



ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Ежемесячный производственно-технический журнал

УЧРЕДИТЕЛИ:

МИНЭНЕРГО РОССИИ, ПАО "ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЕТЕВАЯ КОМПАНИЯ ЕЭС",
КОРПОРАЦИЯ "ЕДИНЫЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС", НТФ "ЭНЕРГОПРОГРЕСС",
НП "НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ ЕЭС"

11 Ноябрь
2023

Издается с августа 1944 года

Москва, НТФ "Энергопрогресс"

СОДЕРЖАНИЕ

Проекты и исследования

**Соснина Е. Н., Кралин А. А., Крюков Е. В.,
Бедретдинов Р. Ш.** Оптимизация схемы тиристорного регулятора напряжения для сети 6 – 20 кВ

Ильиных М. В., Телегин А. В. Российские и мировые стандарты по организации режима заземления нейтрали распределительных сетей и защите от дуговых перенапряжений

**Надтока И. И., Звозникова И. А., Васильев Г. П.,
Бурмистров А. А. Туруткин С. Ю., Обьденко И. И.** Анализ основных закономерностей в электропотреблении жилой части многоквартирных домов в Московском регионе

Шомов П. А. Повышение энергетической эффективности магистральных газопроводов за счет изменения режимных и конструктивных параметров

Демин Ю. К., Демина Х. Н., Нечаев С. А. Использование низкотемпературного потенциала окружающей среды при производстве продуктов разделения воздуха

2 **Гапонова Д. А., Кожеченко А. С., Родякина Р. В., Гончаров А. Л., Силиверстов В. И., Щербakov А. В.** Система коррекции положения точки ввода проволоки в ванну жидкого металла как средство повышения показателей эффективности процесса аддитивного формообразования металлических изделий

21 Качество электроэнергии

Кузнецов А. В., Чикин В. В. Новый технический параметр для определения значений правых управляющих факторов в модели управления качеством электроэнергии

36

41

49

DOI: 10.34831/EP.2023.90.78.002

Российские и мировые стандарты по организации режима заземления нейтрали распределительных сетей и защите от дуговых перенапряжений

Ильиных М. В., ведущий научный сотрудник
Телегин А. В., начальник отдела
ООО «Болид», Новосибирск

Показаны важность выбора режима заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ, опасность режима однофазного замыкания на землю. Указаны основные режимы заземления сетей среднего класса напряжения, преимущества заземления нейтрали с использованием резисторов. Представлены результаты обзора нормативно-технической базы, используемой в России и за рубежом для организации эффективной, надежной и безопасной эксплуатации электрических сетей с различными способами заземления нейтрали. Выявлено, что зарубежные стандарты – IEEE и IEC (МЭК) — акцентируют внимание на общих положениях, объеме и методах испытаний и измерений параметров силовых устройств, включаемых в нейтраль сети. Эти документы, не имеющие статуса ГОСТ Р, носят рекомендательный характер и требуют актуализации для применения в российских условиях. Отмечено, что в организациях Группы компаний ПАО «Российские сети», АО «Объединенная энергетическая компания», некоторых нефтегазовых компаниях, а также в ГПО «Белэнерго» в 2004 – 2022 гг. были введены и используются локальные стандарты, включающие (в разной степени проработанности и детализации) условия, нормы и требования по компенсации емкостных токов, резистивному заземлению, а также методологию применения режимов заземления нейтрали и принципы построения релейной защиты от замыканий на землю. Несмотря на это, сохраняется потребность в разработке единого стандарта ПАО «Россети» в области режимов заземления нейтрали и защиты от дуговых перенапряжений с нормами, требованиями и критериями по расчету, выбору, обоснованию и составу оборудования для оптимального заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ сетевых предприятий.

Ключевые слова: нормативная документация (НД), нормативно-техническая документация (НТД), стандарт организации, режим заземления нейтрали, электрические сети 6 – 35 кВ, замыкание на землю, перенапряжения, технические требования.

Основопологающим фактором, определяющим свойства сетей 6 – 35 кВ, является режим заземления нейтрали сети. Выбор способа заземления нейтрали обусловлен поведением системы при замыкании на землю и представляет собой комплексную проблему, которая затрагивает вопросы ограничения перенапряжений, релейной защиты, выбора оборудования, бесперебойности электроснабжения, безопасности персонала и т.д. Режим заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ при замыкании на землю определяет значения перенапряжений, которые воздействуют на изоляцию всей электрически связанной сети, и обуславливает степень тяжести аварийных повреждений, время ликвидации аварии и в целом надежность электроснабжения

В настоящее время в мировой практике используются следующие способы заземления нейтрали сетей среднего напряжения (термин

«среднее напряжение» используется для сетей с диапазоном рабочих напряжений 1 – 69 кВ):

- изолированная (незаземленная);
- глухозаземленная (непосредственно присоединенная к заземляющему контуру);
- заземленная через дугогасящий реактор;
- заземленная через резистор (низкоомный или высокоомный);
- заземленная через дугогасящий реактор и резистор (комбинированная).

Каждый способ заземления нейтрали имеет свои преимущества и недостатки.

Заземление нейтрали через резистор — самостоятельно или в комбинации с дугогасящим реактором (ДГР), а также компенсация емкостного тока (начиная от значений 10 – 15 А) широко применяются в сетях среднего напряжения Японии, Австралии, США, стран Западной, Северной и Восточной Европы. В России, странах Балтии и в Японии некоторые сети, построенные преимущественно на воздушных линиях и имеющих малые токи

однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), эксплуатируются с изолированной нейтралью. В ряде стран, например в США, Финляндии и Латвии, ток ОЗЗ ограничивается, по сравнению с током однофазного КЗ, активным или реактивным сопротивлением в нейтрали до 400 – 1000 А. В Швейцарии в 2008 – 2010 гг. был успешно апробирован метод шунтирования ОЗЗ однополюсными заземляющими выключателями. Примерно в это же время указанный способ был анонсирован как «новый» в работах китайских ученых, хотя справедливости ради надо отметить, что в действительности перевод ОЗЗ в междуфазное КЗ включением неповрежденной фазы на шинах подстанции с последующим селективным отключением поврежденного присоединения был предложен и научно обоснован в СССР еще в 1975 г. [1].

Для подавления замыканий на землю в настоящее время используются устройства компенсации тока замыкания на землю – как традиционные, предусматривающие снижение его емкостной составляющей, так и более сложные, рассчитанные на ликвидацию активной составляющей и высших гармоник. В числе последних — активно продвигаемая система Ground Fault Neutralizer (GFN) компании «Swedish Neutral» (построена на основе бесплунжерного реактора и специальных инверторов [2]), получившая распространение в Швеции и Германии.

Опасности режима однофазного замыкания на землю

К опасностям ОЗЗ относятся: перенапряжения; переход ОЗЗ в междуфазное КЗ; многоместные повреждения; феррорезонансные явления; шаговое напряжение возле опоры; опасность поражения людей и животных (воздушные ЛЭП); разрушение бетонных опор; опасность возникновения пожара; значительные помехи линиям связи при дуговых замыканиях.

Основным недостатком работы сети в режиме изолированной и компенсированной нейтрали является возможность возникновения ОЗЗ через перемежающуюся дугу. Это приводит к значительным перенапряжениям на неповрежденных фазах. Доля таких дуговых ОЗЗ среди всех видов аварий весьма значительна (до 80 %). Это подтверждается как классическими исследованиями, так и современным опытом эксплуатации (разборы ава-

рий, массивы осциллограмм с регистраторов аварийных событий и устройств РЗА) [3 – 5].

Такие перенапряжения часто существуют в виде переходных процессов при перемежающейся дуге и опасны для электроустановок высокими кратностями перенапряжений $U_{пер} = (3 \div 3,5)U_{ф}$, своей продолжительностью и шириной охвата сети, электрически связанной с местом повреждения.

Неотключенное, т.е. длительно существующее ОЗЗ приводит в значительном количестве случаев к возникновению двухфазных, трехфазных замыканий, многоместных повреждений оборудования, а также к возникновению опасных феррорезонансных и резонансных явлений.

Защита от дуговых перенапряжений в сетях 6 – 35 кВ

Снизить в определенной степени негативные явления при ОЗЗ позволяет применение режима заземления нейтрали сети через ДГР с резонансной настройкой компенсации емкостного тока ОЗЗ, а также реализация селективных быстродействующих защит от ОЗЗ с действием на отключение поврежденного присоединения.

Кардинально решить проблемы перенапряжений при замыканиях на землю через перемежающуюся дугу, феррорезонансных и резонансных явлений, обеспечить сокращение повреждений изоляции высоковольтного оборудования возможно переходом от режима изолированной нейтрали сети к резистивному либо комбинированному (нейтраль заземлена через параллельно включенные дугогасящий реактор и резистор) режиму заземления нейтрали [4, 6].

Кроме того, активный ток, создаваемый резистором, позволяет организовать эффективное действие релейной защиты от ОЗЗ, обеспечить требуемую селективность определения поврежденного присоединения, что способствует снижению термического воздействия токов ОЗЗ, повышению уровня электробезопасности для людей и животных.

Анализ показывает, что резистивное заземление нейтрали – наиболее широко применяемый способ заземления нейтрали в сетях среднего напряжения зарубежных энергоснабжающих предприятий.

Зарубежная нормативная документация

Техническое регулирование за рубежом в области выбора и реализации способа заземления нейтрали с учетом принципа организации релейных защит от замыканий на землю и в области схемных, режимных и конструктивных требований, объема и методов испытаний и измерений параметров устройств, подключаемых в нейтраль сети, осуществляется преимущественно на основе стандартов IEEE и IEC (МЭК).

В странах, присоединившихся к их использованию, стандарты IEEE и IEC (МЭК) носят рекомендательный характер. В рассматриваемой области режима заземления нейтрали нет ни одного стандарта IEC (МЭК), который был бы официально переведен и зарегистрирован в системе ГОСТ Р в качестве стандарта МЭК «прямого применения». Международные стандарты не могут рассматриваться как обязательные к применению в РФ.

Из основных зарубежных нормативных документов можно рассмотреть следующий перечень стандартов:

IEEE Std C57.32–2015 IEEE Standard for Requirements, Terminology and Test Procedure for Neutral Grounding Devices [Требования, терминология и процедура испытаний устройств заземления нейтрали];

IEEE Std C62.92.1–2016 IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems — Part I: Introduction [Руководство IEEE по применению заземления нейтрали в электрических сетях общего назначения — Часть 1: Введение];

IEEE Std C62.92.4–2014 IEEE Guide for the Application of Neutral Grounding in Electrical Utility Systems — Part IV: Distribution [Руководство IEEE по применению заземления нейтрали в электрических сетях общего назначения — Часть 4: Распределительные сети];

IEEE Std 142–2007 (Green Book) IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems [Практические рекомендации по заземлению промышленных и потребительских электрических сетей];

IEEE Std 242–2001 IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems [Практические рекомендации по защите и координации промышленных и потребительских сетей];

IEC 60076-6:2007 International Standard. Power transformers — Part 6: Reactors [Международный стандарт. Силовые трансформаторы — Часть 6: Реакторы].

В зарубежных НТД рассмотрены либо общие положения по выбору и эксплуатации различных режимов заземления нейтрали (IEEE Std. 142–2007 Green Book, IEEE Std. 242–2001, IEEE Std C62.92.4–2014, IEEE Std C62.92.1–2016), либо технические требования к соответствующему оборудованию (IEEE Std C57.32–2015, IEC (МЭК) 60076-6:2007).

IEEE Std. 142 – 2007

В стандарте IEEE Std. 142–2007 рассмотрены способы заземления нейтрали в промышленных и потребительских электрических сетях и их области применения, приведены сравнительные характеристики различных режимов заземления нейтрали.

IEEE Std C62.92.1–2016

В стандарте IEEE Std C62.92.1–2016 рассмотрены общие положения, области применения и ключевые особенности различных режимов нейтрали, а также факторы, определяющие выбор конкретного способа заземления нейтрали в электрических сетях общего назначения. Следует обратить внимание на следующие особенности документа:

отсутствует детализация по факторам, которые в основном соответствуют критериям, применяемым в российских сетях при выборе режима заземления и закрепленным в стандартах предприятий;

для режима заземления нейтрали через индуктивное сопротивление систематизированы и приведены характеристики режимов заземления нейтрали — такие, как соотношения симметричных составляющих, процентное отношение тока замыкания на землю к току трехфазного КЗ, ожидаемые кратности перенапряжений;

представлен расчет коэффициентов заземления нейтрали и на его основе сформулированы области применения различных режимов ее заземления.

IEEE Std C62.92.4–2014

В стандарте IEEE Std C62.92.4–2014 изложены вопросы заземления нейтрали в электрических сетях общего назначения, в том числе в распределительных сетях:

основное внимание уделено устройству режимов эффективного заземления нейтрали, а также заземления через активное или индуктивное сопротивление. В этих режимах макси-

мальный ток замыкания на землю ограничивается до значения менее 60 % от тока трехфазного КЗ;

при заземлении нейтрали через низкоомное индуктивное сопротивление максимальный ток замыкания на землю ограничивается до значения менее 25 % от тока трехфазного КЗ;

организация релейной защиты показана в общем виде, отдельно для сетей с глухим/низкоомным заземлением нейтрали и для сетей с высокоомным заземлением/с изолированной нейтралью.

Однако нормы IEEE Std C62.92.4–2014 не соответствуют условиям эксплуатации российских электрических сетей, а сам документ не обладает требуемой степенью детализации и не отражает положений, которые могут быть включены в проект отраслевого стандарта в России.

IEC 60076–6:2007

В стандарте IEC 60076-6:2007 закреплены технические характеристики, основные параметры нагрева, уровни изоляции и методики испытаний реакторов различных видов (включая дугогасящие реакторы и нейтралеобразующие трансформаторы). Выбор мощности ДГР и нейтралеобразующих устройств не рассматривается. В справочном приложении к IEC 60076-6:2007 приведены сведения о параметрах и испытаниях низковольтных (шунтирующих) резисторов, подключаемых во вторичную обмотку ДГР.

IEEE Std C57.32–2015

Стандарт IEEE Std C57.32–2015 является пересмотром IEEE Std 32–1972, имеющего то же название. Каждому из устройств для организации заземления нейтрали (ДГР, резисторы, нейтралеобразующие трансформаторы) посвящен отдельный раздел, в котором приведена информация по номинальным характеристикам, условиям эксплуатации, уровням изоляции, предельным температурам эксплуатации, испытаниям (типовым, контрольным, высоковольтным).

Для заземления нейтрали за рубежом применяются низкоомные и, значительно реже, высокоомные резисторы. В основном резисторы выпускаются в соответствии с требованием стандарта IEEE Std C57.32–2015 (IEEE Std 32–1972). Конструктивно такие резисторы для заземления нейтрали зачастую изготавливаются в виде шкафов из нержавеющей стали со степенью защиты IP 23.

Особого внимания заслуживают следующие положения. Во-первых, для активной части резисторов, выпускаемых из жаростойкой нержавеющей стали разных марок, нормируется температурный коэффициент сопротивления, который не должен превышать $0,000263 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ в температурном диапазоне от $30 \text{ }^\circ\text{C}$ до $790 \text{ }^\circ\text{C}$. Это связано с тем, что суммарный ток при ОЗЗ с учетом активной составляющей должен быть достаточным для корректного срабатывания релейной защиты. Во-вторых, предельные перегревы выше температуры окружающей среды $30 \text{ }^\circ\text{C}$ на поверхности резистивного элемента в рабочем режиме при продолжительном времени работы и времени работы 10 мин не должны превышать $610 \text{ }^\circ\text{C}$, а при импульсном нагружении на 10, 30 или 60 с — $760 \text{ }^\circ\text{C}$.

Между тем, допустимые температуры нагрева токоведущих частей электрооборудования с номинальным напряжением выше 1000 В по ГОСТ 8024–90 составляют до $250 \text{ }^\circ\text{C}$ в зависимости от класса нагревостойкости изоляционных материалов; предельный кратковременный нагрев заземляющих проводников электроустановок выше 1000 В при КЗ по ПУЭ не должен превышать $400 \text{ }^\circ\text{C}$; наибольшая температура нагрева стальных проводников по ПУЭ не должна превышать $300 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$. Следовательно, возникает вопрос о правомерности применения резистивных установок из металлических сплавов в российских условиях.

Стандарты ГПО «Белэнерго»

Отдельно следует рассмотреть стандарты ГПО «Белэнерго» (Республика Беларусь) по компенсации емкостного тока (СО 09110.20.361–04 Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрической сети 6 – 35 кВ) и резистивному заземлению нейтрали (СТП 09110.20.187–09 Методические указания по заземлению нейтрали сетей 6 – 35 кВ Белорусской энергосистемы через резистор), которые были введены в действие в 2004 и 2009 гг.

На момент появления это были наиболее проработанные русскоязычные документы по режимам заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ. Стандарты охватывают большинство вопросов, связанных с выбором и расчетом параметров устройств для организации заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ через ДГР или резистор, за исключением технических требований к оборудованию заземления нейтрали и способов натурального измерения емкостных токов. Сведения по обеспечению электробезопасно-

сти в случае использования низкоомного резистора, представленные в СТП 09110.20.187–09, нельзя считать достаточными.

СО 09110.20.361–04 представляет собой переработанную версию РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070–87. Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6 – 35 кВ), где внесены дополнения и актуализированы отдельные нормы для сетей Белоруссии. В приложении представлена информация по выбору резисторов для высокоомного, низкоомного и комбинированного способов заземления нейтрали.

В СТП 09110.20.187–09 детализированы условия выбора и реализации высокоомного и низкоомного резистивного заземления нейтрали. Вариант подключения низковольтного резистора во вторичную обмотку ДГР при комбинированном заземлении нейтрали не рассматривается.

СО 09110.20.361–04 и СТП 09110.20.187–09 включают способы организации релейной защиты при высокоомном, низкоомном и комбинированном заземлении нейтрали, в том числе методики выбора уставок токовых защит.

Приведенная в этих стандартах информация частично устарела, требует доработки и актуализации. В ГПО «Белэнерго» рассматривается необходимость корректировки указанных документов с учетом наличия дополнительных технических решений в области режимов заземления нейтрали и появления новых усовершенствованных видов оборудования.

В настоящее время разработан и находится на финальной стадии сбора замечаний и согласования Стандарт ГПО «Белэнерго» — «Электрические сети 6 – 35 кВ. Резистивное и комбинированное заземление нейтрали. Методические указания по проектированию». Кроме того, в 2023 г. утверждён ГПО «Белэнерго» и введён в действие стандарт СТП 33240.20.171-23 «Методические указания по предотвращению феррорезонанса в распределительных устройствах напряжением 6 кВ и выше».

Таким образом, сведения, представленные в зарубежных стандартах IEEE и IEC, а также в стандартах ГПО «Белэнерго», до применения в отечественных условиях требуют доработки и актуализации с учетом сложившейся практики эксплуатации российских сетей 6 – 35 кВ и положений Технической политики Группы компаний ПАО «Российские сети».

Российская НТД по режимам заземления нейтрали, защите от дуговых перенапряжений, в том числе с разделами по резистивному заземлению нейтрали

Нормативно-техническое регулирование в отрасли реализовано на основе федерального закона «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ, а также созданных на основе многолетнего опыта правил (ПУЭ и ПТЭ), выполнение которых контролируется органами Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор).

Указания по режимам нейтрали сетей среднего класса напряжения и по защите от перенапряжений представлены в следующих общероссийских нормативных документах: ПУЭ 7 ред. (2003 г.); ПТЭ электрических станций и сетей РФ (2022 г.); РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070–87) «Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6 – 35 кВ»; РД 153-34.3-35.125–99 «Руководство по защите электрических сетей 6 – 1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений».

В области выбора режима заземления нейтрали руководствуются крайне сжатыми требованиями ПУЭ 7 ред. (2003 г., пп. 1.2.16, пп. 4.2.66), ПТЭ электрических станций и сетей РФ (2022 г., пп. 619 – 626), РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070–87) «Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6 – 35 кВ», РД 153-34.3-35.125–99 «Руководство по защите электрических сетей 6 – 1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений».

В 7-й редакции ПУЭ (2003 г.) уже указано: «Электрические сети 3 – 35 кВ должны работать с изолированной, заземленной через резистор или дугогасящий реактор нейтралью», а также приведены значения емкостных токов ОЗЗ, при которых должна применяться компенсация емкостного тока.

Как ПТЭ электроустановок потребителей, так и ПТЭ электрических станций и сетей были изменены в 2022 г.

С 6 марта 2023 г. действуют Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации, утвержденные приказом Минэнерго РФ от 04.10.2022 № 1070 и зарегистрированные в Минюсте РФ 06.12.2022 № 71384. Глава о защите от перенапряжений (XLII. Требования к эксплуатации защиты от перенапряжений) в данном документе значительно переработана.

на. Теперь в Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации указаны цели применения высокоомного и низкоомного резистивного заземления нейтрали, средств селективного определения присоединения или его участка с однофазным замыканием на землю, условия применения высокоомного и низкоомного резистивного заземления нейтрали, выбора сопротивления высокоомного резистивного заземления. Отмечено, что при наличии силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена следует применять низкоомное резистивное заземление. Также в данной главе присутствует значительное количество изменений и уточнений, касающихся применения различных режимов заземления нейтрали сетей среднего класса напряжения. Более подробный сравнительный анализ всех важнейших изменений планируется рассмотреть в отдельной статье.

В общеизвестном РД 153-34.3-35.125-99 «Руководство по защите электрических сетей 6 – 1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений» 1999 года помимо необходимости введения компенсации емкостного тока на землю уже тогда рекомендовалось заземление нейтрали через резистор для снижения дуговых и феррорезонансных перенапряжений (п. 5.3.3, п. 5.5).

Как при проектировании, так и в эксплуатации электроустановок до сих пор используются положения действующей типовой инструкции по компенсации РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87), которая в настоящее время перерабатывается.

Действующая редакция РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87), разработанная в 1987 г., содержит устаревшие и неполные сведения о выпускаемых ДГР и инструментальном обеспечении измерений, т.е. не отражает современного уровня развития техники в области компенсации емкостных токов ОЗЗ. В ней отсутствует информация о технических характеристиках современных нейтралеобразующих трансформаторов и фильтров, реакторов для компенсации емкостных токов и системах их автоматического управления, о схемных и конструктивных решениях совместного использования ДГР и силовых резисторов.

Переработка данного документа в группе компаний «Россети» осуществляется с 2015 г. Окончание работ и принятие нового переработанного документа в виде стандарта ПАО «Россети» было запланировано на 2023 год.

Помимо изложенного выше, применение резистивного и комбинированного заземления нейтрали регламентировано Положением ПАО «ФСК ЕЭС» (ПАО «Россети») «О единой технической политике в электросетевом комплексе», утвержденном Советом директоров Общества (протокол от 20.10.2022 № 592):

«2.1.2.5. В электрических схемах выбор режима заземления нейтрали электрических сетей напряжением 6 – 35 кВ должен определяться проектным решением, исходя из обеспечения надежной и безопасной эксплуатации электрооборудования и ЛЭП в режимах, связанных с замыканием одной из фаз электрической сети на землю, при этом:

в городских распределительных сетях 6 – 20 кВ, а также в пределах сельских территорий электрических сетей 35 кВ возможно применение низкоомного резистивного заземления нейтрали с автоматическим отключением замыканий на землю и 100 %ным резервированием потребителей при наличии ТЭО;

при внедрении резистивного заземления при реконструкции существующих электрических сетей напряжением 6 – 35 кВ необходимо согласование с действующими потребителями;

в электрических сетях с изолированной нейтралью в зависимости от протяженности и конструкции ЛЭП, условий по обеспечению электробезопасности и надежности электроснабжения следует рассматривать необходимость установки дугогасящих устройств или применение высокоомного резистивного или комбинированного заземления нейтрали;

в целях ограничения емкостного тока ОЗЗ необходимо обеспечивать гальваническую развязку участков распределительной сети, исходя из предельно допустимых токов ОЗЗ, определяемых с учетом применяемого на участке электрической сети режима заземления нейтрали.

3.1.4.6. Электрическая сеть напряжением 20 кВ мегаполиса, как правило, должна проектироваться с применением низкоомного резистивного заземления нейтрали с автоматическим отключением замыканий на землю».

Кроме общероссийских документов в зависимости от региона и эксплуатационной принадлежности объекта используются нормы стандартов организаций (СТО, СТП).

Необходимость разработки стандартов предприятий возникла в силу отсутствия полноценного единого для всей энергетической отрасли нормативного документа, охватывающего проблему выбора режима нейтрали и защиты от перенапряжений.

С 2006 г. рядом российских электросетевых организаций и промышленных предприятий, например ПАО «Ленэнерго», «МРСК Волги», «МРСК Сибири», «МРСК Центра», АО «ОЭК», ПАО «МОЭСК» («Россети Московский регион»), ПАО «Газпром», ПАО «Лукойл», были разработаны и введены в действие локальные НТД по части выбора режима заземления нейтрали в сетях 6 – 35 кВ:

СТП-МРСК-64-723.01-09 ПАО «МРСК Волги». Выбор режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6, 10, 35 кВ филиалов ОАО «МРСК Волги»;

СО 2.069/0-ЛУ ПАО «МРСК Сибири». Выбор режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6, 10, 35 кВ;

СТО БП 11/03-01/2016. «Выбор режимов заземления нейтрали электрических сетей напряжением 6 – 35 кВ ПАО «МРСК Центра» (утвержден Приказом ПАО «МРСК Центра» №102-ЦА от 07.07.2016);

СТО 18-2013 ПАО «Ленэнерго». Руководящие указания по выбору режима заземления нейтрали в кабельных электрических сетях напряжением 6 – 35 кВ (утвержден Приказом ОАО «Ленэнерго» №334 от 25.06.2013);

Регламент АО «Объединенная энергетическая компания». Регламент по способам подключения, обслуживанию и ремонту устройств заземления нейтрали электрических сетей 20 кВ;

СТО Газпром 2-1.11-070-2006. Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ дочерних обществ и организаций ОАО «Газпром»;

РД-13.260.002-КТН-166-08 АО «АК «Транснефть». Технические решения на систему защиты электрооборудования ЗРУ 6 – 10 кВ НПС и линейной части МН от перенапряжений при замыканиях на землю в сетях 6 – 10 кВ;

Методические указания Россети Московский регион (ПАО «МОЭСК»). Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях 6 – 35 кВ» (утверждены распоряжением ПАО МОЭСК от 27.04.2018

№ 397р, распоряжением ПАО «Россети Московский регион» № 475р от 18.05.2021);

СТО ЛУКОЙЛ 1.20.11-2018 ПАО «ЛУКОЙЛ». Выбор режима заземления нейтрали в электрических сетях напряжением 6 – 35 кВ в организациях Группы «ЛУКОЙЛ». Основные положения и требования.

Эти документы отличаются степенью актуализации и глубиной проработки и в ряде случаев содержат требования к отдельным режимам заземления нейтрали с учетом специфики их применения.

При проектировании электросетевых объектов зачастую (помимо отраслевых стандартов и СНиП) применяются нормы ряда специализированных документов ПАО «Российские сети» (СТО 56947007-29.240.10.028-2009 «Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35 – 750 кВ (НТП ПС)», СТО 56947007-29.240.10.191-2014 «Методические указания по защите от резонансных повышений напряжения в электроустановках 6 – 750 кВ», СТО 34.01-3.1-002-2016 «Типовые технические решения подстанций 6 – 110 кВ» и др.). Также используются положения СТО Газпром 2-1.11-070-2006 по выбору режима нейтрали (при том, что последний стандарт разработан для газовой отрасли).

В большинстве стандартов указания по расчету и выбору устройств для компенсации емкостного тока и нейтралеобразующих трансформаторов (фильтров) отсутствуют либо даны в виде ссылок на СО 153-34.20.501-2003 (ПТЭ электрических станций и сетей РФ) и РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87), не рассматривается возможность применения выпускаемых сегодня промышленностью статических аппаратов с конденсаторным управлением и дугогасящих агрегатов с сухой и масляной изоляцией. Также отсутствуют либо приведены в недостаточном объеме и разрозненном виде технические требования к силовому оборудованию для заземления нейтрали.

Ряд основных необходимых технических требований к ДГР с плавным регулированием, автоматическим регуляторам ДГР, высокоомным и низкоомным резисторам представлены в стандартах ПАО «МРСК Центра», ПАО «Ленэнерго», ПАО «Россети Московский регион» (МОЭСК), ПАО «ЛУКОЙЛ».

В качестве примера может быть приведен один из последних по дате разработки стандарт ПАО «МОЭСК» «Методические указания по выбору режима заземления нейтрали в сетях 6 – 35 кВ» 2018 г. В данном стандарте присутствует в достаточно широком объеме вся необходимая информация для выбора оптимального режима заземления нейтрали:

методология применения различных режимов нейтрали и принципы защиты от перенапряжений;

критерии выбора типа резистивного заземления нейтрали;

выбор и реализация высокоомного, низкоомного комбинированного заземления нейтрали;

выбор нейтралеобразующих устройств для подключения низкоомных резисторов, высокоомных резисторов и ДГР;

схемы включения дугогасящих реакторов и резисторов в нейтраль сети;

технические требования к силовому оборудованию для заземления нейтрали и автоматике управления устройствами компенсации ёмкостного тока;

принципы организации релейной защиты от замыканий на землю в сетях с различными режимами заземления нейтрали;

необходимые Приложения о способах натурного измерения тока замыкания на землю в сетях 6 – 35 кВ, технических характеристиках нейтралеобразующих устройств, резисторов для заземления нейтрали, плунжерных дугогасящих реакторов для заземления нейтрали, рекомендациях по организации релейной защиты от замыканий на землю при резистивном заземлении нейтрали и выбору уставок релейных защит в сетях с резистивным заземлением нейтрали.

Выводы

1. Сегодня в проектной и эксплуатационной практике активно применяются современные технические решения по заземлению нейтрали (новые разработки оборудования, конструктивно-конструкторские решения, схемы включения) с применением высокоомных и низкоомных резисторов заземления.

2. Разработано и введено большое количество стандартов предприятий различной сте-

пени проработанности по режимам заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ. В стандартах ПАО «Ленэнерго», «Россети Московский регион» (ПАО «МОЭСК»), ПАО «ЛУКОЙЛ» присутствует необходимая информация для выбора оптимального режима заземления нейтрали с учетом особенностей сетей 6 – 35 кВ электро-сетевых объектов и предприятий.

3. Несмотря на широкий спектр отечественных стандартов предприятий сохраняется потребность в разработке *единого стандарта ПАО «Россети»* в области режимов заземления нейтрали и ограничения перенапряжений с нормами, требованиями и критериями по расчету, выбору, обоснованию и составу оборудования для оптимального заземления нейтрали сетей 6 – 35 кВ сетевых предприятий.

Список литературы

1. Телегин, А. В. Проблематика замыканий на землю и режим заземления нейтрали в сетях среднего напряжения стран Европы и Америки / А. В. Телегин, А. И. Ширковец // Релейная защита и автоматизация. – 2012. – № 3. – С. 30–39.
2. Winter, Klaus M. The RCC (Residual Current Compensation) Ground Fault Neutralizer – a Novel Scheme for Fast Earth-Fault Protection / Klaus M. Winter // CIREN, 18th International Conference on Electricity Distribution, Turin, Italy, June 6 – 9, 2005. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5427849&filter=AND\(p Publication Number:5422055\)](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5427849&filter=AND(p%20Publication%20Number%3A5422055)), дата обращения — 15.03.2016.
3. Кадомская, К. П. Перенапряжения в электрических сетях различного назначения и защита от них: Учебник / К. П. Кадомская, Ю. А. Лавров, А. А. Рейхердт. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. — 368 с.
4. Халилов, Ф. Х. Защита сетей 6 — 35 кВ от перенапряжений / Ф. Х. Халилов, Г. А. Евдокунин, В. С. Поляков и др.; Под ред. Ф. Х. Халилова, Г. А. Евдокунина, А. И. Таджибаева. — СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отд., 2002. — 272 с.
5. Лихачев, Ф. А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов / Ф. А. Лихачев. — М.: Энергия, 1971. — 152 с.
6. Емельянов, Н. И. Средства и методы ограничения внутренних перенапряжений в сетях 6 – 35 кВ / Н. И. Емельянов, М. В. Ильиных, Л. И. Сарин // Энергетик. — 2011. — № 10. — С. 6 – 10.

References

1. **Telegin A. V., Shirkovets A. I.** *Releinaya zashchita i avtomatizatsiya* (Relay protection and automation), 2012, No. 3, pp. 30 – 39.
2. **Winter Klaus M.** The RCC (Residual Current Compensation) Ground Fault Neutralizer – a Novel Scheme for Fast Earth-Fault Protection, CIGRE, 18th International Conference on Electricity Distribution, Turin, Italy, June 6 – 9, 2005. [Electronic resource]. — URL: [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5427849&filter=AND\(p_Publication_Number:5422055\)](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=5427849&filter=AND(p_Publication_Number:5422055)) (accessed: 15.03.2016).
3. **Kadomskaya K. P., Lavrov Yu. A., Reicherdt A. A.** *Perenapryazheniya v elektricheskikh setyakh razlichnogo naznacheniya i zashchita ot nikh* (Overvoltage in electrical networks for various purposes and protection against them), Novosibirsk, Publ. NSTU, 2004, 368 p.
4. **Khalilov F. Kh., Evdokunin G. A., Polyakov V. S.** *Zashchita setei 6 – 35 kV ot perenapryazhenii* (Protection of networks 6 – 35 kV from overvoltage), St. Petersburg, Energoatomizdat, St. Petersburg department, 2002, 272 p.
5. **Likhachev F. A.** *Zamykaniya na zemlyu v setyakh s izolirovannoi neutral'yu i s kompensatsiei emkostnykh tokov* (Ground faults in networks with isolated neutral and compensation of capacitive currents), Moscow, Energy, 1971, 152 p.
6. **Emelyanov N. I., Ilinykh M. V., Sarin L. I.** *Energetik* (Energetik), 2011, No. 10, pp. 6 – 10.

eng@pnpbolid.com

Russian and international standards on the neutral grounding modes for distribution networks and overvoltage protection against arcing ground faults

Ilinykh M. V., Telegin A. V.

The importance of choosing the neutral grounding mode for 6 – 35 kV networks, the danger of single phase-to-ground faults, the general neutral grounding modes for medium voltage networks, the advantages of neutral grounding through resistors are demonstrated. The results of reviewing the regulatory and technical documentation accepted in Russia and abroad for the organization of the efficient, reliable and safe operation of electrical networks with different methods of neutral grounding are presented. It is shown that international IEEE and IEC standards focus on the general provisions, scope and methods of testing and measuring the parameters of neutral grounding devices connected to the neutral point of the system. These documents, in the absence of the GOST R status, are advisory in nature and require updating for their application under Russian conditions. It was noted that local company standards have been introduced in 2004 – 2022 and used in the organizations of Rosseti Group PJSC, United Energy Company JSC, some oil and gas companies, as well as in the State Production Association Belenergo. These standards include, with a different degree of sophistication and detail, conditions, norms and requirements for capacitance current compensation, resistance grounding, as well as the methodology for applying the neutral grounding modes and the principles for arranging ground fault relay protection. Despite this, there is still a need for developing a unified standard of Rosseti PJSC in the field of neutral grounding modes and overvoltage protection against arcing ground faults, including norms, requirements and criteria for the calculation, selection, justification and composition of power equipment for optimal neutral grounding of 6 – 35 kV networks of electricity enterprises.

Keywords: standard documentation, technical standard documentation, company standard, neutral grounding, 6 – 35 kV electrical networks, ground fault, overvoltages, technical requirements.