**Игнатов Василий Витальевич. Ограничение токов короткого замыкания делением электрических сетей и оценка его влияния на режимы энергосистемы : диссертация ... кандидата технических наук : 05.14.02 / Игнатов Василий Витальевич; [Место защиты: Моск. энергет. ин-т].- Москва, 2010.- 107 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/2032**

**МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**

***О Ч 8^°\оо Ч***

**Игнатов Василий Витальевич**

**ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ОЦЕНКА ЕГО ВЛИЯНИЯ НА РЕЖИМЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

**05.14.02 - Электростанции и электроэнергетические системы**

**Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук**

**Научный руководитель доктор технических наук, профессор**

**Шунтов А.В.**

**Москва, 2010 г.**

**Стр.**

**ВВЕДЕНИЕ 4**

***ГЛАВА ПЕРВАЯ.* УРОВНИ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ИХ ОГРАНИЧЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГОСИСТЕМАХ 12**

1. **Постановка задачи 12**
2. **Уровни токов короткого замыкания в электрических сетях 110-500 кВ.... 13**
3. **Способы ограничения уровней токов короткого замыкания в**

**электрических сетях 20**

1. **Эффективность методов и средств ограничения токов короткого**

**замыкания 25**

1. **Выводы 27**

***ГЛАВА.ВТОРАЯ.* ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА РЕЖИМЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ 29**

1. **Постановка задачи 29**
2. **Схема замещения энергосистемы Московского региона 30**
3. **Модель электрической сети при расчетах токов коротких замыканий 32**
4. **Модель электрической сети при расчетах установившихся режимов 37**
5. **Модель электрической сети при расчетах переходных процессов 39**
6. **Выводы 44**

***ГЛАВА ТРЕТЬЯ.* ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ 47**

1. **Постановка задачи 47**
2. **Изменение структуры и параметров электрических сетей при**

**стационарном делении 48**

1. **Влияние деления электрических сетей на статическую устойчивость**

**генераторов электростанций 57**

1. **Влияние деления электрических сетей на динамическую устойчивость**

**генераторов электростанций 62**

1. **Выводы 72**

***ГЛАВА ЧЕТВЕТАЯ.* ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМНЫХ**

**РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ 73**

1. **Постановка задачи 73**
2. **Взаимное влияние электрических сетей при ограничении токов короткого**

**замыкания 73**

1. **Анализ эквивалентных параметров электрических сетей, разделенных**

**автотрансфомраторными связями 76**

1. **Влияние деления электрических сетей на потери активной мощности и**

**электроэнергии 81**

1. **Выводы 95**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ 97**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 101**

**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.**

**На ближайшие годы в стране запланированы вводы генерирующих мощ­ностей. Особенно пристальное внимание уделяется густонаселенным промыш­ленно развитым регионам, в которых возможен дефицит мощности. По прогнозам к 2020 г. уровень электропотребления здесь может заметно возрасти. Такие при­росты серьезно затронут структуру электростанций и электрических сетей [В.2].**

**Большая концентрация источников и потребителей электроэнергии на сравнительно небольшой территории накладывает особенность на организацию схем выдачи мощности электростанций и электрических сетей. Она связана с не­обходимостью глубокого ограничения токов КЗ в узлах энергосистемы. Дополни­тельный фактор их роста в крупных городах - применение кабельных линий 110 кВ и выше (для сохранения окружающей среды), имеющих более низкие зна­чения сопротивлений по сравнению с воздушными линиями соответствующего класса напряжения.**

**Для ограничения токов КЗ на электростанциях и в сетях энергосистем ис­пользуются [В.1] схемные решения, стационарное или автоматическое деление сети, токоограничивающие устройства, оптимизация режима заземления нейтра­лей электрических сетей.**

**Теоретические основы указанных методов отражены в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях. Так, в работах [В.1, В.З-В.9 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, а также устройства, использующие высокотемпературную сверх­проводимость. В работе [В. 10] описаны схемные решения, принимаемые на ста­дии проектирования.**

**Тем не менее, анализ фактических данных показывает [В.11 - В.16], что в электрических сетях 110 кВ и выше одним из основных и наиболее эффективных мероприятий оказывается деление сети. Так, в Московском регионе примерно 20% наиболее крупных коммутационных узлов сети 110-220 кВ (шин электро­станций и подстанций) подвергнуто стационарному делению на шиносоедини­тельных, секционных и линейных выключателях (всего более 100 точек стацио­нарного деления сети).**

**Стационарное деление шин 110-220 кВ электростанций и подстанций ог­раничило токи КЗ в Московском регионе уровнем до 30-40 кА, а не 130-140 и 70-80 кА в сетях соответственно 110 и 220 кВ при отсутствии деления.**

**Автоматическое деление сети используется реже. Оно не уменьшает элек­тродинамических воздействий на электрооборудование линейных присоединений и требует более высоких соотношений предельных сквозных токов выключателей и их токов отключения. В противном случае необходимо считаться с риском при работе оборудования в зоне ненормированных параметров.**

**Среди специалистов бытует мнение, что деление высоковольтных элек­трических сетей - вынужденное решение, отрицательно сказывающееся на надеж­ности электростанций и электрических сетей. Оно снижает не только токи КЗ, но и жесткость сети - увеличивает ее результирующее эквивалентное сопротивление. Это требует согласовывать изменения структуры сетей с проблемой устойчиво­сти. Действительно, с точки зрения устойчивости работы электрических машин эквивалентное сопротивление генерирующих источников ограничено. Оно не должно превышать определенного значения, зависящего от параметров источни­ков. Аргументация носит во многом качественный характер и не подтверждена количественными показателями. Деление сетей так же нарушает естественное по- токораспределение активной мощности, приводя к возрастанию потерь мощности и электроэнергии в энергосистеме.**

**В диссертационной работе [В .16] эти факторы так же были отмечены, но только качественно. Более того, стационарное деление электрических сетей для ограничения уровней токов КЗ является вынужденным решением при эксплуата­ции энергосистем и не может заменить собой схемных решений (оптимизации структуры и параметров сетей - см. [В.1]).**

**Наконец, в последние годы в России наметилась тенденция к «отпуска­нию» уровней токов КЗ в электрических сетях. По требованию ОАО «СО ЕЭС» принудительно снижается количество точек деления сетей для повышения их на­дежности. Токи КЗ при этом существенно возрастают. Так, в Московском регионе на значительном количестве вновь вводимых электросетевых объектов устанав­ливается оборудование на максимально возможный ток КЗ не 40 кА, (как на про­тяжении многих десятилетий), а 63 кА. Такое оборудование в нашей стране прак­тически не производится. Подобная техническая политика позволяет загружать только зарубежные электроаппаратостроительные заводы.**

**На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что *до сих пор не­достаточно исследована комплексная эффективность ограничения уровней то­ков КЗ делением электрических сетей и оценка его влияния на режимы энерго­системы.***

**При решении подобного класса задач оправдано использовать общие по­ложения изучения больших систем энергетики, именуемые системным подходом [В .17]. 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.**

**Таким образом, существо *научно-технической задачи,* которой была по­священа диссертационная работа, состояла в оценке комплексного влияния огра­ничения токов короткого замыкания делением электрических сетей на режимы энергосистемы с учетом ее реальной структуры и параметров. Получаемые при этом 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 исследованием комплексной эффективности ограничения уровней токов КЗ делением электрических сетей и оценки его влияния на режимы энергосистемы.**

**Для достижения поставленной цели в работе *решены следующие задачи*:**

* **выявлены закономерности, дающие оценку влияния ограничения уровней токов КЗ путем стационарного деления сети на надежность и экономичность ре­жимов работы одной из крупнейших региональных энергосистем страны;**
* **установлены причинно-следственные связи, когда развитые электриче­ские сети 110 кВ и выше, разделенные автотрансформаторными связями, объек­тивно незначительно влияют друг на друга с позиций роста уровней токов КЗ. Это позволяет при значительном росте нагрузки иметь сети со стабильным наиболь­шим уровнем токов КЗ за счет различных схемных решений при проектировании энергосистем.**
* **уточнены рекомендации по выбору методов ограничения уровней токов КЗ в электрических сетях 110 кВ и выше 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 комплексной оценкой эффективности ограничения уровней то­ков КЗ делением электрических сетей в условиях различной структуры и пара­метров реальной энергосистемы.**

***Новое решение* этой задачи заключается в исследовании причин­но-следственных связей, проявляющихся при использовании основных методов ограничения уровней токов КЗ на стадии проектирования и эксплуатации в сово­купности с состоянием и развитием электрических сетей 110-500 кВ одной из крупнейших региональных энергосистем страны. Такая концепция реализована впервые. 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 - 220 кВ стационарным делением электрических се­тей, включая надежность и экономичность режимов работы конкретной энерго­системы.**
2. **Доказано, что электрические сети 110 кВ и выше, разделенные авто­трансформаторными связями, объективно незначительно влияют друг на друга с позиций роста уровней токов КЗ. Данная закономерность позволяет при значи­тельном росте нагрузки приоритетно использовать принципы продольного и по­перечного разделения сетей, предложенные проф. Б.Н. Неклепаевым [В.1], для стабилизации уровней токов КЗ, а именно: *а)* перераспределения выдачи мощно­сти электростанций между сетями различного напряжения; *б)* выделения части территории (регионов) сетей одного напряжения, связанных между собой только через сеть повышенного напряжения; *в)* наложения сетей одного и того же на­пряжения на площади данного региона со связью этих сетей через сеть повышен­ного напряжения.**

**3. Обосновано на примере конкретной энергосистемы, что оптимизация структуры и параметров высоковольтных электрических сетей с позиций ограни­чения уровней токов КЗ должна быть приоритетной задачей при разработках схем развития мегаполисов. Это является научно обоснованной альтернативой наме­тившейся в последние годы и не до конца продуманной тенденции «отпускания» уровней токов КЗ в сетях 110 - 220 кВ энергосистем страны.**

***Практическое значение и внедрение.***

1. **Примененный подход и полученные на его основе рекомендации по оценке комплексной эффективности ограничения уровней 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 комплексной эф­фективности ограничения уровней токов КЗ использованы ОАО «ФСК ЕЭС» при обосновании и выборе параметров основного электротехнического оборудования и схем электрических соединений подстанций единой национальной электриче­ской сети.**

***Основные положения, выносимые на защиту:***

1. **Применение комплексного подхода для оценки эффективности ограни­чения уровней токов КЗ стационарным делением электрических сетей и оценка его влияния на режимы энергосистемы.**
2. **Оценка эффективности схемных решений для ограничения уровней то­ков КЗ.**
3. **Причинно-следственные связи в структуре и параметрах энергосистем при использовании различных методов ограничения уровней токов КЗ.**

***Апробация работы.* По результатам исследований сделаны доклады на следующих семинарах конференциях: 79-м и 80-м международных семинарах им. Ю.Н. Руденко «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» (Вологда, 2007; Иркутск, 2008); 13-й, 14-й и 15-й международных на­учно-технических конференциях студентов и аспирантов (Москва, 2007, 2008), а также на заседании кафедры электрических станций Московского энергетическо­го института (Технического университета).**

***Публикации* по проведенным исследованиям размещены в журналах «Из­вестия РАН. Энергетика» (2009), «Электрические станции» (2007, 2008), Вестник ИГЭУ (2005) и в трудах четырех конференций и семинаров. Количество публика­ций по теме диссертации составляет восемь печатных работ, из них четыре в из­даниях по списку ВАК.**

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

***В первой главе* Дан сравнительный анализ уровней токов КЗ, интегральных параметров электрических сетей и энергопотребления в Московском регионе за последние 30 лет. Анализу подвергнуты методы и средства ограничения уровней токов КЗ. Отмечена высокая эффективность стационарного деления электриче­ской сети при ограничении уровней токов КЗ в регионе с высокой плотностью на­грузки. Показано, что применение стационарного деления сети может существен­но влиять на надежность и экономичность режимов работы энергосистемы. Вы­полнена общая постановка задачи. Сформулирована методологическая направ­ленность исследований. Обосновано использование комплексного подхода к оценке эффективности ограничения уровней токов КЗ в сетях 110 - 220 кВ ста­ционарным делением электрических сетей.**

***Во второй главе* представлены модели электрической сети при расчетах то­ков короткого замыкания, установившихся режимов и переходных процессов. Обоснована их пригодность для комплексного исследования эффективности ог­раничения уровней токов КЗ в сетях 110 - 220 кВ стационарным делением элек­трических сетей. Определены расчетные условия вычислительного эксперимента. Даны принципы обработки результатов вычислительного эксперимента.**

***В третьей главе* выявлены основные причинно-следственные связи между показателями статической и динамической устойчивости генераторов электро­станций и режимами деления сетей 110-220 кВ Московского региона. Выполнена обработка значений токов КЗ; предельных, передаваемых по сечениям, активных мощностей; относительных углов генераторов электростанций; показателей зату­хания электромеханических переходных процессов и выявлены их статистические закономерности. Доказано, что влияние стационарного деления на установившие­ся режимы и переходные процессы в энергосистеме проявляется в нерасчетных режимах или носит качественный характер.**

***В четвертой главе* выполнена оценка взаимного влияния сетей смежных классов напряжений 110-220 кВ на уровни токов КЗ в них. Дана схема замещения для анализа смежных электрических сетей. Представлен анализ ЭДС, сопротив­лений и составляющих токов сетей смежных классов напряжения в условиях из­менения режимов деления. Доказано, что электрические сети 110 кВ и выше, раз­деленные автотрансформаторными связями, объективно незначительно влияют друг на друга с позиций роста уровней токов КЗ. Приведены результаты расчетов потерь мощности в линиях 110-220 кВ. Даны рекомендации по дальнейшему ис­следованию комплексного влияния схемных решений на стадии проектирования на технико-экономические условия работы сетей 110-220 кВ.**

**Автор полагает, что проведенные исследования по ограничению токов ко­роткого замыкания делением электрических сетей и оценки его влияния на режи­мы энергосистемы окажутся полезными для инженерно-технических работников проектных организаций и энергосистем, а также студентов и научных сотрудни­ков ВУЗов.**

* 1. **Выводы**

1. **Развитые электрические сети 110 кВ и выше энергосистемы Московско­го региона, разделенные автотрансформаторными связями, объективно незначи­тельно влияют друг на друга с позиций роста уровня токов КЗ. Это позволяет при значительном росте нагрузки иметь сети со стабильным наибольшим уровнем то­ков КЗ за счёт:**

* **перераспределения выдачи мощности электростанций между сетями различного напряжения;**
* **поперечного разделения сетей;**
* **продольного разделения сетей.**

1. **С позиций потерь активной мощности и электроэнергии определяющим является режим стационарного деления в сети 110 кВ. При этом количество линий с высокими потерями активной мощности примерно одинаково. Влияние на сис­темообразующие сети 500 кВ и выше практически отсутствует. Таким образом, стационарное деление электрических сетей рассматриваемого региона влияет на распределение потоков мощности только внутри него, не влияя на смежные энер­госистемы.**
2. **Стационарное деление электрических сетей 110 - 220 кВ позволяет ко­ординировать уровни токов КЗ с коммутационной способностью современных выключателей. При этом издержки, связанные с возмещением потерь электро­энергии при использовании стационарного деления, более чем в** 100 **раз меньше затрат на комплексное техническое перевооружение и реконструкцию распреде­лительных устройств подстанций 220 кВ на более высокие уровни токов КЗ.**
3. **При планировании развития электрических сетей мероприятия по огра­ничению токов КЗ в одной сети можно проводить практически независимо от со­стояния сети смежного класса напряжения.**

**Разработаны теоретические и практические положения, связанные с ком­плексным обоснованием эффективности ограничения уровней токов КЗ делением электрических сетей и оценкой его влияния на режимы региональной энергосис­темы, 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 - 220 кВ стационарным делением электрических се­тей, включая надежность и экономичность режимов работы конкретной энерго­системы. Это позволило предложить в рассматриваемой предметной области но­вые взгляды на традиционно принимаемые решения на стадии проектирования и эксплуатации.**
2. **Доказано, что электрические сети 110 кВ и выше, разделенные авто­трансформаторными связями, объективно незначительно влияют друг на друга с позиций роста уровней токов КЗ. Данная закономерность позволяет при значи­тельном росте нагрузки приоритетно использовать схемные решения, предложен­ные проф. Б.Н. Неклепаевым, для стабилизации уровней токов КЗ, а именно: а) перераспределения выдачи мощности электростанций между сетями различного напряжения; б) выделения части территории (регионов) сетей одного напряжения, связанных между собой только через сеть повышенного напряжения; в) наложения сетей одного и того же напряжения на площади данного региона со связью этих се­тей через сеть повышенного напряжения.**
3. **Обосновано, что оптимизация структуры и параметров высоковольтных электрических сетей с позиций ограничения уровней токов КЗ должна быть при­оритетной задачей при разработках схем развития мегаполисов. Это является науч­но обоснованной альтернативой наметившейся в последние годы и не до конца продуманной тенденции «отпускания» уровней токов КЗ в сетях 110 - 220 кВ энер­госистем страны.**

**Оценка комплексной эффективности схемных решений для ограничения уровней токов КЗ может оказаться перспективной задачей для будущих исследова­ний.**

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:**

* **при формировании структуры электрических сетей мегаполисов в усло­виях больших приростов генерации и потребления еще более обострится пробле­ма ограничения уровней токов КЗ в сетях 110 - 220 кВ. Необходимо принимать во внимание, что основными методами ограничения уровней токов КЗ на стадии проектирования являются схемные решения, а на стадии эксплуатации - стацио­нарное деление сети. Использование токоограничивающих устройств так же явля­ется одним из методов ограничения токов КЗ, но для сетей 110 - 220 кВ он, до сих пор, не нашел широкого применения;**

**\ - стационарное деление электрических сетей для ограничения уровней то­ков КЗ имеет как положительные, так и отрицательные свойства с позиций на­дежности. Положительным является разукрупнение коммутационных узлов на непосредственно электрически не связанные части. Это повышает надежность режимов работы электростанций и энергосистемы в целом за счет локализации возмущений. Отрицательным следствием стационарного деления сетей является некоторое ухудшение условий обеспечения статической и динамической устой­чивости генераторов электростанций. Однако эти изменения проявляются либо в гипотетических расчетных зонах, или имеют качественный характер.**

**Поэтому применительно к условиям мегаполисов стационарное деление электрических сетей 110 - 220 кВ следует признать в целом рациональным реше­нием с позиций надежности;**

* **основным ограничением при формировании схем выдачи мощности элек­тростанций при напряжении 110 - 220 кВ в рассматриваемом регионе является не­допущение ограничения перетоков мощности при неполной схеме по критерию длительно допустимых токовых нагрузок проводников и аппаратов, а так же сни­жения уровней напряжения по узлам сети в послеаварийных установившихся ре­жимах. Фактор устойчивости, имеющий первостепенное значение для основных сетей энергосистем, ослабевает, отходит на второй план.**
* **деление электрических сетей нарушает естественное потокораспределе- ние активной мощности, увеличивая потери мощности и энергии в сетях. Однако в рассматриваемом регионе крайне незначительные межузловые расстояния в се­тях 110 - 220 кВ, что заметно ослабляет данное отрицательное воздействие. Так, показано, что издержки, связанные с возмещением потерь электроэнергии при стационарном делении, в 100 раз меньше затрат на комплексное техническое пе­ревооружение и реконструкцию распределительных устройств подстанций 220 кВ на более высокие уровни токов КЗ.**

**Таким образом, при формировании структуры электрических сетей 110 - 220 кВ мегаполисов (то есть с учетом необходимости ограничения уровней токов КЗ) целесообразно принимать во внимание принципы, характерные для распреде­лительных сетей. Одним из основных положений является оптимизация точек де­ления сети по критерию надежности (категорийности) электроснабжения потреби­телей и минимизации потерь мощности и электроэнергии в условиях жесткого ог­раничения уровней токов КЗ в этой сети;**

* **можно приветствовать появление в перспективе новых средств ограниче­ния токов КЗ на базе высокотемпературных сверхпроводников, а так же полупро­водниковой техники для сетей 110 кВ и выше. Однако следует иметь в виду, что технико-экономическая эффективность этих средств должна быть достаточно вы­сокой. Причина кроется в том, что уровни токов КЗ, в крайнем случае, можно ста­билизировать стационарным делением сетей 110 - 220 кВ.**

Использование практических результатов:

1. **Примененный подход и полученные на его основе рекомендации по оценке комплексной эффективности ограничения уровней 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 комплексной эф­фективности ограничения уровней токов КЗ использованы ОАО «ФСК ЕЭС» при обосновании и выборе параметров основного электротехнического оборудования и схем электрических соединений подстанций единой национальной электриче­ской сети.**

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ источников**

**В.1. Неклепаев Б.Н. Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах. М.: Энергия, 1978.**

**В.2. Концепция технического перевооружения энергетического хозяйства Московского региона // Электрические станции. - 2006. - №7.**

**В.З. Исследование эффективности различных методов и средств ограниче­ния токов короткого замыкания на землю в сетях 110-750 кВ / Б.Н. Неклепаев, М.В. Пираторов, А.И. Пойдо и др.- Труды МЭИ. Вып. 521. М.: МЭИ, 1981.**

**В.4. Лисовский Г.С., Хейфиц М.Э. Главные схемы и электротехническое оборудование подстанций 35-750 кВ. М.: Энергия, 1977.**

**В.5. Ерхан Ф.М., Неклепаев Б.Н. Токи короткого замыкания и надежность энергосистем. Кишинев: Штиинца, 1985.**

**В.6. Short-circuit current levels and basic consepts for limiting them / V.V. Erc- hevich, B.N. Neklepaev, L.F. Krivushkin etc. // International conference on large high voltage electric systems. 1982. Pap. 23-09.**

**B.7. Неклепаев Б.Н. Проблема координации уровней токов короткого замы­кания на электростанциях и в электрических сетях энергосистем // Известия РАН. Энергетика. - 1993. - №6.**

**В.8. Feasibility study of passive fault current limiter / A. Nishiguchi, K. Shimo- mura, Y Sudo etc. // International conference on large high voltage electric systems. 1998. Pap. 37-104.**

**B.9. 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.: Энергоатомиздат, 2002.**

**В. 10. Электротехнический справочник. Том 3 / Под общ. ред. профессоров МЭИ.- М.: Изд-во МЭИ, 2002.**

**B.l 1. Мозгалев К. В., Неклепаев Б. Н., Шунтов А. В. Режим нейтралей и то­ки короткого замыкания в основных электрических сетях // Известия РАН. Энер­гетика. - 2001. - №5.**

**В. 12. Мозгалев К. В., Неклепаев Б. Н., Шунтов А. В. О стабилизации уров­ней токов короткого замыкания в сетях 110 кВ и выше // Электрические станции. -** 2001**.-№**12**.**

**В. 13. Мозгалев К. В., Неклепаев Б. Н., Шунтов А. В. Об эффективности за­земления нейтралей автотрансформаторов через реактор или резистор // Электри­чество. - 2004. - №1.**

**В.14. Мозгалев К. В., Неклепаев Б. Н., Шунтов А. В. Токи короткого замы­кания и эффективность стационарного деления электрической сети // Электриче­ство. - 2004. - №10.**

**В. 15. Разработка проблемы координации уровней токов короткого замыкания в энергосистемах / К. М. Антипов, А. А. Востросаблин, В. В. Жуков и др. // Элек­трические станции. - 2005. - №4. '**

**В. 16. Мозгалев К.В. Оценка эффективности ограничения токов короткого замыкания в сетях 110 - 500 кВ энергосистемы / Дисс. ... канд. техн. наук М.: МЭИ, 2005.**

**В. 17. Мелентьев JI.A. Избранные труды. Методология системных исследо­ваний в энергетике. М.: Наука. Физматлит, 1995.**