

ОТЗЫВ

официального оппонента Шуина В.А. на диссертацию

Антонова Владислава Ивановича

«Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике»,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук
по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

1. Актуальность темы диссертации. В России, как и в многих других странах, создание интеллектуальных электроэнергетических систем (Smart Grids) и «умных» электрических сетей является главным направлением технологического развития электроэнергетики. Интеллектуальные электроэнергетические системы (ЭЭС) предполагают применение активных элементов, воздействующих на генерацию, топологию и режимы работы электрических сетей и потребителей. Указанные особенности работы интеллектуальных ЭЭС и «умных сетей» требуют создания новых средств автоматического управления и мониторинга, в частности, систем релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗ и ПА), основанных на широком использовании высокоточных измерений электрических величин и адаптивных методов и алгоритмов обработки сигналов.

В настоящее время возможности повышения эффективности функционирования систем РЗ и ПА, основанных на использовании традиционных методов и алгоритмов обработки сигналов, без существенного увеличения объема и качества информации о контролируемом объекте практически исчерпаны. Дальнейшее повышение технического совершенства систем РЗ и ПА до уровня требований, предъявляемых интеллектуальными ЭЭС, возможно только на основе существенного увеличения объема и качества информации о контролируемых объектах. Опыт отечественных и зарубежных исследований, особенно на протяжении последних 10–15 лет, показывает, что значительной информационной ценностью обладают «скрытые» составляющие электрических процессов в ЭЭС, которые в традиционных системах мониторинга и автоматического управления практически не используются, что значительно ограничивает возможности повышения эффективности их функционирования. Автором обоснованно выбрана тема диссертационной работы, связанная с разработкой и совершенствованием теоретического и методического обеспечения современных цифровых систем автоматического управления и мониторинга в интеллектуальной электроэнергетике на основе развития идей и теории адаптивного распознавания структуры электрических сигналов (структурного анализа сигналов) и созданием на этой основе единого подхода к методам идентификации структуры сигналов интеллектуальной электроэнергетики. Применение методов структурного анализа позволяет создать новые алгоритмы цифровой обработки сигналов, способствующих повышению эффективности систем автоматического управления и мониторинга ЭЭС, прежде всего, быстродействия и устойчивости функционирования систем РЗ и ПА, и, на той основе, устойчивости и надежности функционирования интеллектуальных энергосистем.

Тема диссертации, несомненно, актуальна.

2. Анализ содержания диссертации. Диссертация содержит введение, 6 глав, заключение, список литературы и приложения.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, поставлены задачи исследования, дан краткий анализ разработанности темы иссле-

дований, обоснованы методы исследований, даны основные положения, определяющие научную новизны и практическую ценность полученных результатов, приведены сведения об апробации и реализации результатов работы.

В **главе 1** рассматриваются свойства сигналов интеллектуальной ЭЭС, формулируется базис собственных мод электрической системы и устанавливается его связь с характеристическим уравнением системы. Принимается допущение, что информационные составляющие сигнала текущего режима ЭЭС (свободные и принужденные) могут быть представлены полностью как линейная совокупность собственных мод, в которой сигнал свободного движения электрической системы представляет собой сумму взвешенных собственных мод системы, полностью согласованных с множеством корней ее характеристического уравнения, а компоненты принужденной составляющей, включая высшие гармоники, определяются источниками энергосистемы.

Рассматривается природа шума в цифровых сигналах интеллектуальной электроэнергетики, показано, что она в основном связана с погрешностями тракта измерения и АЦП. Показано также, что для прецизионного распознавания структуры сигнала необходима ее предварительная обработка, включающая в себя операции удаления тренда и коррекции отсчетов с выбросами.

Выделены две задачи структурного анализа сигнала электрической системы: общая, представляющая структуру сигнала ее в виде интервалов однородности, и локальная, определяющая компонентный состав сигнала в пределах заданного интервала однородности с использованием методов теории адаптивных структурных моделей. Показано, что возможности локального структурного анализа полностью определяются субстантивными свойствами адаптивных структурных моделей.

В **главе 2** разрабатываются основы теории адаптивных структурных моделей переходного режима ЭЭС, обобщающей научные достижения в области адаптивного распознавания сигналов. и формирующей единый подход к методам идентификации структуры сигналов интеллектуальной энергетики.

Показано, что структура сигнала будет распознана, если в структурной модели сформировано эффективное ядро, корни характеристического уравнения которого согласованы с информационными слагаемыми сигнала, а при обработке сигнала с шумом – только с существенными составляющими сигнала. При указанном подходе к распознаванию структуры сигнала основным препятствием к достижению полной информационной согласованности модели и сигнала является шум в сигнале. Введено понятие эффективного фильтра, представляемого как каскадно соединенные фильтр эффективного ядра и фильтр шума. Введение понятия эффективного фильтра важно по той причине, что один и тот же сигнал может быть распознан фильтрами различного порядка, ресурсов которых достаточно для формирования эффективного ядра, т.е. эффективными фильтрами.

Впервые формулируются исследуемые в этой главе фундаментальные свойства структурных моделей. Показана фундаментальная роль фильтра шума в распознавании сигнала, заключающаяся не столько в ослаблении шума, а сколько в значительном избирательном усилении составляющих эффективного ядра. Дан анализ факторов, влияющих на разрешающую способность структурных моделей. Показано, что главными факторами, влияющими на разрешающую способность структурной модели, являются: конкуренция

составляющих фильтра эффективного ядра; порядок первоначального фильтра; частота дискретизации и децимация отсчетов невязок. В работе доказано, что способ повышения разрешающей способности алгоритма путем увеличения частоты дискретизации приводит к противоположному результату, поскольку уменьшение интервала времени между соседними отсчетами делает изменение сигнала слабо различимым для обработки. Обосновано повышение разрешающей способности за счет внутримодельной децимации отсчетов. Показано, что виртуальное повышение интервала дискретизации устраняет *внутреннюю конкуренцию* составляющих эффективного ядра и значительно уменьшает необходимый порядок фильтра шума.

В главе 3 теория структурных моделей распространяется на неадаптивные и гибридные модели. Излагается основы неадаптивных структурных моделей, использующих представление синусоидальных величин в базисе ортогональных составляющих опорной частоты. Исследование основных свойств неадаптивных структурных моделей представляет интерес, так как они наиболее эффективны при обработке сигналов установившегося режима ЭЭС, а в практике РЗ и ПА часто применяются и для анализа сигнала переходного режима.

Сформулированы генеральные свойства ортогональных составляющих, заключающиеся в том, что гармоническая составляющая сигнала электрической сети может быть представлена в ортогональном базисе синусоидальных составляющих выбранной опорной частоты с помощью ортогональных составляющих, аргументы которых в общем случае изменяются во времени пропорционально разности частот гармоник и базиса. Из множества методов оценки ортогональных составляющих автором выделены два основных, первый из которых основан на преобразовании частоты и последующей фильтрации, а второй – на оптимальных оценках по методу наименьших квадратов (МНК). Показано, что первый метод достигает своих предельных возможностей только при использовании идеального фильтра нижних частот с относительно узкой полосой пропускания, что существенно ограничивает быстродействие фильтра. В целях повышения быстродействия автором предлагаются модифицированные фильтры Фурье, использующие сокращенные окна и различные линейные операторы для предварительной обработки входного сигнала и промежуточных сигналов. Обоснованы преимущества методов оптимальной оценки ортогональных составляющих с использованием МНК, окно обработки которых определяется лишь количеством гармоник в сигнале.

Определена структура гибридной модели, рассматриваемой как линейный оператор, обладающий универсальностью адаптивных и эффективностью неадаптивных моделей. Показано, что лучшей эффективностью обладают гибридные фильтры, когда частоты гармоник ее неадаптивной части полностью согласованы с периодическими слагаемыми сигнала.

В главе 4 исследуются методы разрешения априорной структурной неопределенности сигнала и построения эффективных структурных моделей. Предложен новый алгоритм разрешения структурной неопределенности сигналов, работающий в темпе развития аварийного процесса в ЭЭС. Важным качеством алгоритма является его способность формировать эффективную структурную модель с непрерывным контролем достоверности результата во время ее настройки. Задача построения эффективной структурной модели

рассматривается как решение системы уравнений, представляемой в терминах матричной алгебры. Задача оценивания вектора коэффициентов модели формулируется в двух формах: первая как решение классической задачи МНК и вторая – как решение общей задачи МНК. Показано, что возможности структурных моделей, предназначенных для работы на коротком отрезке данных и имеющих небольшой порядок, кардинально зависят от методов настройки и достигают наибольшей эффективности при использовании общего решения МНК с минимальной нормой. Возможности рассмотренных методов в части распознавания сигнала исследованы при допущении, что в сигнале присутствует только белый гауссовский шум, а полезная часть сигнала не взаимодействует с шумом. На основе результатов вычислительных экспериментов показано, что при принятых допущениях при распознавании сигнала с шумом структура сигнала может быть определена, если фильтр шума имеет достаточно ресурсов, чтобы повысить отношение сигнал/шум до необходимого уровня, а разница в методах настройки проявляется только при малых порядках модели, когда ресурсов фильтра шума недостаточно.

Предложены новые методы настройки адаптивных структурных моделей, основанный на наложении промежуточных фильтров-прототипов и обеспечивающий распознавание структуры сигнала в темпе развития процесса в ЭЭС, что особенно актуальных для цифровой РЗ и ПА и для устройств векторных измерений. В отличие от указанных выше методов настройки при приемлемом уровне точности оценок частоты и коэффициента затухания составляющих распознаваемого сигнала метод наложения моделей требует значительно меньше вычислительных ресурсов от интеллектуальных устройств Smart Grid.

В **главе 5** разрабатывается общая теория адаптивного структурного анализа цифрового сигнала электрической системы, соединяющая в себе методы теории адаптивных структурных моделей и компонентного анализа и обеспечивающая определение интегрированной структуры сигнала в темпе развития аварийного процесса в энергосистеме.

Рассматриваются основные инструменты и правила структурного анализа цифровых осциллограмм. Для этого с применением методов общей теории структурного анализа сигнала решаются следующие основные задачи: а) сегментация сигнала – разделение осциллограммы сигнала на множество интервалов однородности; б) формирование экстраполирующего фильтра; в) обнаружение возможных выбросов (потерь) в отсчетах сигнала и их коррекция; г) определение границы интервала с помощью экстраполирующего фильтра. Показано, что методы сегментации осциллограммы и определения границ интервалов однородности могут быть построены как алгоритмы РЗ, использующие многоканальную структуру обработки входного сигнала и многомерные характеристики срабатывания. В приложениях WAPS методы определения границ интервалов приобретают самостоятельное значение, формируя основу алгоритмов определения смены режима в различных пусковых органах РЗ.

Предлагаются новые методы компонентного анализа сигналов электроэнергетики, обеспечивающие согласованность компонентов модели с сигналом и повышающие устойчивость функционирования систем мониторинга, управления и релейной защиты интеллектуальной электроэнергетики. Разработанные методы компонентного анализа сигналов формируют ранее не известные правила построения однозначной и компактной модели распознаваемого сигнала, позволяющие избежать множественности структуры сигнала за счет эффективных методов разбиения структурной модели на эффективное ядро и фильтр шума.

Рассматриваются алгоритмы предварительной обработки цифровых осциллограмм и определения частоты сети, обеспечивающие повышение точности и робастности алгоритмов адаптивного структурного анализа. Разработаны новые адаптивные методы предварительной обработки распознаваемого сигнала, в том числе алгоритмы оценки частоты сети, удаления тренда, локализации и коррекции отсчетов с выбросами (или потерянных отсчетов), повышающие разрешающую способность структурного анализа сигнала и обладающие способностью непрерывного контроля уровня достоверности оценок.

Глава 6 посвящена разработке методических основ применения адаптивного структурного анализа в различных приложениях интеллектуальной электроэнергетики: РЗ и ПА, мониторинге, управлении и исследовании поведения интеллектуальной ЭЭС.

Описывается разработанная автором интерактивная среда адаптивного структурного анализа сигналов ЭЭС с использованием всех рассмотренных в диссертации методов настройки структурной модели, реализованная в Simulink Matlab и предназначенная как для исследовательских, так и учебных целей.

Излагаются методические основы применения методов теории структурного анализа в задачах интеллектуальной электроэнергетики, а именно: в задачах, связанных с разработкой и совершенствованием РЗ ЭЭС с высоковольтными передачами постоянного тока и быстродействующей РЗ, способной распознать структуру сигнала на временном отрезке менее периода в темпе развития аварийного процесса; задачах мониторинга низкочастотных колебаний в ЭЭС; задачах идентификации системных функций и диагностики технического состояния элементов электрической сети; системах сбора и передачи технологической информации.

Предлагается применение адаптивного структурного анализа в задаче активно-адаптивного распознавания «слабой» информационной слагаемой, что актуально, в частности, при выполнении защиты генераторов от замыканий на землю в обмотке статора, основанной на использовании «наложенных токов» непромышленной частоты. Показано, что классический подход к решению этой задачи, основанный на использовании режекторных фильтров с высокой добротностью, настроенных на усиление информационной слагаемой и подавление других компонентов сигнала, не обеспечивает стабильных характеристик распознавания, что приводит к значительному ослаблению избирательности фильтра при девиации частоты информационной слагаемой и снижению чувствительности защиты.

Преимущества применения методов адаптивного структурного анализа в системах автоматического управления ЭЭС в переходных режимах иллюстрируется разработкой принципов выполнения цифрового устройства контролируемого автоматического повторного включения компенсированной транзитной линии в работу.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна. Детальный анализ содержания диссертационной работы позволяет сделать заключение о высокой обоснованности сформулированных в ней научных положений, выводов и рекомендаций. Автор глубоко проанализировал затронутые в диссертации проблемы и предложил эффективные подходы и методы их решения.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту, а именно:

– теория адаптивных структурных моделей сигналов, обобщающая научные дости-

жения в области адаптивных алгоритмов распознавания сигналов и формирующая единый подход к методам идентификации структуры сигналов в новых системах мониторинга, управления и релейной защиты и автоматики интеллектуальной электроэнергетики;

– новые методы компонентного анализа сигналов электроэнергетики, обеспечивающие согласованность компонентов модели с сигналом, при ограниченном числе ее компонентов;

– общая теория адаптивного структурного анализа сигналов электроэнергетики, объединяющая в себе методы теории адаптивных структурных моделей и компонентного анализа и обеспечивающая определение интегрированной структуры сигнала в темпе развития аварийного процесса в ЭЭС;

– новый алгоритм разрешения структурной неопределенности сигнала для цифровых устройств РЗ и ПА и систем управления интеллектуальной ЭЭС, работающих в темпе развития аварийного процесса в электрической системе.

– новые адаптивные методы предварительной обработки распознаваемого сигнала, повышающие разрешающую способность и достоверность оценок структурного анализа сигнала, обеспечивая улучшение быстродействия и устойчивости функционирования систем РЗ и ПА и совершенствование систем мониторинга и управления интеллектуальными энергосистемами;

– методические основы применения адаптивного структурного анализа в различных приложениях интеллектуальной электроэнергетики, формирующие базу знаний и эксперимента, достаточной для использования ее как руководство при внедрении положений теории адаптивного структурного анализа в различные приложения интеллектуальной электроэнергетики,

позволяет заключить, что диссертация является новым крупным достижением в развитии актуального для электроэнергетики научного направления

Достоверность полученных результатов и выводов работы подтверждается результатами математического моделирования и экспериментальных исследований на программно-техническом комплексе испытаний в реальном масштабе времени RTDS; апробации положений и методов теории в программно-технических комплексах Испытательного полигона современных систем релейной защиты, автоматики и управления ООО НПП ЭКРА и на цифровом полигоне Нижегородской ГЭС; опытом эксплуатации в энергосистемах России различных устройств релейной защиты и автоматики на базе серийно выпускаемых микропроцессорных терминалов релейной защиты и автоматики ЭКРА 200 (НПП «ЭКРА») и «Бреслер-0107» (НПП «Бреслер»), использующих разработанные в настоящей работе методы структурного анализа.

Научную новизну представляют следующие результаты работы:

1) теория адаптивных структурных моделей сигналов, обобщающая научные достижения в области адаптивных алгоритмов распознавания сигналов, используемых в системах автоматического управления и мониторинга ЭЭС и их объектами, и формирующая единый подход к методам идентификации их структуры;

2) методы компонентного анализа сигналов электроэнергетики и построения однозначной и компактной модели распознаваемого сигнала на основе разработанной в работе теории адаптивных структурных моделей;

3) общая теория структурного анализа сигналов, позволяющая в темпе развития аварийного процесса в ЭЭС определять интегрированную структуру сигнала, разделяя его на интервалы однородности и компонентный состав сигнала на выделенных интервалах;

4) методические основы применения и реализации положений структурного анализа сигналов в различных задачах РЗ и ПА, мониторинга и управления ЭЭС и их объектами.

Теоретическую ценность работы представляют:

1) теория адаптивных структурных моделей сигналов в электроэнергетике, обобщающая научные достижения в области адаптивных алгоритмов распознавания сигналов и формирующая единый подход к методам идентификации их структуры в новых системах мониторинга, управления, РЗ и ПА интеллектуальных ЭЭС и их объектов;

2) новые методы компонентного анализа сигналов электроэнергетики, обеспечивающие согласованность компонентов модели с сигналом и повышающие устойчивость функционирования интеллектуальных систем мониторинга, управления, РЗ и ПА ЭЭС;

3) общая теория адаптивного структурного анализа сигналов электроэнергетики, объединяющая в себе методы теории адаптивных структурных моделей и компонентного анализа и обеспечивающая определение интегрированной структуры сигнала в темпе развития аварийного процесса в ЭЭС;

4) новый метод разрешения структурной неопределенности сигнала для цифровых систем мониторинга и автоматического управления интеллектуальной энергосистемой, работающих в темпе развития аварийного процесса в электрической системе;

5) новые адаптивные методы предварительной обработки распознаваемого сигнала, повышающие разрешающую способность и достоверность оценок структурного анализа сигнала, обеспечивая повышение быстродействия и устойчивости функционирования систем РЗ и ПА и совершенствование систем мониторинга и управления интеллектуальными ЭЭС.

Практическую ценность работы определяют:

1) разработанные методические основы применения адаптивного структурного анализа, позволяющие сформировать базу знаний и эксперимента для использования ее как руководство при внедрении положений теории адаптивного структурного анализа в различных практических приложениях интеллектуальной электроэнергетики;

2) разработанное алгоритмическое обеспечение для нового кластера программно-технических средств и устройств РЗ и ПА, мониторинга и управления интеллектуальными ЭЭС, использующее адаптивный структурный анализ и включающие в себя следующие алгоритмы: РЗ электрических систем с высоковольтными передачами постоянного тока; быстродействующей РЗ, способной принять решение на основе анализа короткого участка аварийного процесса; автономных устройств ОМП на линиях электропередачи; защиты генераторов от замыканий на землю в обмотке статора с активно-адаптивным распознаванием слабой информационной слагаемой; мониторинга низкочастотных колебаний в электроэнергетической системе; интеллектуального (контролируемого) АПВ транзитных ЛЭП и др.

Результаты работы внедрены в устройствах РЗ и ПА, выпускаемых ООО НПП «ЭКРА» (г. Чебоксары), ООО «НПП Бреслер» (г. Чебоксары), ООО «Инженерный центр «Энергосервис» (г. Архангельск), а также в учебный процесс подготовки и повышения квалификации специалистов-энергетиков в ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова» (г. Чебоксары), в Высшей школе энергетики, нефти и газа ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (г. Архангельск), в ФГАОУ ДПО "ПЭИПК (С.-Петербург), в НОУ ДПО «ИПК РЗА» (г. Чебоксары).

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

5. Основные замечания и вопросы по диссертационной работе

5.1. В работе принята линейная аддитивная модель сигнала. Насколько это обосновано для сигналов в электроэнергетике? В частности, даже в установившемся режиме работы ЭЭС спектр высших гармоник и уровень отдельных составляющих в напряжениях и токах сети существенно зависит от уровня составляющей основной частоты, а в переходных режимах амплитуда и фаза свободных составляющих – от фазы основной составляющей в момент возникновения повреждения. На условия применимости указанной модели сигнала могут влиять также частотная зависимость параметров линий, нелинейные искажения сигнала в каналах связи и первичных преобразователях напряжения и тока, нелинейные методы обработки информации, применяемые иногда в устройствах автоматического управления и другие факторы. При использовании в РЗ каналов связи возможно также появление мультипликативных помех.

На мой взгляд, следует оговорить условия применимости принятой модели.

5.2. Можно ли принять, что шумовая составляющая сигнала в электроэнергетике всегда имеет гауссовский закон распределения? Например, при прохождении сигнала через нелинейные элементы, применяемые в схеме формирования сравниваемых величин некоторых устройств РЗ, изменяется и закон распределения шума.

5.3. Одной из основных целей применения методов структурного анализа сигналов является повышение эффективности функционирования РЗ, оцениваемой такими свойствами, как быстродействие, отстроенность от внешних КЗ и режимов без КЗ, чувствительность при внутренних КЗ, защитоспособность и др. В диссертации отсутствуют конкретные оценки в части возможности повышения быстродействия и уменьшения нормативных значений коэффициентов чувствительности $K_{ч,мин}$ (ПУЭ) и коэффициентов отстроенности $K_{отс}$ (методики выбора уставок), значения которых в конечном итоге и определяют реальную эффективность функционирования РЗ.

5.4. В реальных исполнениях цифровых устройств РЗ во входных цепях тока и напряжения, как правило, предусматривается применение аналоговых RC-фильтров. Как это может повлиять на распознавание структуры исходного сигнала?

5.5. В защитах от однофазных замыканий на землю в обмотке статора генераторов, основанных на использовании различных составляющих установившегося режима (например, «наложенных токов», высших гармоник) основной проблемой является обеспечение селективности и устойчивости функционирования при наиболее опасных для генератора дуговых перемежающихся замыканиях. При некоторых разновидностях дуговых замыканий длительность импульсов тока может составлять сотни микросекунд, при этом интервалы между повторными зажиганиями заземляющей дуги не являются постоянными, а могут меняться от ~10 мс (замыкание по теории W Petersen) до нескольких десятков миллисекунд. Насколько эффективны при таких повреждениях предлагаемый метод и алгоритм распознавания слабой информационной составляющей сигнала?

5.6. Можно ли использовать разработанные в диссертации методы и алгоритмы распознавания структуры сигнала в устройствах релейной защиты, основанных на использовании электрических величин переходных процессов?

5.7. Могут ли предлагаемые методы и алгоритмы распознавания структуры сигнала обеспечивать высокое быстродействие РЗ в условиях насыщения трансформаторов тока за счет влияния апериодической составляющей тока КЗ и остаточной индукции в магнитопроводе?

6. Заключение

В целом, несмотря на указанные выше вопросы и замечания, необходимо отметить, что диссертация Антонова В.И. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработана теория адаптивного структурного анализа электрических сигналов и методические основы внедрения ее положений в современные приложения интеллектуальной электроэнергетики, вносящие крупный вклад в развитие научного направления, связанного с повышением эффективности функционирования релейной защиты, противоаварийной автоматики, систем мониторинга и управления электроэнергетическими системами и их объектами. Результаты работы получили внедрение на ведущих научно-производственных предприятиях России, выпускающих современные микропроцессорные системы автоматического управления для электроэнергетики, в научно-исследовательских организациях и учебном процессе подготовки и повышения квалификации специалистов в области автоматического управления электроэнергетическими системами.

Диссертация соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г., № 842. Диссертация соответствует формуле и области исследований по паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

На основании вышеизложенного считаю, что Антонов Владислав Иванович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы».

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Автоматическое управление
электроэнергетическими системами» (АУЭС)
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
энергетический университет им. В.И. Ленина»

Владимир Александрович Шуин

18 мая 2018 г.

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

Адрес: 153003, г. Иваново, Рабфаковская, 34, корпус «В», кафедра АУЭС.

Тел. +7 (4932) 296905;

Моб. тел. +7 910981993;

E-mail: vshuin@mail.ru

Подпись Шуина В.А. 

Секретарь Ученого совета 

О.А. Ширяева

(Ольга Алексеевна)