**Мозгалев Константин Валерьевич. Оценка эффективности ограничения токов короткого замыкания в сетях 110-500 кВ энергосистемы : Дис. ... канд. техн. наук : 05.14.02 Москва, 2005 126 с. РГБ ОД, 61:06-5/371**

МОСКОВСКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Мозгалев Константин Валерьевич

На правах рукописи

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ 110-500 кВ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

05.14.02 - Электростанции и электроэнергетические системы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук



Научный руководитель доктор технических наук Шунтов А.В.

Москва, 2005 г.

Оглавление

Стр.

ВВЕДЕНИЕ 4

*Глава первая.* АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОГРАНИЧЕНИЯ

I\*

ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ 12

1. Постановка задачи 12
2. Анализ эффективности методов ограничения токов короткого замы­кания 14
3. Анализ эффективности средств ограничения токов короткого замы­® кания 18
4. Выводы 19

*Глава вторая.* ВЫБОР МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНО­\* СТИ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ 22

1. Постановка задачи 22
2. Модель электрической сети при расчетах токов короткого замыка­ния 24
3. Модель электрической сети при расчетах установившегося режима.. 30
4. Методика обработки статистических данных 32

*ф* 2.5. Технико-экономические критерии принятия решений 35

1. Выводы 50

*Глава третья.* ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАНИЧЕНИЯ \* ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА

СТРУКТУРУ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 52

1. Постановка задачи 52
2. Опыт использования методов ограничения токов короткого замыка-

а ния 53

1. Уровни токов короткого замыкания в электрических сетях 58

Ф 3.4. Интегральные параметры электрических сетей и максимально до­пустимый уровень тока короткого замыкания 67

* 1. Согласование параметров коммутационного оборудования 76
  2. Токи короткого замыкания и потери мощности и электроэнергии в

іЬ электрических сетях 79

* 1. Выводы 82

*Глава четвертая,* ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГРАНИЧЕНИЯ

ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ 85

Ф 4.1. Постановка задачи 85

1. Соотношения токов однофазных и трехфазных коротких замыканий 86
2. Ограничение токов короткого замыкания на землю включением в

нейтрали автотрансформаторов сопротивлений 89

1. Изменение параметров электрических сетей при установке сопро-

\* тивлений в нейтралях автотрансформаторов 95

1. Ограничения токов короткого замыкания на землю частичным раз-

землением нейтралей трансформаторов 101

1. Выводы 108

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 111

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 115

ПРИЛОЖЕНИЕ 122

гіг

ВВЕДЕНИЕ

В сетях различного напряжения электроэнергетических систем (сокра­щенно - энергосистем, систем) уровень токов короткого замыкания (КЗ) в той или иной степени непрерывно возрастает. При этом требования к электриче­ским аппаратам, проводникам, силовым (авто)трансформаторам и конструкци­ям распределительных устройств (РУ) становятся все более жесткими. Возни­кает проблема согласования или координации параметров электрооборудования с существующими или ожидаемыми уровнями токов КЗ [В.1]. Она обострилась сравнительно недавно - в 60-70\*е годы - в связи с бурным развитием электро­энергетики, выражающимся ростом единичных мощностей генерирующих агре­гатов, электростанций, подстанций и энергосистем, развитием сетей среднего, высокого, сверхвысокого и ультравысокого напряжений.

Максимально допустимый уровень токов КЗ в сетях различного напряже­ния - важная технико-экономическая характеристика энергосистем. Требования к коммутационному оборудованию должны учитывать стратегию развития энергосистем, электростанций и сетей, возможности промышленности разрабо­тать и поставить в установленные сроки оборудование с нужными параметра­ми, надежность работы электростанций, подстанций, узлов нагрузки и систем в целом, затраты на создание сети с тем или иным максимальным уровнем токов КЗ.

Координация уровней токов КЗ имеет определенную организационную иерархию и решается в рамках более общей задачи оптимизации структуры, параметров и режимов работы энергосистем и их элементов на всех стадиях их управления: от прогнозирования и планирования до проектирования и эксплуа­тации. Так, согласование уровней токов КЗ с параметрами оборудования рас­сматривается в схемах развития отрасли, а затем объединенных и региональных энергосистем раз в 5 лет на перспективу 10-15 лет [В.2] и, кроме того, в техни­ко-экономических обоснованиях к сооружению объектов электроэнергетики (электростанций, подстанций и электрических сетей) [В.З]. Следовательно, здесь необходим учет значительной неопределенности исходной информации, большого количества трудноформализуемых и противоречивых функциональ­ных связей.

При решении подобного класса задач наиболее оправдано использовать общие положения изучения больших систем энергетики, именуемые систем­ным подходом [В.4]. Как известно, системный подход исходит из рассмотрения последних целостным множеством элементов, обладающим свойствами, несво­димым к сумме свойств, входящих в него элементов. При этом во главу ставит­ся постулат, что развитие объектов определяется причинно-следственными свя­зями, выражающимися совокупностью объективных тенденций и закономерно­стей.

Анализ фактического материала показывает, что проблема токов КЗ в энергосистемах была и остается актуальной. Токи существенно возросли, что вынуждает менять установленное электрооборудование или принимать сроч­ные меры по их ограничению. Известны [В.1] следующие методы или способы (далее везде используется термин метод, как нашедший более широкое распро­странение в литературе по данной проблематике) ограничения уровней токов КЗ:

* схемные решения на стадии проектирования;
* стационарное и автоматическое деление существующей сети при экс­плуатации;
* применение токоограничивающих устройств различного типа;
* изменение схем соединения обмоток генераторов и силовых (ав- то)трансформаторов, также режима заземления их нейтралей.

Теоретические основы указанных методов отражены в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях. Так, в работах [В.1, В.5-В.11 и др.] исследовались различные средства ограничения токов КЗ: реакторы простые и сдвоенные, трансформаторы с расщепленными обмотками, резонансные токоо­граничивающие устройства различных видов, ограничители ударного тока, вставки постоянного тока, также устройства, использующие высокотемпера­турную сверхпроводимость. В работе [В.12] описаны схемные решения, при­нимаемые на стадии проектирования.

Однако в приведенных работах имеется определенный пробел. Так, *до сих пор недостаточно исследована эффективность ліетодов ограничения уров­ней токов КЗ с общесистемных позиций в условиях различной структуры и па­раметров реальных энергосистем.*

Под эффективностью ограничения токов КЗ понимаем действенность то­го или иного метода или средства их ограничения, т.е. способность, воздейст­вуя на электрическую сеть, дать наилучший результат по снижению тока до не­обходимого предела. В свою очередь он (предел) определяется возможностью промышленности разработать и поставить в установленные сроки оборудова­ние с нужными параметрами, надежностью работы электростанций, подстан­ций, узлов нагрузки и энергосистем в целом, затратами на создание сети с тем или иным максимальным уровнем токов КЗ.

Таким образом, существо *научно-технической проблемы*, которой была посвящена диссертационная работа, состояла в разработке научно обоснован­ных рекомендаций по ограничению токов КЗ, позволяющих согласовывать их уровни с параметрами электрооборудования с учетом различной структуры и параметров реальных энергосистем. Указанные рекомендации предназначены для принятия решений, как при текущей эксплуатации, так и на перспективу.

*Цель работы и задачи исследований.*

*Цель работы* заключается в разработке теоретических и практических положений, связанных с оценкой эффективности ограничения уровней токов КЗ в условиях различной структуры и параметров электрических сетей реаль­ной энергосистемы, совокупность которых представляет решение научно- технической задачи, имеющей существенное значение для электроэнергетиче­ской отрасли.

Для достижения поставленной цели в работе *решены следующие задачи'.*

* выявлены статистические закономерности, дающие оценку эффектив­ности ограничения уровней токов КЗ, путем обобщения обширного фактиче­ского материала и исследования их динамики в совокупности с состоянием и развитием электрических сетей 110-500 кВ одной из крупнейших региональных энергосистем страны;
* определена эффективность основных методов ограничения токов КЗ (схемных решений, деления электрической сети, включения токоограничиваю­щих сопротивлений в нейтрали и частичного разземления нейтралей силовых трансформаторов и автотрансформаторов) в условиях различной структуры и параметров электрических сетей 110-500 кВ энергосистемы;
* сформулированы и доведены до практического использования научно обоснованные рекомендации по выбору методов ограничения уровней токов КЗ в электрических сетях 110-500 кВ энергосистем.

*Достоверность основных теоретических положений* определяется тем, что полученные результаты подтверждены значительными объемами вы­числительного эксперимента на математических моделях, детальным анализом основных влияющих факторов, расчетных условий и причинно-следственных связей, а так же опытом проектирования и эксплуатации объектов электроэнер­гетики (электростанций, подстанций, электрических сетей, энергосистем) на современном этапе.

*Научная новизна* работы и *личный вклад* автора состоит в решении на­учно-технической задачи, имеющей существенное значение для электроэнерге­тической отрасли и заключающейся в разработке научно обоснованных реко­мендаций, связанных с оценкой эффективности методов ограничения токов КЗ в условиях различной структуры и параметров реальных энергосистем.

*Новое решение* этой задачи заключается в исследовании причинно- следственных связей, проявляющихся при использовании различных методов ограничения уровней токов КЗ, в совокупности с состоянием и развитием элек­трических сетей 110-500 кВ одной из крупнейших региональных энергосистем страны. Такая концепция реализована впервые и потребовала привлечения об­ширных статистических данных. В результате автором диссертационной рабо­ты впервые получены следующие *новые научные результаты'.*

1. Реализован комплексный подход к оценке эффективности ограничения уровней токов КЗ в сетях 110-500 кВ, заключающийся в исследовании причин- но-следственных связей основных влияющих факторов, а также поиске и учете новых свойств этих методов. Это позволило предложить в рассматриваемой предметной области новые взгляды на традиционно принимаемые решения, влияющие на надежность и экономичность энергосистем.
2. Доказано, что основным и наиболее эффективным методом ограниче­ния уровней токов КЗ является стационарное деление электрической сети и, в ряде случаев, схемные решения. Стационарное деление ограниченного числа наиболее крупных коммутационных узлов энергосистемы ограничивает токи в 2-4 и более раз и поддерживает их на допустимом уровне во всех узлах элек­трической сети на протяжении десятилетий.
3. Обосновано, что методы, касающиеся ограничения уровней токов КЗ на землю, не позволяют в полной мере обеспечить их требуемую стабилиза­цию. Эти методы следует рассматривать в качестве локальных мероприятий, не оказывающих заметного влияния на структуру и параметры электрических се­тей, и их не следует широко использовать без достаточных на то оснований.
4. Выполнен анализ предельных токов КЗ в совокупности с интегральны­ми параметрами реальных электрических сетей 110-500 кВ. Выявлено наличие между ними явных функциональных зависимостей, позволяющих планировать структуру и параметры электрических сетей на длительную перспективу с уче­том уровней токов КЗ.

*Практическое значение и внедрение*.

1. Примененный подход и полученные на его основе рекомендации по оценке эффективности ограничения токов КЗ позволяют на практике повысить достоверность и устойчивость решений, принимаемых на перспективу, а также надежность и экономичность электроустановок.
2. Разработанные практические рекомендации по оценке эффективности ограничения токов КЗ используются Информационно-вычислительным цен­тром - филиалом ОАО «Мосэнерго» и Региональным диспетчерским управле­нием энергосистемы Москвы и Московской области - филиалом ОАО «СО- ЦДУ ЕЭС» при подготовке нормальной схемы электрических сетей 35-500 кВ на максимум нагрузки и при формировании технических условий для разработ­ки схемы развития электрических сетей 110-500 кВ рассматриваемого региона электроснабжения.

*Основные положения, выносимые на защиту:*

1. Применение комплексного подхода для оценки эффективности ограни­чения токов КЗ в условиях различной структуры и параметров электрических сетей 110-500 кВ региональной энергосистемы.
2. Оценка эффективности стационарного деления электрической сети для ограничения уровней токов КЗ.
3. Оценка эффективности включения токоограничивающих сопротивле­ний в нейтрали и частичного разземления нейтралей силовых трансформаторов и автотрансформаторов для ограничения уровней токов КЗ на землю.

*Апробация работы.*

По результатам исследований сделаны доклады на следующих конферен­циях: VII симпозиум «Электротехника 2010 год. Перспективные виды электро­технического оборудования для передачи и распределения электроэнергии» (Минск, 2003); 9-я и 11-я международная научно-техническая конференция сту­дентов и аспирантов (Москва, 2003, 2005), а также на заседании кафедры элек­трических станций Московского энергетического института (Технического университета).

*Публикации* по проведенным исследованиям имелись в журналах «Из­вестия РАН. Энергетика» (2001), «Электричество» (2004), «Электрические станции» (2001, 2004, 2005), «Power technology and engineering» (2002) в трудах трех конференций. Количество публикаций по теме диссертации составляет де­сять печатных работ, из них шесть в центральных изданиях.

*Объем и структура работы*. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложения (актов внедрения результатов работы).

*В первой главе* анализу подвергнуты методы и средства ограничения уровней токов КЗ. Проведен сравнительный анализ и критический обзор пуб­ликаций по проблеме. Выполнена общая постановка задачи. Сформулирована методологическая направленность исследований. Показано, что применение методов ограничения уровней токов КЗ следует выполнять с учетом их эффек­тивности не столько в плоскости данной электроустановки и снабжаемых ею потребителей, сколько с позиции энергосистемы в целом.

*Во второй главе* произведен выбор моделей для оценки эффективности ограничения токов КЗ. Представлена модель электрической сети при расчетах токов короткого замыкания и установившихся режимов, а также расчетных ус­ловий вычислительного эксперимента. Предложена и обоснована методическая база технико-экономических сравнений вариантов электроустановок для обос­нования эффективности рассматриваемых методов.

*В третьей главе* выполнена оценка эффективности ограничения токов КЗ воздействием на структуру и параметры электрической сети: схемные реше­ния, деление электрической сети. Обобщен опыт использования методов огра­ничения токов КЗ. Выполнена обработка значений токов КЗ в электрических сетях 110-500 кВ, выявлены статистические закономерности. Установлены взаимосвязи между максимально допустимым уровнем токов КЗ и интеграль­ными параметрами электрических сетей. Показано согласование параметров коммутационного оборудования. Исследовано влияние стационарного деления электрической сети на потери мощности и электроэнергии в них. Даны реко­мендации по обоснованию эффективности рассматриваемых методов.

*В четвертой главе* выполнена оценка эффективность ограничения токов КЗ на землю: включением в нейтрали (авто)трансформаторов реакторов и рези­сторов и частичным разземлением в сетях 110 кВ. Даны соотношения токов од­нофазных и трехфазных КЗ. Обосновано общее и нормированно-необходимое токоограничение. Доказано, что методы, касающиеся снижения токов однофаз­ных КЗ, недостаточно эффективны и не позволяют в полной мере обеспечить их требуемую стабилизацию. Поэтому данные методы не рекомендованы для широкого применения без надлежащего на то обоснования.

Автор полагал, что проведенные исследования по оценке эффективности ограничения токов КЗ в энергосистемах окажутся полезными для инженерно- технических работников проектных организаций, энергосистем, а также сту­дентов вузов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны теоретические и практические положения, связанные с обоснованием эффективности методов ограничения уровней токов КЗ на осно­ве положений системного подхода в условиях различной структуры и парамет­ров реальных энергосистем, совокупность которых представляет решение на­учно-технической задачи, имеющей существенное значение для электроэнерге­тической отрасли.

Получены новые теоретические результаты:

1. Реализован комплексный подход к оценке эффективности ограничения уровней токов КЗ в сетях 110-500 кВ, заключающийся в исследовании причин­но-следственных связей основных влияющих факторов, а также поиске и учете новых свойств этих методов. Это позволило предложить в рассматриваемой предметной области новые взгляды на традиционно принимаемые решения, влияющие на надежность и экономичность энергосистем.
2. Доказано, что основным и наиболее эффективным методом ограниче­ния уровней токов КЗ является стационарное деление электрической сети и, в ряде случаев, схемные решения. Стационарное деление ограниченного числа наиболее крупных коммутационных узлов энергосистемы ограничивает токи в 2-4 и более раз и поддерживает их на допустимом уровне (до 40 кА) во всех уз­лах электрической сети на протяжении многих десятилетий.
3. Обосновано, что методы, касающиеся ограничения уровней токов КЗ на землю, не позволяют в полной мере обеспечить их требуемую стабилиза­цию, Эти методы следует рассматривать в качестве локальных мероприятий, не оказывающих заметного влияния на структуру и параметры электрических се­тей, и их не следует широко использовать без достаточных на то оснований.

Это означает, что нормирование токов КЗ в основных сетях энергосистем оправданно вести на базе комплексных математических моделей электрической сети по прямой последовательности. Исключением могут являться нормативно принятые в стране при выборе структуры и параметров сетей облегченные рас­четные условия обеспечения динамической устойчивости без воздействия про- тивоаварийной автоматики, когда расчетный вид не трехфазное, а однофазное короткое замыкание.

1. Выполнен анализ предельных токов КЗ в совокупности с интегральны­ми параметрами реальных электрических сетей 110-500 кВ. Выявлено наличие между ними явных функциональных зависимостей, позволяющих планировать структуру и параметры электрических сетей на длительную перспективу.

Получены новые практические результаты:

1. Предложены рекомендации по эффективности методов ограничения уровней токов КЗ в электрических сетях 110 кВ и выше, позволяющие повы­сить надежность и экономичность электроустановок:

* допустимо планировать структуру и параметры электрических сетей рассматриваемого класса напряжения с позиций максимально допустимого уровня тока КЗ независимо от состояния сетей иных классов напряжения. От­сюда следует, что оптимизация их структуры и параметров с учетом уровней токов КЗ целесообразно ориентировать и в направлении выбора предпочти­тельного номинального напряжения сети;
* стационарное деление электрической сети влияет на потери мощности и электроэнергии в ней за счет нарушения естественного потокораспределения активной мощности. С учетом относительно небольших межузловых расстоя­ний в электрических сетях 110-220 кВ реальных энергосистем, где существует проблема координации уровней токов КЗ, данным отрицательным фактором допустимо пренебречь;
* ограничение токов КЗ на землю включением в нейтрали (ав- то)трансформаторов сопротивлений имеет заметный эффект только для отдель­но взятого присоединения. С учетом влияния внешней сети данное токоограни­чивающее мероприятие может не дать ощутимых результатов для суммарных токов КЗ на сборных шинах, в том числе в смежных узлах сети;
* наличие в нейтрали (авто)трансформатора индуктивного или активного сопротивления главным образом перераспределяет в суммарном эквиваленте долю активной и индуктивной составляющих, незначительно влияя на модуль суммарного эквивалентного сопротивления относительно точки КЗ. Поэтому с позиций выбора номинального тока отключения выключателей можно говорить при прочих равных условиях о примерно одинаковых токоограничивающих свойствах реакторов и резисторов, хотя последние конструктивно более слож­ны и менее приспособлены к установке в открытых распределительных устрой­ствах;
* включение в нейтрали автотрансформаторов реакторов или резисторов снижает надежность электроустановки. Поэтому, принимая во внимание их от­носительно невысокие токоограничивающие свойства, не рекомендуется по­всеместное использование в нейтралях (авто)трансформаторов реакторов или резисторов без надлежащего технико-экономического обоснования. Данные решения можно рекомендовать лишь для автотрансформаторов, выпущенных по ГОСТ 11677-65 и имеющих сниженную допустимую электродинамическую стойкость, т.е. как средство обеспечения электродинамической стойкости самих автотрансформаторов;
* наиболее предпочтительно иметь глухое заземление нейтралей (ав- то)трансформаторов 220 кВ и выше. С позиций выбора номинальных парамет­ров коммутационного оборудования комплексное воздействие на сопротивле­ние нулевой последовательности в электрических сетях 110 кВ и выше может не дать весомых результатов и является скорее локальным средством ограниче­ния на стадии эксплуатации с целью экономии коммутационного ресурса уста­новленных выключателей.

Использование практических результатов:

1. Примененный подход и полученные на его основе рекомендации по обоснованию эффективности методов ограничения токов КЗ позволяют на практике повысить достоверность и устойчивость решений, принимаемых на перспективу, а также надежность и экономичность электроустановок.
2. Разработанные практические рекомендации по обоснованию эффек­тивности методов ограничения токов КЗ используются Информационно­вычислительным центром - филиалом ОАО «Мосэнерго» и Региональным дис­петчерским управлением энергосистемы Москвы и Московской области - фи­лиалом ОАО «СО-ЦЦУ ЕЭС» при подготовке нормальной схемы электриче­ских сетей 35-500 кВ на максимум нагрузки и при формировании технических условий для разработки схемы развития электрических сетей 110—500 кВ рас­сматриваемого региона электроснабжения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ВЛ. Неклепаев Б.Н. Координация и оптимизация уровней токов коротко- го замыкания в электрических системах. М.: Энергия, 1978.

В.2. Волькенау И.М., Зейлигер А.Н., Хабачев Л.Д. Экономика формиро­вания электроэнергетических систем / Под ред. А.А. Троицкого - М.: Энергия, 1981.

В.З. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Схемы выдачи мощ­ности электростанций: Методологические аспекты формирования. М.: Энерго- ^ атомиздат, 2002.

В.4. Мелентьев Л.А. Избранные труды. Методология системных исследо­ваний в энергетике. М.: Наука. Физматлит, 1995.

В.5. Исследование эффективности различных методов и средств ограни- \* чения токов короткого замыкания на землю в сетях 110-750 кВ / Б.Н. Неклепа­

ев, М.В. Пираторов, А.И. Пойдо и др.- Труды МЭИ. Вып. 521. М.: МЭИ, 1981.

В.6. Лисовский Г.С., Хейфиц М.Э. Главные схемы и электротехническое оборудование подстанций 35-750 кВ. М.: Энергия, 1977.

В.7. Ерхан Ф.М., Неклепаев Б.Н. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем. Кишинев: Штиинца, 1985. *ф* В.8. Short-circuit current levels and basic consepts for limiting them / V.V. Er-

chevich, B.N. Neklepaev, L.F. Ktivushkin etc. // International conference on large high voltage electric systems. 1982. Pap. 23-09.

B.9. Неклепаев Б.Н. Проблема координации уровней токов короткого за-

ft-

мыкания на электростанциях и в электрических сетях энергосистем // Известия РАН. Энергетика. 1993. № 6.

В. 10. Feasibility study of passive fault current limiter / A. Nishiguchi, K. Shi- momura, Y Sudo etc. // International conference on large high voltage electric sys- Ф tems. 1998. Pap. 37-104.

ВЛ1. Сверхпроводниковые токоограничивающие устройства и индуктив­ные накопители энергии для электроэнергетических систем / И.З. Глускин, Г.А. Дмитриева, М.Ш. Мисриханов и др. / Под ред. И.В. Якимца.- М.: Энергоатом- издат, 2002.

ВЛ2. Электротехнический справочник. Том 3 / Под общ. ред. профессо­ров МЭИ.- М.: Изд-во МЭИ, 2002.

1. Востросаблин А.А., Неклепаев Б.Н., Шунтов А.В. Об эффективности мероприятий по ограничению токов короткого замыкания в основных сетях энергосистем // Известия РАН. Энергетика. 2001. № 4.
2. Руководящие указания и нормативы по проектированию развития энергосистем. М.: Минэнерго СССР, 1981.
3. Needs in the customer connection to the Italian national grid and equip­ment for their implementation / E.M. Carlini, C. Di Mario, E. Colombo etc. // Interna­tional conference on large high voltage electric systems. 2002. Pap. 23-102.
4. Нормы технологического проектирования подстанций с высшим на­пряжением 35-750 кВ. М.: ин-т «Энергосетьпроект», 1991, №13865тм-т1.
5. Долгосрочное прогнозирование развития сетей электропередач Анг­лии и Уэльса / Планирование и эксплуатация электроэнергетических систем. / Под ред. В.А. Веникова,- М.: Энергия, 1978.
6. Halk A., Hass D., Wienhold В. Extension of а 420/245 kV interconnected transmission network under consideration of uncertain load development and delays conseming the extension of power plants // International conference on large high voltage electric systems. 1982. Pap. 31-03.
7. Востросаблин А.А., Неклепаев Б.Н. Оценка численных характеристик риска при принятии решений в электроэнергетике // Электрические станции. 2000. № 5.
8. Режим нейтрали в электрических системах / Под ред. И.М. Сироты — Киев: Наукова думка, 1974.
9. Частичное заземление нейтрали в электрических системах через рези­стор / Под ред. Ч.М. Джуварлы - Баку: Элм, 1976.
10. Указания по ограничению токов короткого замыкания в сетях на­пряжением 110 кВ и выше. М.: СПО ОРГРЭС, 1976.
11. Руководящие указания по ограничению токов однофазных коротких замыканий в электрических сетях 110-220 кВ энергосистем. М.: СПО Союзтех- энерго, 1985.
12. Кадомская К.П., Максимов Б.К., Челазнов А.А. Системный подход к выбору резисторов в нейтралях силовых трансформаторов в электрических се­тях 110-750 кВ // Электрические станции. 1997. №10.
13. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электриче­ских системах. М.: Энергия, 1970.

1Л 4. Разработка проблемы координации уровней токов короткого замыка­ния в энергосистемах // К.М. Антипов, А.А. Востросаблин, В.В. Жуков и др. // Электрические станции. 2005. №4.

1. Славин Г.А., Гурьева Т.Н. Сравнительная эффективность заземле­ния нейтралей трансформаторов через реактор или резистор // Режимы нейтра­лей в электрических системах. Киев: Наукова думка, 1974.
2. Каплан В.А., Малкин П.А., Хабачев Л.Д. Особенности обоснования экономической эффективности сооружения объектов основной электрической сети ЕЭС и ОЭС России в условиях функционирования рынка электроэнергии // Электрические станции. 1997. №1.
3. Бобылева Н.В., Малкин П.А., Хабачев Л.Д. О методике обоснования новых объектов основной сети ЕЭС РФ в условиях функционирования Феде­рального рынка электроэнергии и мощности // Электрические станции. 2000. №5.
4. Практические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике (с типовыми примерами). Официальное издание. М.: РАО «ЕЭС России», 1997.
5. О технико-экономическом сравнении вариантов электроустановок при проектировании / М.Ш. Мисриханов, К.В. Мозгалев, Б.Н. Неклепаев, А.В. Шунтов *It* Электрические станции. 2004. №2.
6. Лосев С.Б., Чернин А.Б. Вычисление электрических величин в не­симметричных режимах электрических систем. М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. Электрические системы. Электрические сети / Под ред. В.А. Венико­ва, В.А. Строева.- М.: Высшая школа, 1998.
8. Идельчик В.И. Расчеты установившихся режимов электрических сис­тем. М.: Энергия, 1977.