

## ОТЗЫВ

официального оппонента Шуина В.А. на диссертацию Белянина А.А. «Исследование и разработка средств защиты и локации замыканий на землю фидера распределительной сети», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

**1 Актуальность темы диссертации.** Большая часть электрической энергии распределяется потребителям через электрические сети среднего напряжения 6–35 кВ, работающие, как правило, с изолированной нейтралью, резонансным заземлением нейтрали через дугогасящий реактор или с заземлением нейтрали через высокоомный резистор. В таких сетях основным видом повреждений являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). При указанных выше режимах заземления нейтрали токи в месте ОЗЗ невелики, и замыкания часто носят дуговой прерывистый характер, сопровождающийся перенапряжениями, охватывающими всю электрически связанную сеть, а также значительным увеличением среднеквадратичного значения тока в месте повреждения. От технического совершенства (селективности и устойчивости функционирования) устройств защиты от ОЗЗ зависит быстрота определения места повреждения и его ликвидации, а, следовательно, надежность и безопасность электроснабжения потребителей. Комплексное решение проблем, связанных с ОЗЗ в электрических сетях среднего напряжения, предполагает также решение задачи определения (локации) места повреждения на линии электропередачи. Применяемые в настоящее время в распределительных сетях 6–35 кВ устройства защиты от рассматриваемого вида повреждений не всегда обеспечивают селективность и устойчивость функционирования, особенно при дуговых прерывистых ОЗЗ. Проблема определения места ОЗЗ на воздушных и кабельных линиях напряжением 6–35 кВ также не имеет эффективного решения. Поэтому тема диссертации актуальна.

**2. Анализ содержания диссертации.** Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение, библиографический список из 100 наименований и приложения. Общий объем диссертации, включая приложения, 110 стр.

Во **введении** обоснована актуальность темы работы, изложено состояние проблемы, сформулированы цель работы и задачи исследования, обосновано соответствие темы диссертации паспорту специальности 05.14.02, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, результаты, имеющие научную новизну и практическую ценность, приведены сведения по апробации, реализации и внедрению результатов работы и публикациях автора, представлена структура диссертации.

В **первой главе** приведён краткий обзор литературных и патентных источников по теме диссертации, приведена классификация применяемых в распределительных электрических сетях среднего напряжения принципов выполнения и алгоритмов функционирования устройств защиты от ОЗЗ. Из классических алгоритмов функционирования индивидуальных (на одно присоединение) устройств защиты от ОЗЗ автор особо выделяет алгоритмы, основанные на использовании электрических величин переходного процесса, возникающего при пробое изоляции фазы сети на землю, так как они, по мнению автора, наиболее полно отвечают требованиям по селективности при устойчивых и неустойчивых ОЗЗ. Следует, однако, отметить, что защиты на основе переходного процесса неработоспособны в режиме устойчивого ОЗЗ (не обладают свойством непрерывности действия при устойчивом ОЗЗ). Импульсные защиты на основе переходных процессов, к которым относится большая часть известных исполнений, фиксируют лишь пробой изоляции, с которого, как правило, начинается устойчивое ОЗЗ. Непрерывность действия при устойчивых ОЗЗ необходима для защит с действием на отключение (например, электродвигателей, ге-

нераторов, линий в электрических сетях с повышенными требованиями к электробезопасности обслуживающего персонала и вообще любых элементов сети, отключение которых при устойчивых ОЗЗ не наносит ущерба потребителям). Свойство непрерывности действия защиты от ОЗЗ, действующей на сигнал, необходимо также при поиске поврежденного участка методом оперативных переключений в сети. Поэтому эффективное решение проблемы защиты от ОЗЗ в рассматриваемых сетях можно получить только при использовании для действия защиты как переходных процессов, так и электрических величин установившегося режима ОЗЗ. Следует отметить также, что для уменьшения ущербов потребителям вследствие ОЗЗ необходима не просто защита, обладающая селективностью в существующем понимании данного свойства (например, Федосеев А.М.), но способная также распознавать опасные и неопасные для сети разновидности ОЗЗ и обеспечивать возможность автоматического выбора способа действия (сигнал или отключение). При анализе автором не учитываются также различие условий функционирования и применения защиты от ОЗЗ на различных объектах электрических сетей среднего напряжения, прежде всего кабельных (ЦП, РП, ТП), определяющие требования к защите и принципы ее выполнения. Поэтому проблема совершенствования защиты от ОЗЗ электрических сетей среднего напряжения существенно сложнее, чем это представлено в диссертации.

При сравнительном анализе известных способов определения места ОЗЗ (ОМЗЗ) на линиях электрических сетей среднего напряжения, на мой взгляд, следовало бы четко выделить два основных требования, которые определяют возможности применения тех или иных методов локации места повреждения:

1) метод должен обеспечивать дистанционное определение места (зоны) ОЗЗ на линиях, находящихся *под рабочим напряжением*;

2) метод должен обеспечивать определение места ОЗЗ *при всех разновидностях ОЗЗ*, включая дуговые прерывистые и кратковременные самоустраняющиеся пробой изоляции.

Недостаточно полон, на мой взгляд, список публикаций, относящихся к задаче ОМЗЗ на линиях электрических сетей среднего напряжения. В приведенном анализе и в библиографическом списке отсутствуют, например, ссылки на работы по проблеме ОМЗЗ, выполненные в УГНТУ (Байбурин Э.Р.), КГЭУ (Закамский Е.В., Латипов А.Г.), разработки Шалина А.И., Петрухина А.А. и др.

На основе приведенного анализа автор делает вывод, что "на настоящий момент перспектива развития алгоритмов локации замыкания на землю связана с увеличением информационной базы, а именно *привлечением информации с удаленных концов линий электропередачи*". Методы многостороннего замера актуальны в основном для воздушных сетей, ЛЭП которых имеют древовидную структуру. Однако установка устройств по концам таких ЛЭП, например, в сетях 6–10 кВ сельскохозяйственного назначения, а также в кабельных сетях городского и промышленного электроснабжения с учетом технико-экономических ограничений вряд ли оправдана.

Следует отметить также, что для кабельных сетей задачу дистанционного ОМЗЗ, как правило, достаточно решить с точностью, позволяющей определить участок (зону) с повреждением для его отключения и проведения высоковольтных испытаний с последующим точным определением места повреждения на отключенном кабельном участке. В кабельных сетях промышленного электроснабжения данная задача во многих случаях может быть решена без средств локации места (зоны) повреждения с использованием только устройств защиты от ОЗЗ на основе переходных процессов, установленных на всех объектах контролируемой сети (ЦП, РП, ТП). Точное определение места ОЗЗ требуется в основном всего для линий воздушных электрических сетей.

Учитывая это, на мой взгляд, в работе целесообразно было бы дать классификацию электрических сетей среднего напряжения и их особенностей, определяющих требования к методам локации места ОЗЗ на ЛЭП, находящихся по рабочим напряжением, и область их применения. В диссертационной работе область возможного применения исследуемых способов защиты от ОЗЗ и локации места повреждения не определена.

Основное внимание в первой главе уделяется вопросам имитационного моделирования переходных процессов при ОЗЗ и разработки алгоритмических моделей объектов (АМО), предназначенных для преобразования наблюдаемых токов и напряжений в электрические величины в каком-либо другом месте наблюдаемого объекта и распознавания его состояния. Одним из вариантов применения АМО является задача определения места ОЗЗ в наблюдаемом объекте. Показано, что наиболее подходящим методом анализа переходных процессов в ЛЭП в аспекте решения задач определения поврежденного фидера и локации места ОЗЗ является описание процессов функциями дискретного и непрерывного времени. Разработаны разностная, интегро-дифференциальная и дискретно-аналоговая алгоритмические модели ЛЭП. Дальнейшее развитие идей дискретно-аналогового моделирования привело к обнаружению новых информационных составляющих, названных нормальными и локальными, и, соответственно, нормального и локального режимов наблюдаемого объекта. Раскрыта физическая сущность локального режима полностью наблюдаемой сети и разработана методика построения модели объекта в локальном режиме. Следует отметить, что идея применения локальных составляющих и соответствующих им моделей объектов представляется весьма продуктивной, особенно при решении задачи локализации места ОЗЗ, т.к. позволяет заменить громоздкие расчеты по полной имитационной модели сети расчетами по значительно более простой локальной модели защищаемого объекта.

Рассмотренные в работе алгоритмические модели ЛЭП предполагают возможность полного наблюдения всех фазных токов и напряжений. Однако полное наблюдение фазных составляющих в электрических сетях среднего напряжения возможно не всегда. Например, оно невозможно в сетях напряжением 6–10 кВ, на ЛЭП которых ТТ устанавливаются только в фазах "А" и "С". Полное наблюдение фазных напряжений в сетях 6–10 кВ возможно, как правило, только на центрах питания (ЦП). На таких объектах кабельных сетей, как РП систем промышленного и городского электроснабжения и ТП систем промышленного электроснабжения, измерение напряжений часто предусматривается только в двух фазах. Полное наблюдение всех фазных токов и напряжений возможно, как правило, только для ЛЭП напряжением 35 кВ. Поэтому целесообразно было бы более четко указать область применения предлагаемых моделей.

В предложенных моделях фидер представляется длинной линией без потерь, а потери приближенно учитываются постоянными активными сопротивлениями, включенными в длинную линию. Необходимо более точно определить условия и область применения модели, в которой не учитывается зависимость индуктивностей и активных сопротивлений от частоты, с учетом диапазона частот токов переходного процесса, в котором предполагается вести наблюдение за процессами в контролируемом объекте. Следует отметить также, что на рабочий диапазон частот устройств защиты от ОЗЗ и локации ОЗЗ существенное влияние будут оказывать частотные характеристики ТН и ТТ, а также элементов схемы формирования сравниваемых величин. О влиянии указанных факторов в работе ничего не говорится. Не приводится также методика определения параметров модели линии.

Во второй главе рассматриваются принципы выполнения защиты от ОЗЗ, использующей дискретно-аналоговую алгоритмическую модель защищаемого объекта для составляющих нулевой последовательности. Состояние контролируемого фидера определяется на основе сопоставления наблюдаемого тока нулевой последовательности в начале фидера и тока нормального режима (без ОЗЗ), определяемого в модели нулевой последовательности защищаемой ЛЭП. Отметим, что при использовании для определения по модели тока нулевой последовательности в нормальном режиме напряжения нулевой последовательности, наблюдаемого в начале фидера, предложенный алгоритм аналогичен алгоритму с компенсацией собственного емкостного тока защищаемого присоединения. На основе предложенного алгоритма можно построить как максимальную токовую, так и направленную защиту (учитывая, что для поврежденного присоединения ток модели и наблюдаемый ток будут отличаться по фазе). Предложенный способ применим для определения поврежденного присоединения в переходных режимах ОЗЗ как в сетях с изолиро-

ванной нейтралью, так и в сетях с компенсацией емкостных токов, однако не может быть использован для определения поврежденного присоединения в установившемся режиме ОЗЗ в компенсированных сетях.

В диссертации показано, что наиболее общий подход к определению поврежденного присоединения обеспечивает применение моделей локального режима. Применение моделей локального режима при многостороннем наблюдении позволяет решить более общую задачу – определение поврежденного участка разветвленной сети.

По поводу эффективности предлагаемого способа защиты от ОЗЗ с использованием модели защищаемого объекта возникает ряд вопросов. В кабельных сетях промышленного электроснабжения на ЦП, прежде всего ГРУ ТЭЦ 6–10 кВ, часто используются групповые реакторы, при этом напряжение нулевой последовательности измеряется не в начале фидера, а на сборных шинах ГРУ за реактором, что приведет к погрешностям алгоритма. Как будет работать алгоритм в этих условиях, учитывая, что напряжение нулевой последовательности на шинных сборках за групповым реактором отличается от наблюдаемого на шинах ГРУ, особенно в переходном режиме ОЗЗ?

Известно также, что для кабельных линий определить с достаточной точностью параметры нулевой последовательности практически невозможно, учитывая неопределенность распределения тока между заземленной в нескольких точках металлической оболочкой и землей. В кабельных сетях 6–10 кВ систем промышленного электроснабжения, имеющих сложную конфигурацию (например, предприятий металлургической, целлюлозно-бумажной, нефтеперерабатывающей и др.), имеющих несколько центров питания (ТЭЦ, ГПП), возможны режимы, приводящие к изменению конфигурации и собственного емкостного тока защищаемого присоединения, т.е. и к изменению его модели (например, фидера, питающего РП или ТП при действии АВР на секционном выключателе, отключении отдельных присоединений, подключенных к секции шин РП или ТП и др.). В модели линии учесть изменения параметров модели, связанные с изменениями режима работы защищаемого фидера, невозможно, что приведет к погрешностям функционирования и ограничению области применения защиты, основанной на сравнении наблюдаемого тока и тока, определяемого в модели. В чем тогда заключаются преимущества предложенного способа выполнения защиты по сравнению с направленными защитами, основанными на контроле фазных соотношений между напряжением и током нулевой последовательности, и не имеющими указанного недостатка?

Для отстройки от небаланса сигнала на выходе неповрежденного фидера, обусловленного влиянием верхнечастотной части спектра входных сигналов, создаваемой линейной интерполяцией входных величин в переходном процессе, автор предлагает устанавливать на входах алгоритмической модели аналоговые *RC*-фильтры первого порядка с частотой среза 1 кГц. Однако такой фильтр будет подавлять и высокочастотные составляющие тока, определяемого в модели поврежденного присоединения. Для исключения токовых и фазовых погрешностей частотные характеристики каналов наблюдаемого тока и напряжения нулевой последовательности, а также канала тока, определяемого в модели, должны быть согласованы.

Следует отметить также, что указанном значении частоты среза фильтров и характерных для сетей 6–10 кВ длинах ВЛ и КЛ фидер может быть представлен не моделью длинной линии, а более простой моделью с сосредоточенными параметрами (длина линии значительно меньше длины электромагнитной волны).

На приведенной на рис. 2.10 плоскости замеров защиты на поврежденном и неповрежденном присоединениях не учтены погрешности функционирования, обусловленные неточностью определения параметров нулевой последовательности линий (прежде всего, КЛ), возможными изменениями конфигурации и параметров линии с учетом режимов ее работы в реальной сети, погрешностями ТТ, ТН и др. Поэтому неясно, как на основе указанных замеров можно реализовать характеристику срабатывания защиты, обеспечивающую устойчивость функционирования защиты.

**Третья глава** посвящена исследованию методов локации ОЗЗ и двойных замыканий на землю в фидерах распределительной электрической сети среднего напряжения. Метод дискретно-аналогового алгоритмического моделирования представляет локацию повреждения как поиск минимума невязки (в качестве которой берется среднеквадратическое отклонение наблюдаемого тока и тока, определяемого в модели, на окне наблюдения) в зависимости от аварийных параметров модели (расстояния до места ОЗЗ и величины переходного сопротивления в месте повреждения). Показано, что недостатком метода является необходимость учета модели повреждения при построении дискретно-аналоговой модели перебора большого числа расчетных режимов. Не ясно, зачем автор рассматривает применение данного алгоритма к неповрежденному присоединению (стр. 60, 61): решение задачи локации ОЗЗ, как правило, предполагает сначала определение поврежденного присоединения.

Показано, что более перспективным подходом к решению задачи локации ОЗЗ является использование энергетического критерия повреждения, который исходит из допущения о резистивности замыкания. Разработан алгоритм определения места ОЗЗ с использованием энергетического критерия. Показано, что при полном двустороннем наблюдении объекта задачу локации повреждения эффективно решает метод локализации. Однако двустороннее наблюдение, как отмечалось выше, из-за технико-экономических ограничений может быть реализовано не во всех распределительных сетях, в связи с чем предложен способ решения задачи локации ОЗЗ методом локализации на основе одностороннего наблюдения с привлечением информации о параметрах нагрузки удаленного конца фидера. Рассмотрено также применение метода локализации повреждений в электрической сети для определения мест двойного замыкания на землю.

По поводу предложенных методов локации ОЗЗ и двойных замыканий на землю следует отметить, что в работе отсутствует анализ влияния на точность определения места повреждения различного рода погрешностей, например, погрешностей задания параметров модели особенно для нулевой последовательности, частотной зависимости продольных индуктивности и активного сопротивления, неоднородности реальных кабельных присоединений, погрешностей ТТ и ТН, и др.

В задаче локации двойных замыканий на землю рассматривается только наиболее простой с точки зрения решения случай, когда обе точки ОЗЗ располагаются на одном фидере (например, рис. 3.17). Следует отметить также, что схемы замещения (модели) линии в фазных координатах (рис. 3.17, 3.18) не позволяют точно учесть особенности токо-распределения в сети при двойных замыканиях на землю.

**Четвёртая глава** посвящена разработке микропроцессорной селективной защиты от ОЗЗ воздушных и кабельных линий электропередачи 6-35 кВ с любым режимом нейтрали, разработанного ИЦ "Бреслер" совместно с ОАО "ЭНИН" (устройство типа «ТОР 110-ИЗН»). В этой же главе представлены результаты апробации разработанных и принятых к внедрению способов определения поврежденного фидера.

На основе полученных в результате эксплуатации устройства защиты "ТОР 110-ИЗН" осциллограмм ОЗЗ проведены испытания алгоритма определения поврежденного присоединения с использованием теории нормальных и локальных режимов. Проведенные испытания доказали работоспособность алгоритма и информационную значимость обнаруженных составляющих.

Практический интерес представляют также результаты анализа статистических данных по разновидностям ОЗЗ, полученных в процессе эксплуатации устройства «ТОР 110-ИЗН» на подстанциях «Новошешминская» (г. Чистополь), «Олимпийская» (г. Волгоград), «Рубин» и «Туменская» (г. Коломна), Ханты-Мансийская. По результатам анализа автором к наиболее опасным дуговым перемежающимся ОЗЗ (ДПОЗЗ) отнесено менее 1% всех замыканий на землю. Полученные процентные соотношения различных видов ОЗЗ расходятся с данными, встречающимися в литературных источниках. Указанные расхождения, на мой взгляд, обусловлены тем, что автором к ДПОЗЗ отнесены только дуговые прерывистые ОЗЗ по теории W. Petersen, в соответствии с которой гашения и повторные

зажигания заземляющей дуги происходят каждые 10 мс. Эта разновидность дуговых прерывистых ОЗЗ сопровождается наибольшими перенапряжениями на неповрежденных фазах и является наиболее опасной разновидностью дуговых прерывистых ОЗЗ. Однако опасные перенапряжения возникают и при значительно больших интервалах времени между повторными пробоями (до 50-80 мс). Такие дуговые прерывистые ОЗЗ, учитывая их опасность для всей электрически связанной сети, работающей с изолированной нейтралью, также следует отнести к ДПОЗЗ.

**3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна.** Анализ содержания диссертационной работы позволяет сделать заключение о достаточной степени обоснованности сформулированных в ней научных положений, выводов и рекомендаций. Автор всесторонне проанализировал решаемые в диссертации задачи и предложил эффективные подходы и методы их решения.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту, а именно: алгоритмические модели фидера распределительной сети и понятие локального процесса в полностью наблюдаемой электрической сети; способы определения поврежденного фидера с использованием алгоритмического моделирования и способы определения мест однофазных и двойных замыканий на землю в распределительной сети; приложение теоретических результатов к разработке селективной защиты от замыканий на землю в распределительной сети; обобщение результатов эксплуатации защиты и результаты апробация разработанного алгоритма определения поврежденного фидера с использованием реальных осциллограмм замыканий на землю, позволяют заключить, что диссертация является серьезным достижением в решении сложной научно-технической задачи совершенствования защиты и методов локации однофазных замыканий на землю в распределительных электрических сетях среднего напряжения, внедрение которых обеспечивает повышение надежности работы сетей и электроснабжения потребителей.

**4. Публикации** автора в достаточной степени отражают результаты, полученные в диссертации. Автореферат в достаточном объеме раскрывает содержание диссертации, ее основные положения, выводы и рекомендации.

### **5. Замечания и вопросы:**

1. Нельзя согласиться с мнением автора, что защиты от ОЗЗ на основе переходных процессов наиболее полно отвечают требованиям по селективности при устойчивых и неустойчивых ОЗЗ. Указанные защиты не обладают свойством непрерывности действия при устойчивых ОЗЗ, необходимой для защит с действием на отключение и в некоторых случаях для защит с действием на сигнал. Полноценное комплексное решение проблемы защиты от ОЗЗ в электрических сетях среднего напряжения можно получить только при использовании для действия защиты как переходных процессов, так и электрических величин установившегося режима ОЗЗ. Следует отметить также, что для повышения надежности работы сетей среднего напряжения и электроснабжения потребителей необходима не просто защита, обладающая селективностью в существующем понимании данного свойства, но способная распознавать опасные и неопасные для сети разновидности ОЗЗ и обеспечивать возможность автоматического выбора способа действия (сигнал или отключение). Поэтому проблема защиты от ОЗЗ в сетях среднего напряжения существенно сложнее, чем это представлено в диссертации.

2. В работе отсутствует анализ особенностей объекта исследований, определяющих требования к способам защиты и локации ОЗЗ, принципы выполнения (алгоритмы функционирования) устройств локации, требования к точности, возможности и условия их применения и др. (класс напряжения сети, назначение, конструктивное выполнение линий электропередачи, оснащенность ТТ и ТН, особенности конфигурации сетей и др.). В частности, с учетом указанных особенностей применение способов выполнения селективной

защиты и локации ОЗЗ, основанных на полном наблюдении фазных составляющих тока и напряжения объекта, а также способов локации ОЗЗ, основанных на использовании информации с удаленных концов линии электропередачи, практически возможно только в сетях напряжением 35 кВ.

3. В предложенных алгоритмических моделях ЛЭП не учитывается зависимость индуктивностей и активных сопротивлений от частоты. Необходимо более точно определить условия и область применения таких моделей с учетом диапазона частот токов переходного процесса, в котором предполагается вести наблюдение за процессами в контролируемом объекте, а также частотных характеристик ТТ, ТН и элементов схемы формирования сравниваемых величин в устройствах защиты и локации ОЗЗ.

4. Для кабельных линий определить с достаточной точностью параметры нулевой последовательности практически невозможно, учитывая неопределенность распределения тока между заземленной в нескольких точках металлической оболочкой и землей. В алгоритмических моделях ЛЭП не учитываются также изменения режима работы защищаемого фидера, приводящие к изменению его конфигурации, длины, собственного емкостного тока. Это приведет к ограничению области возможного применения предложенного способа выполнения защиты от ОЗЗ и точности предложенных методов локации ОЗЗ.

5. С учетом п. 4 неясно, в чем заключаются преимущества предложенного способа выполнения защиты от ОЗЗ с моделью защищаемой линии по сравнению с направленными защитами на основе переходных процессов?

6. Для отстройки от небаланса сигнала на выходе неповрежденного фидера, обусловленного влиянием верхнечастотной части спектра входных сигналов, создаваемой линейной интерполяцией входных величин в переходном процессе, на входах алгоритмической модели предусмотрены аналоговые *RC*-фильтры первого порядка с частотой среза 1 кГц. С учетом необходимости ограничения верхней частоты спектра частот наблюдаемого процесса (см. также п. 3) в алгоритмических моделях фидера можно использовать не длинную линию, а более простую схему замещения линии с сосредоточенными параметрами.

7. Необходимость ограничения "сверху" рабочего диапазона частот наблюдаемых переходных токов и напряжений при определенных параметрах контролируемой сети и линий может привести к практически полному подавлению т.н. разрядных составляющих, значения которых в основном и зависят от удаленности места ОЗЗ. В то же время значения зарядных составляющих во многих случаях практически не зависят от расстояния до места повреждения. Как это скажется на точности предлагаемых методов локации ОЗЗ.

8. В задаче локации двойных замыканий на землю рассматривается только наиболее простой с точки зрения решения задачи случай, когда обе точки ОЗЗ располагаются на одном фидере. Более частым является случай, когда места замыканий на землю находятся на разных фидерах. Следует отметить также, что схемы замещения (модели) линии в фазных координатах не позволяют достаточно точно учесть особенности токораспределения в сети при двойных замыканиях на землю.

## 6. Заключение

В целом, несмотря на указанные выше вопросы и замечания, необходимо отметить, что диссертация Белянина А.А. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны научно обоснованные технические решения в части принципов выполнения селективной защиты и методов локации однофазных и двойных замыканий на землю в распределительных электрических сетях среднего напряжения, представляющие существенный вклад в развитие методов повышения эффективности работы указанных сетей и надежности электроснабжения потребителей. Результаты работы получили внедрение в электрических сетях среднего напряжения и могут найти широкое применение в проектных и научно-исследовательских организациях, занимающихся проблемами совершенствования защит от однофазных замыканий на землю и методов их локации. Диссертация соответствует требованиям ВАК,

предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, а ее автор, Белянин А.А., заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры "Автоматическое управление  
ЭЭС" ФГБОУ ВПО "Ивановский государственный  
энергетический университет имени В.И. Ленина"

Шуин Владимир  
Александрович

153003, г. Иваново,  
ул. Рабфаковская, 34  
Тел. (4932) 269806  
E-mail: shuin@rza.ispu.ru; vshuin@mail.ru

16 ноября 2015 г.

Подпись Шуина В.А. заверяю:

Секретарь Ученого совета  
Ивановского государственного  
энергетического университета

О.А. Ширяева

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Кафедра «Автоматическое управление электроэнергетическими системами»