

На правах рукописи

Дмитриев Михаил Викторович

Методика выбора ОПН для защиты оборудования сетей 110 – 750 кВ
от грозových и внутренних перенапряжений

Специальность: 05.14.02 – Электростанции и электроэнергетические системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2006

Работа выполнена на кафедре "Электрические системы и сети" в ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский Государственный политехнический университет".

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Евдокунин Георгий Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Халилов Фирудин Халилович
кандидат технических наук
Титенков Сергей Станиславич

Ведущая организация: ОАО "ФСК ЕЭС" – МЭС Северо-Запада,
г. Санкт-Петербург.

Защита состоится « » 2006 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета К212.229.02 при ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский Государственный политехнический университет" по адресу: 195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке ГОУ ВПО "Санкт-Петербургский Государственный политехнический университет".

Автореферат разослан « » 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
к.т.н., доцент

Попов М.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

В процессе эксплуатации изоляция оборудования подстанций (ПС) подвергается воздействию рабочего напряжения, а также различных видов перенапряжений. Наиболее распространенными защитными аппаратами (ЗА), обеспечивающими ограничение грозовых и коммутационных перенапряжений, являются вентильные разрядники (РВ) и нелинейные ограничители перенапряжений (ОПН). При построении или модернизации уже существующих схем защиты от перенапряжений оборудования ПС с помощью ОПН и РВ необходимо решать две основные тесно связанные друг с другом задачи:

- выбор числа, мест установки и характеристик ЗА, которые обеспечат надежную защиту изоляции от грозовых и коммутационных перенапряжений;
- обеспечение надежной работы самих ЗА при квазистационарных перенапряжениях, для ограничения которых они не предназначены.

Защитные свойства РВ и ОПН основаны на нелинейности вольтамперной характеристики их рабочих элементов, обеспечивающей заметное снижение сопротивления при повышенных напряжениях и возврат в исходное состояние после снижения напряжения до нормального рабочего. Низкая нелинейность вольтамперной характеристики рабочих элементов в разрядниках не позволяла обеспечить одновременно и достаточно глубокое ограничение перенапряжений, и малый ток проводимости при воздействии рабочего напряжения, от воздействия которого удалось отстроиться за счет введения последовательно с нелинейным элементом искровых промежутков. Значительно большая нелинейность окисно-цинковых сопротивлений (варисторов) ограничителей перенапряжений ОПН позволила отказаться от использования в их конструкции искровых промежутков, т.е. нелинейные элементы ОПН находятся под действием рабочего напряжения сети в течение всего срока своей службы.

В настоящее время вентильные разрядники практически сняты с производства и в большинстве случаев отслужили свой нормативный срок службы, хотя по-прежнему находятся в эксплуатации. Построение схем защиты изоляции оборудования как новых, так и модернизируемых подстанций от грозовых и коммутационных перенапряжений теперь оказывается возможным только с использованием ОПН.

Идентичность функционального назначения РВ и ОПН и кажущаяся простота конструкции последнего часто приводят к тому, что замену разрядников на ограничители перенапряжений проводят без проверки допустимости воздействий на устанавливаемый ОПН и эффективности его использования в рассматриваемой точке сети. Вместе с тем типовые схемы защиты изоляции оборудования от перенапряжений и характеристики защитных аппаратов были разработаны несколько десятилетий назад с использованием упрощенных расчетных моделей, так как возможности вычислительной техники были весьма ограничены.

Развитие компьютерной техники и специализированного программного обеспечения позволяют на новом уровне проводить расчеты переходных процессов в электрических сетях для оптимизации схем защиты изоляции оборудования от перенапряжений и обоснованного выбора основных характеристик защитных аппаратов.

Несмотря на возможности моделирования и расчетов переходных процессов, в России до сих пор широко используют наработки многолетней давности, чему способствует отсутствие простых в использовании и достаточно обоснованных современных методик расчета различных видов перенапряжений. Сложившийся в России недостаток современных нормативных документов и методик расчета в области защиты изоляции оборудования от перенапряжений усугубляется массовым внедрением в энергетику страны защитных аппаратов типа ОПН, при использовании которых зачастую некорректно решаются задачи по выбору основных характеристик ОПН, их числа и мест установки, что является причиной повышенной

аварийности как защищаемого оборудования, так и самих ОПН. Поэтому рассмотрение вопросов, связанных с применением ОПН, является актуальным.

Цель работы.

Обоснование принципов выбора основных характеристик защитных аппаратов типа ОПН и схемы их расстановки для наиболее эффективной защиты оборудования электрических сетей от грозových и коммутационных перенапряжений.

Основные решаемые задачи:

- разработка методических подходов к защите оборудования от грозových и коммутационных перенапряжений;
- выбор и обоснование моделей для расчетов перенапряжений в электрических сетях и требуемых характеристик ОПН;
- поиск наиболее эффективных схем расстановки защитных аппаратов.

Методика проведения исследований.

Основные результаты работы получены путем исследования переходных процессов в электрических сетях на аналитических и компьютерных моделях. При построении, выборе и обосновании моделей использовались общая теория функционирования электроэнергетических систем, теория электромагнитных переходных процессов, теория волновых процессов в цепях с распределенными параметрами. Расчеты в сложных схемах проводились с использованием программного комплекса ЕМТР (Electromagnetic Transients Program).

Научная новизна:

- предложен и опробован метод статистических испытаний для оценки защищенности изоляции оборудования распределительных устройств (РУ) 110-750 кВ подстанций от грозových перенапряжений и выбора основных технических характеристик ОПН;
- предложены и обоснованы аналитическими выкладками и исследованиями на компьютерных моделях методические подходы к выбору параметров эквивалентных схем энергосистем для расчета коммутационных

перенапряжений на оборудовании ПС 110-750 кВ, а также токовых и энергетических нагрузок на ОПН;

- показан механизм возникновения внутренних перенапряжений в блочных передачах 110-750 кВ и даны рекомендации по снижению перенапряжений до безопасных для ОПН и изоляции оборудования уровней;
- предложен и опробован метод статистических испытаний для оценки защищенности изоляции воздушных линий (ВЛ) 110-750 кВ от грозových перенапряжений и выбора основных технических характеристик ОПН.

Практическая ценность:

- показано, что в большинстве случаев, за исключением нескольких отдельно оговоренных, в проведении расчетов перенапряжений нет особой необходимости, а выбор схемы защиты оборудования с помощью ОПН 110-750 кВ может быть произведен упрощенно;
- приведены характеристики ОПН, обеспечивающие, за исключением нескольких отдельно оговоренных случаев, надежную защиту оборудования РУ 110-750 кВ от грозových и коммутационных перенапряжений;
- пояснены рекомендации по широкому применению ограничителей перенапряжений в линейных ячейках присоединенных ВЛ 110-750 кВ как универсального средства, позволяющего наиболее надежно защитить оборудование ПС от грозových и коммутационных перенапряжений;
- расчетами проиллюстрированы рекомендации по защите изоляции ВЛ 110-750 кВ от грозových перенапряжений при помощи ОПН, устанавливаемых на опорах, а также рекомендации по выбору схемы расстановки этих аппаратов на опорах линии.

Основные положения, выносимые на защиту:

- оценка защищенности изоляции оборудования РУ 110-750 кВ подстанций от грозových перенапряжений с использованием программного комплекса ЕМТР;
- обоснование необходимости корректировки по условиям защиты от грозových перенапряжений требований ПУЭ седьмой редакции в части

предельно допустимых расстояний от оборудования ПС до защитных аппаратов;

- методические подходы к выбору параметров эквивалентных схем энергосистем для расчета коммутационных перенапряжений на оборудовании ПС;
- применение ограничителей перенапряжений в линейных ячейках присоединенных ВЛ 110-750 кВ как универсального средства, позволяющего наиболее надежно защитить оборудование ПС от грозовых и коммутационных перенапряжений;
- расчет грозовых перенапряжений на изоляции разземленной нейтрали, а также импульсных токов в ОПН, устанавливаемых в нейтраль;
- выбор характеристик ОПН для использования в блочных передачах;
- оценка защищенности изоляции ВЛ от грозовых перенапряжений и выбор основных технических характеристик ОПН с использованием программного комплекса ЕМТР.

Апробация работы.

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международной научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», проходившей в Санкт-Петербурге 5-10 декабря 2005 г.

Реализация результатов работы.

Основные результаты проведенных диссертантом исследований использованы при выполнении целевой программы ОАО «ФСК ЕЭС» по замене вентильных разрядников на ограничители перенапряжений на подстанциях в 2005 г., в рамках которой были проведены расчеты перенапряжений более чем в семидесяти РУ 110-750 кВ на 35 подстанциях.

Публикации.

Результаты выполненных исследований опубликованы в 9 печатных работах, в том числе в четырех статьях и пяти докладах на международных конференциях.

Структура работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемой литературы из 68 наименований. Работа изложена на 248 страницах, содержит 137 рисунков и 32 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы её цель и основные задачи, отмечена её научная новизна и практическая значимость.

В первой главе приведены результаты расчетов грозовых перенапряжений на оборудовании подстанций с использованием известного канадско-американского программного комплекса EMTP, дополненного диссертантом рядом специализированных модулей, позволяющих учесть вольт-секундную характеристику изоляции, импульсную корону на проводах ВЛ, статистический характер параметров импульса тока молнии. Расширенный дополнительными модулями программный комплекс EMTP позволяет проводить расчеты грозовых перенапряжений на подстанциях при подробном моделировании процессов в РУ совместно с процессами в присоединенной ВЛ, для которой рассматривается поражение молнией. Таким образом, разработанная на базе EMTP компьютерная модель для анализа грозовых перенапряжений состоит из модели открытого распределительного устройства подстанции и моделей присоединенных воздушных линий электропередачи. Результатом расчетов грозовых перенапряжений с использованием разработанной модели являются представленные графически зависимости кратности перенапряжений на каждом из элементов РУ ПС от вероятности их появления. Полученные зависимости позволяют оценить защищенность оборудования от грозовых перенапряжений.

Использование программного комплекса ЕМТР, адаптированного диссертантом к расчету грозových перенапряжений на оборудовании ПС, позволило выявить необходимость корректировки требований ПУЭ седьмой редакции в части предельно допустимых расстояний от защитных аппаратов до оборудования РУ ПС.

Во второй главе упрощенно аналитически и при подробном компьютерном моделировании процессов оценены необходимые в режиме ограничения коммутационных перенапряжений токовые и энергетические характеристики ОПН, сформулированы требования по остающемуся на ОПН напряжению. Согласно исследованиям, наибольшие коммутационные перенапряжения возникают на разомкнутом конце односторонне питаемых ВЛ 110-750 кВ, и, следовательно, наибольшие токовые и энергетические нагрузки на ОПН возникают при их установке на ВЛ 110-750 кВ. Поэтому при анализе коммутационных перенапряжений в сетях основное внимание уделено коммутациям ВЛ 110-750 кВ, а особое внимание – сетям 500-750 кВ, в которых рассмотрен вопрос о необходимости установки и характеристиках ОПН 500-750 кВ линейных ячеек. Проведены расчеты выделяющихся в ОПН энергий при их установке на ВЛ и, кроме того:

- систематизированы подходы к выбору расчетных схем и схемно-режимных ситуаций, определяющих максимальные требования к ОПН по току пропускной способности и удельной энергии;
- указаны факторы, учет которых является важным при расчетах коммутационных перенапряжений и нагрузок на ОПН;
- показано, что практически для всех сетей 330-750 кВ для обеспечения надежной работы оборудования ПС необходима установка ОПН в линейные ячейки;
- сопоставлены с рекомендациями МЭК результаты расчетов тока пропускной способности и удельной энергоемкости ОПН 110-750 кВ.

В третьей главе с использованием составленных схем замещения силового трансформатора проведен аналитический и компьютерный анализ

грозовых перенапряжений на разземленной нейтрали, результаты которого удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Кроме того, определены максимальные значения и форма импульсных токов в ОПН-Н при грозовых перенапряжениях, что позволило пояснить требования к основным техническим характеристикам этих защитных аппаратов.

В четвертой главе основное внимание уделено теоретическому обоснованию механизма возникновения в блочной передаче опасных для оборудования внутренних перенапряжений. На примерах блочной передачи 750/500 кВ и блочной передачи 110 кВ при помощи простых аналитических выкладок показан механизм возникновения опасных для ОПН квазистационарных перенапряжений, приведены результаты компьютерных расчетов с использованием программного комплекса ЕМТР. Кроме того, указаны способы снижения квазистационарных перенапряжений и наглядно пояснена их эффективность, приведены рекомендации по выбору основных технических характеристик ОПН для установки в блочные передачи.

В пятой главе представлены как упрощенные, так и полные модели для анализа грозовых перенапряжений на ВЛ; показано влияние различных факторов на грозоупорность ВЛ при ударах молнии в грозозащитные тросы, опоры ВЛ и фазные провода. Рассмотрена защита от грозовых перенапряжений изоляции ВЛ с помощью ОПН, а также предложены методические подходы к выбору их характеристик и схем расстановки на опорах с учетом влияющих конструктивных особенностей ВЛ.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

На основе анализа научно-технических публикаций, отечественных и зарубежных нормативных документов, посвященных вопросам защиты оборудования электрических сетей от грозовых и коммутационных перенапряжений, а также на основе расчетов, проведенных аналитически и при помощи разработанных компьютерных моделей:

- ✓ предложен и опробован не использовавшийся ранее для выработки основ грозозащиты метод статистических испытаний, позволяющий оценить защищенность изоляции оборудования РУ 110-750 кВ подстанций от грозовых перенапряжений; с целью практической реализации предложенного подхода разработаны необходимые программные модули для комплекса ЕМТР; на основе проведенных на таких моделях исследований обоснована необходимость корректировки ПУЭ седьмой редакции в части схемы защиты изоляции оборудования разных классов напряжения от грозовых перенапряжений;
- ✓ предложены и обоснованы методические подходы к выбору параметров эквивалентных схем энергосистем для расчета коммутационных перенапряжений на оборудовании ПС, в основе которых лежит принцип защиты оборудования от максимально возможных перенапряжений в данной энергосистеме; показано существенное упрощение процедуры определения требуемых характеристик ОПН при таком подходе, а также снижение риска принятия ошибочных решений из-за некорректного выбора параметров в эквивалентной расчетной схеме энергосистемы; приведены практические примеры реализации предложенных подходов;
- ✓ пояснены рекомендации по широкому применению ограничителей перенапряжений в линейных ячейках присоединенных ВЛ как универсального средства, позволяющего наиболее надежно защитить оборудование ПС от грозовых и коммутационных перенапряжений;
- ✓ составлены расчетные схемы замещения силового трансформатора, с использованием которых проведен анализ передачи грозовых волн через трансформатор в разземленную нейтраль; даны оценки кратностям и форме импульсов грозовых перенапряжений на изоляции разземленной нейтрали силовых трансформаторов 110-220 кВ; расчетным путем определены предельные параметры импульсных токов в ОПН-Н и перенапряжений в разземленных нейтралях, а также требуемые характеристики ОПН-Н для защиты изоляции нейтралей;

- ✓ составлены расчетные схемы замещения блочных передач, в которых проведен анализ внутренних перенапряжений, представляющих опасность для оборудования и, прежде всего, для ОПН; предложены меры повышения надежности работы ОПН в блочных передачах 110-750 кВ и основные характеристики таких ОПН;
- ✓ даны физические основы переходных процессов, происходящих в ВЛ 110-750 кВ, изоляция которой защищена при помощи ОПН подвешенного исполнения; предложен и опробован в ЕМТР метод статистических испытаний для оценки защищенности изоляции ВЛ от грозových перенапряжений и выбора основных технических характеристик ОПН; даны обобщающие выводы относительно влияния конструктивных особенностей ВЛ 110-750 кВ и сопротивлений заземления опор на схему расстановки аппаратов на опоре и вдоль трассы линии, а также на основные характеристики ОПН, что может быть положено в основу соответствующих методических указаний по применению подвесных аппаратов для повышения грозоупорности ВЛ.

Результаты приведенных в работе исследований позволяют сформулировать основные положения методических подходов к выбору технических характеристик и схем расстановки ОПН в сетях напряжением 110-750 кВ:

1. Для корректного выбора характеристик ОПН 110-750 кВ в обязательном порядке необходимо проведение расчетов:
 - внутренних перенапряжений на подстанциях, к которым присоединены ВЛ 500-750 кВ длиной более 200-300 км;
 - внутренних перенапряжений на подстанциях 110-750 кВ, на которых у силовых трансформаторов и автотрансформаторов не установлены выключатели на стороне высокого напряжения (в блочных схемах); на практике следует избегать таких схем как потенциально опасных для оборудования с точки зрения возникающих перенапряжений, что снимет необходимость проведения расчетов;

- грозовых перенапряжений на ВЛ 110-750 кВ, не обладающих достаточной грозоупорностью, с целью определения необходимости установки ОПН, числа и мест их первоочередного размещения, выбора типа ОПН и основных его характеристик.

В остальных случаях в проведении расчетов перенапряжений нет особой необходимости, и выбор схемы защиты оборудования может быть произведен упрощенно.

2. Для выбора схемы защиты оборудования ПС от грозовых перенапряжений можно использовать требования ПУЭ седьмой редакции к расстояниям от защитных аппаратов до оборудования и длине защищенного тросами подхода ВЛ, скорректировав их следующим образом:

- при замене разрядников на ОПН допускается пересчитывать расстояния только до силовых трансформаторов и автотрансформаторов;
- недопустим пересчет расстояний до наиболее удаленного оборудования РУ (оборудования линейных ячеек), расположенного по ходу набегающих с присоединенных ВЛ грозовых волн до защитного аппарата (РВ или ОПН);
- в случае повышенных (более 20 Ом) сопротивлений заземления опор ВЛ 110-330 кВ на походах к ПС необходимо устанавливать дополнительные ОПН 110-330 кВ, размещаемые в линейные ячейки ВЛ или на сборные шины ПС;
- рекомендуется ограничить расстояния от защитных аппаратов до удаленного оборудования при большом числе присоединенных ВЛ 110, 150, 220 кВ;
- наиболее надежную защиту от грозовых перенапряжений оборудования РУ обеспечивают схемы, в которых в линейных ячейках присоединенных ВЛ установлены ОПН;
- допускается уменьшать длину защищенного тросового подхода ВЛ в случае установки ОПН в ее линейную ячейку.

3. Для выбора схемы защиты оборудования ПС от коммутационных перенапряжений достаточно использовать требования ПУЭ седьмой редакции к местам установки защитных аппаратов, дополнив их следующим образом: установка ОПН на присоединенные к подстанции ВЛ по условиям защиты оборудования от коммутационных перенапряжений
- не требуется в сетях 110-220 кВ;
 - обязательна для сетей 330-750 кВ.
4. Основные характеристики ОПН за исключением случаев, указанных в п.1, допустимо определять упрощенно:
- в режиме ограничения грозовых перенапряжений (импульс тока 8/20 мкс амплитудой 10 кА для сетей 110-330 кВ и 20 кА для сетей 500-750 кВ) остающееся напряжение на ОПН, защищающем трансформатор или автотрансформатор, определяется по формуле ПУЭ седьмой редакции в зависимости от расстояния до защищаемого трансформатора или автотрансформатора;
 - в режиме ограничения грозовых перенапряжений остающееся напряжение на ОПН, установленном в линейную ячейку или на сборные шины, может быть принято таким же, как для ОПН, защищающем в этом РУ изоляцию трансформатора или автотрансформатора;
 - в режиме ограничения коммутационных перенапряжений (импульс тока 30/60 мкс амплитудой 500 А для сетей 110-220 кВ и амплитудой 1000 А для сетей 330-750 кВ) остающееся напряжение на ОПН, установленных в РУ, должно быть на 15-20% ниже, чем испытательное напряжение защищаемого оборудования коммутационным импульсом по ГОСТ 1516.3-96;
 - наибольшее рабочее напряжение ОПН принимается на 2-3% выше наибольшего рабочего напряжения сети, в которую он устанавливается;
 - характеристика «напряжение-время» ОПН принимается типовой – допустимо воздействие напряжение промышленной частоты кратности не

- менее 1.25 (по отношению к наибольшему рабочему напряжению ОПН) в течение 10 сек;
- номинальный разрядный ток (импульс 8/20 мкс) для сетей 110-330 кВ принимается равным 10 кА, а для сетей 500-750 кВ равным 20 кА;
 - амплитуда импульса большого тока (импульс 4/10 мкс) для сетей 110-220 кВ принимается равной 65(100) кА, для сетей 330-750 кВ равной 100 кА;
 - удельная энергия ОПН (приведенная к наибольшему рабочему напряжению), установленного на присоединенную к подстанции ВЛ (при длине менее 200-300 км), при протекании по нему одного импульса тока прямоугольной формы длительностью 2000 мкс зависит от длины ВЛ, но не должна быть меньше значений, обусловленных надежной работой ОПН в режиме рассеивания энергии грозových перенапряжений: в сетях 110, 220, 330, 500, 750 кВ соответственно 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 кДж/кВ;
 - удельная энергия ОПН (приведенная к наибольшему рабочему напряжению), установленного у трансформатора, автотрансформатора или на сборных шинах, при протекании по нему одного импульса тока прямоугольной формы длительностью 2000 мкс практически не зависит от длины присоединенных к подстанции ВЛ и должна быть не меньше значений, обусловленных надежной работой ОПН в режиме рассеивания энергии грозových перенапряжений: в сетях 110, 220, 330, 500, 750 кВ соответственно 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0 кДж/кВ;
 - основные характеристики ОПН-Н, предназначенных для защиты изоляции разземляемой нейтрали силовых трансформаторов 110-220 кВ, определены в диссертации и соответствуют данным «Руководства по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений» (под научной редакцией Н.Н.Тиходеева. –2-е изд. – СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. –355 с.).

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Максимальные кратности грозовых перенапряжений на подстанции//Известия РАН: Энергетика. –2004. –№2. – с.108-116.
2. Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. Параметры разряда молнии в задачах грозозащиты//Известия РАН: Энергетика». –2005. –№4. –с.54-61.
3. Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. Защита оборудования подстанций 110-750 кВ от перенапряжений//Новости Электротехники. –2004. –№6(30). –с.42-45.
4. Дмитриев М.В. Оценка защищенности оборудования подстанций от грозовых перенапряжений и анализ требований ПУЭ в части расстановки защитных аппаратов//Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», 5-10 декабря 2005. –СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. –с.182-191.
5. Бойко А.А., Дмитриев М.В., Дмитриев В.Л. Расчет коммутационных перенапряжений в сетях 500-750 кВ и выбор некоторых параметров ОПН, защищающих оборудование ПС//Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», 5-10 декабря 2005. –СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. –с.71-75.
6. Дмитриев М.В. Квазистационарные перенапряжения в блочной передаче 500 кВ и выбор технических характеристик ОПН//Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», 5-10 декабря 2005. –СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. –с.43-53.
7. Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. Использование ограничителей перенапряжений для защиты изоляции ВЛ от обратных перекрытий при ударах молнии в опору или грозозащитный трос//Сборник докладов научно-

технической конференции “Интеграция науки и производства”: Доклад 3.06.
–М., 26-27 мая 2004.

8. Дмитриев В.Л., Дмитриев М.В. Подвесные ОПН для защиты изоляции ВЛ//Энергетик. –2005. –№3. –с.21-25.
9. Дмитриев М.В., Евдокунин Г.А. Применение ОПН для защиты изоляции воздушных линий от грозových перенапряжений//Сборник докладов научно-технической конференции «Нелинейные ограничители перенапряжений: производство, технические требования, методы испытаний, опыт эксплуатации, контроль состояния», 5-10 декабря 2005. –СПб.: Изд-во ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 2005. –с.86-94.