на землю с действием на отключение. Для отключения РУЗН при внутреннем замыкании или суще-

ствовании ОЗЗ длительностью более номинального времени работы (10 с) устанавливаются соответствующие комплекты РЗ. В случае неправильной работы РЗ и автоматики от ОЗЗ, а также отказа выключателей присоединенный 20 кВ по истечении номинального времени работы РУЗН при неустранённом ОЗЗ должен быть отключён либо питающий силовой трансформатор 220(110)/20 кВ, либо присоединение ТЗН (ФНП), к которому подключено РУЗН.

При эксплуатации РУЗН следует обеспечивать их надёжную работу. Уровень напряжения, температура в помещении с РУЗН, температура резистивных элементов, параметры изоляции должны находиться в пределах установленных норм, элементы РУЗН — в исправном состоянии.

В процессе эксплуатации при осмотре оборудования распределительных устройств необходимо визуально проверять видимые части РУЗН для проверки целостности конструкции и отсутствия повреждений.

### Техническое обслуживание и ремонт РУЗН сетей 20 кВ

Периодичность, вид и состав обслуживания определяются эксплуатационной документацией завода-изготовителя и Регламентом: периодичность — не реже одного раза в три года, техническое обслуживание проводится с отключением устройства от нейтрали сети. Для соблюдения сроков и надлежащего качества обслуживания рекомендуется в местной инструкции по эксплуатации РУЗН иметь график технического обслуживания в виде таблицы. В строках графика должны быть указаны рекомендуемые операции обслуживания, взятые из руководств по эксплуатации на конкретный тип устройства и учитывающие местные особенности (место расположения — наружное или в помещении, габариты, конструкцию и пр.). В столбцах таблицы должно быть указано нахождение устройства в работе, тип обслуживания, уровень обслуживания.

Виды ремонтов РУЗН сетей 20 кВ, которые выполняются в процессе эксплуатации или на предприятии-изготовителе, должны указываться в руко-

водстве по эксплуатации. К этим видам относятся ремонт или замена присоединительных проводников к заземлителю и нейтрали сети, а также восстановление защитных покрытий, очистка поверхности проходных и опорных изоляторов, ремонт цементных разделок на опорных изоляторах по мере необходимости. В отдельных типах устройств возможна замена токоагрегаемых резистивных элементов.

При техническом обслуживании РУЗН 20 кВ проводятся следующие действия:

- внешний визуальный осмотр;
- очистка изоляции;
- восстановление защитных покрытий металлических частей и цементных швов опорных изоляторов;
- проверка состояния болтовых соединений конструкции РУЗН, а также электрической цепи РУЗН, контактных соединений и проводников;
- измерения электрического сопротивления РУЗН;
- измерения сопротивления изоляции резистивных элементов (корпусной изоляции отдельного токоагрегаемого резистивного элемента относительно металлических частей его корпуса или корпуса РУЗН), опорных и проходных изоляторов, а также изоляции резистора (токоагрегаемых элементов в целом);
- испытания электрической прочности изоляции (токоагрегаемых резистивных элементов относительно корпуса или заземлённого основания) повышенным напряжением промышленной частоты;
- испытания на нагрев при длительно допустимом токе или максимально допустимом токе (проводятся по специальному решению при наличии соответствующего испытательного оборудования и обязательном тепловизионном контроле устройства).

#### Расчёт оптимального сопротивления РУЗН для обеспечения допустимого тока однофазного замыкания в сети 20 кВ

На стадии разработки Регламента проанализировано влияние номинального сопротивления резистора на различные факторы и параметры работы электрической сети, проведены экспериментальные [6] и расчётные исследования. При заземлении нейтрали сети 20 кВ через резистор обеспечивается значительное снижение (ограничение) тока ОЗЗ по отношению к току однофазного КЗ на землю, соответствующего режиму глухого или эффективного заземления нейтрали.

Значение сопротивления резистора для заземления нейтрали сети 20 кВ определяется по току ОЗЗ. Оптимальное сопротивление резистора и соответственно допустимый ток ОЗЗ долж-

ны определяться по ряду критериев. К ним относятся:

- обеспечение селективной работы РЗ при отключении ОЗЗ и локализации места повреждения;
- снижение перенапряжений при ОЗЗ (применение низкоомного резистивного заземления нейтрали сетей 20 кВ АО «ОЭК» не предполагает перевод рассматриваемых сетей 20 кВ в сети с глухозаземлённой или эффективнозаземлённой нейтралью. Следовательно, снижение требований к допустимым значениям перенапряжений для применяемого электрооборудования до уровня требований для сетей с глухозаземлённой или эффективнозаземлённой нейтралью не планируется);
- обеспечение термической устойчивости оборудования (экранов и жил силовых кабельных линий и пр.);
- соблюдение условий электробезопасности;
- уменьшение износа оборудования при ОЗЗ (сохранение коммутационного ресурса выключателей и пр.).

Основной критерий выбора сопротивления резистора заземления нейтрали сети 20 кВ, исходя из стратегии развития сетей 20 кВ АО «ОЭК», — обеспечение селективной работы РЗ на отключение при допустимом токе ОЗЗ и локализация места повреждения, что возможно при низкоомном заземлении нейтрали сети.

Условия определения сопротивления резистора заземления нейтрали сети 20 кВ.

1. Для снижения перенапряжений при ОЗЗ сопротивление резистора выбирается из следующих условий:

- снижение перенапряжений при перемежающемся характере горения дуги тока ОЗЗ рассчитываются по формуле

$$R_N \leq \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}I_C}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{ном}}$  — номинальное линейное напряжение сети;  $I_C$  — ёмкостный ток ОЗЗ;

- уменьшение перенапряжений за счёт перевода характера горения дуги тока ОЗЗ из перемежающегося к устойчивому определяется выражением

$$R_N \leq \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}(3,5 - 4)I_C}. \quad (2)$$

2. Обеспечение селективности и чувствительности срабатывания специальных защит от ОЗЗ:

- селективное срабатывание специальных защит от ОЗЗ, выполненных в виде ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности на отключение ОЗЗ, может быть осуществлено подключением к нейтрали сети

резистора с сопротивлением, вычисляемым по формуле

$$R_N \leq \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}k_{\text{ч}}k_{\text{з.3}}}, \quad (3)$$

где  $k_{\text{ч}} \geq 1,5$  — коэффициент чувствительности;  $I_{\text{с.з. max}} = k_{\text{з.3}}I_{\text{ср}}$  — максимальный ток срабатывания защиты ОЗЗ ( $k_{\text{з.3}} = 1,1 \div 1,2$  — коэффициент запаса);

- при использовании реагирующим органом ненаправленной токовой защиты тока  $3I_0$ , протекающего по нулевому проводу трёхтрансформаторного фильтра ТТ, необходимо осуществлять проверку для отстройки от тока небаланса ТТ  $I_{\text{нб}}$ :

$$R_N \leq \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}k_{\text{ч}}k_{\text{з.3}}I_{\text{нб}}}, \quad (4)$$

где  $I_{\text{с.з.}} = k_{\text{з.3}}I_{\text{нб}}$  — ток срабатывания защиты.

Если защита не имеет соответствующей выдержки времени ток небаланса определяется по формуле

$$I_{\text{нб}} = k_{\text{одн}}\varepsilon I_{\text{КЗ max}}$$

где  $k_{\text{одн}} = 1,0$  — коэффициент однотипности ТТ;  $\varepsilon = 0,1$  — предельная относительная погрешность ТТ;  $I_{\text{КЗ max}}$  — максимальный ток междуфазного КЗ, протекающий по фильтру.

Для обеспечения чувствительности защита от ОЗЗ выполняется с выдержкой времени  $t_{\text{ОЗЗ}}$ , превышающей выдержку времени защиты от междуфазных КЗ  $t_{\text{КЗ}}$  на ступень селективности по времени  $\Delta t$ :  $t_{\text{ОЗЗ}} = t_{\text{КЗ}} + \Delta t$ . При этом  $I_{\text{нб}} = k_{\text{одн}}\varepsilon I_{\text{нагр max}}$ , где  $I_{\text{нагр max}}$  — максимальный фазный ток присоединения (ток нагрузки).

3. Обеспечение термической устойчивости оборудования осуществляется при условии, что ток ОЗЗ, определяемый сопротивлением резистора для заземления нейтрали, меньше тока термической стойкости оборудования  $I_{R_N} < I_{\text{терм}}$ . Сопротивление резистора по условию термической стойкости оборудования определяется по формуле

$$R_N \geq \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}I_{\text{терм}}}. \quad (5)$$

Проверка термической стойкости проводится для жил однофазных кабелей и другого оборудования по току трёхфазного КЗ ( $I^{(3)}$ ), для экранов однофазных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена: при  $t_{\text{ОЗЗ}} < 0,1$  с по току ОЗЗ  $I^{(1)}$  [при такой выдержке защит возникновение двухфазного (двухместного) замыкания на землю в сети из однофазных кабелей после возникновения первого замыкания на землю в однофазном кабеле маловероятно]; при  $t_{\text{ОЗЗ}} \geq 0,1$  с по току двухфазного КЗ на землю  $I^{(1,1)}$ .

4. Обеспечение электробезопасности при протекании тока ОЗЗ через заземляющие устройства (ЗУ) выполняется при сопротивлении резистора, определяемом по формуле

$$R_{N3} \geq \frac{U_{\text{ном}}}{I_{N3} \sqrt{3}}, \quad (6)$$

где  $I_{N3} = U_{3y}/R_{3y}$  — допустимый ток ОЗЗ по условию электробезопасности;  $U_{3y}$  — допустимое напряжение на ЗУ, соответствующее предельно допустимому значению напряжения прикосновения для определённой продолжительности воздействия замыкания;  $R_{3y}$  — сопротивление ЗУ на подстанции.

Для обеспечения условий электробезопасности ток ОЗЗ должен быть по возможности минимальным, исходя из выбора по другим критериям, либо следует применять специальные дополнительные мероприятия. В целях исключения выноса высокого потенциала на трансформаторные подстанции и в сеть 0,4 кВ при двухстороннем заземлении экранов кабельных линий 20 кВ рекомендуется использовать предлагаемое в ГОСТ Р 50571.18–2000 (МЭК 60364-4-442–93) [7] разделение заземлителей высоковольтных и низковольтных частей подстанции.

При выполнении перечисленных условий 1–4 номинальное значение резистора может выбираться таким образом, чтобы ток, создаваемый им в точке ОЗЗ, был примерно равен фазному рабочему току самого мощного присоединения  $I_{RN} \equiv I_{\text{прис макс}}$ .

#### Требования по транспортированию, хранению и утилизации

Консервация устройств заземления нейтрали должна производиться по ГОСТ 23216 [8] с учётом технических условий на конкретное устройство и быть рассчитана на срок хранения три года. При транспортировании РУЗН автомобильным транспортом, в вагонах или контейнерах вид упаковки по согласованию между потребителем и изготовителем (поставщиком) может быть упрощён, однако должны быть приняты меры против возможных повреждений.

Условия транспортирования и хранения в части воздействия климатических факторов внешней среды должны соответствовать требованиям ГОСТ 23216 [8], ГОСТ 15150 [9] и предусматриваться в технических условиях на конкретный тип устройства. Диапазон температур при транспортировании — от –50 до +50 °С, при хранении — от –50 до +40 °С. Хранить устройства необходимо в упаковке.

Устройства заземления нейтрали не должны: представлять опасность для окружающей среды и здоровья людей после окончания срока службы, содержать драгоценные металлы, содержать и выделять вредные вещества в про-

цессе эксплуатации и хранения. По истечении срока службы (его списания) устройства подлежат утилизации на общепринятых основаниях (разделению на отходы металлические, неметаллические и пр.). Другие специальные меры не требуются.

#### Выводы

1. Разработка и введение Регламента обеспечивает решение организационно-технических мероприятий на всех стадиях внедрения и эксплуатации устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ, нормирует необходимый набор требований к РУЗН, определяет выбор номинального значения резистора, исходя из условий снижения перенапряжений, селективного срабатывания защит от ОЗЗ, обеспечения термической устойчивости оборудования, электробезопасности.

2. Данный регламент может быть рекомендован в виде проекта при разработке подобного нормативного документа (стандарта) для сетей 20 кВ предприятий ПАО «Россети».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Технические требования к построению опорной сети 20 кВ* г. Москва ОАО «Объединённая энергетическая компания» (утверждены ОАО «ОЭК» 18.10.2011 г.).
2. *Методические указания по применению в ОАО «Московская объединённая электросетевая компания» основных технических решений по экс-*

плуатации, реконструкции и новому строительству электросетевых объектов (утверждены приказом ОАО «МОЭСК» от 04.07.2014 г. № 723).

3. *Регламент организации ОАО «ОЭК» по способам подключения, обслуживанию и ремонту устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ* (утверждён ОАО «ОЭК» 15.08.2014 г.).

4. *Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации*. СО 34.20.501–03. — М.: ОРГРЭС, 2003.

5. *Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок*. — М.: ЭНАС, 2014. — 168 с.

6. Майоров А. В., Челазнов А. А., Ильиных М. В. Экспериментальные исследования переходных процессов при однофазных замыканиях в сети 20 кВ // Иваново: Вестник ИГЭУ. 2015. Вып. 6.

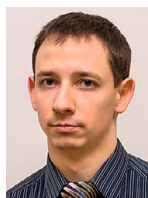
7. *ГОСТ Р 50571.18–2000 (МЭК 60364-4-442–93)*. Ч. 4. Требования по обеспечению безопасности.

8. *ГОСТ 23216–78*. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, временная противокоррозионная защита, упаковка. Общие требования и методы испытаний.

9. *ГОСТ 15150–69*. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды.



А. В. Майоров



А. И. Ширковец

## Мировой опыт применения, схемы подключения и конструкции резисторов в электрических сетях 20 кВ

МАЙОРОВ А. В.

АО «Объединённая энергетическая компания» 115035, Москва, Раушская наб., д. 8  
mayorov@uneco.ru

ШИРКОВЕЦ А. И., канд. техн. наук

ООО «Болид»; 630015, г. Новосибирск, Электроводская ул., д. 2, корп. 6  
nio\_bolid@ngs.ru

Рассмотрены технические решения по реализации резистивного заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 20 кВ в России и за рубежом. Проанализирован опыт построения опорной кабельной сети этого класса напряжения в Московской энергосистеме. С точки зрения оперативной гибкости сопоставлены схемы включения резистора в нейтраль сети 20 кВ, выполнены расчёт и выбор мощности нейтралеобразующих трансформаторов. На основе нормативных документов обоснована целесообразность применения в отечественных электрических сетях резисторов из композиционного материала.

Ключевые слова: опорная сеть 20 кВ, заземление нейтрали, низкоомный резистор, схема подключения, активный ток, композиционный материал, температура резистивных элементов.