

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, профессора
Паздерина Андрея Владимировича на диссертацию
Давыдова Виктора Васильевича « ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
МОДЕЛЕЙ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СИСТЕМ», представленной на соискание учёной степени доктора технических
наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и
электроэнергетические системы

1. Актуальность темы диссертации

Стоимость услуг на передачу электроэнергии занимает примерно 45 % от конечной цены на электроэнергию для потребителей. Транспортная составляющая электроэнергии определяет высокий уровень тарифов на передачу, связанный с затратами на содержание электрической сети. Для снижения стоимости электроэнергии целесообразно максимально использовать пропускную способность всего первичного оборудования и прежде всего линий электропередачи. В нашей стране мощность передачи по многим линиям ограничивается предельными по условиям устойчивости режимами работы электрических систем. По соображениям надежности приходится дополнительно обеспечивать запас по устойчивости, что еще больше способствует недоиспользованию пропускной способности сети. В этой связи актуальность темы по разработке моделей расчета предельных режимов электроэнергетических систем (ЭЭС) сомнений не вызывает. Схемно-режимное многообразие ЭЭС не позволяет заранее рассчитать все возможные предельные режимы ввиду их большого числа. Повышения скорости расчета предельных режимов и обеспечение надежного их получения позволяет создавать программно-технические комплексы, в которых расчет режимов с учетом максимально допустимых перетоков может выполняться автоматически в режиме близком к темпу процесса. Примерами таких комплексов является Система Мониторинга Запасов Устойчивости (СМЗУ) Тюменской энергосистемы, Централизованная Система Противоаварийной Автоматики (ЦСПА) нескольких энергосистем России. Внедрение подобных систем позволяет существенно сдерживать строительство новых высоковольтных линий электропередачи и экономить финансовые ресурсы.

Анализ содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, восьми приложений и заключения. В конце каждой главы представлены выводы, содержащие ее основные положения и подтверждающие корректность

применения теории на практике. Диссертация изложена на 462 страницах, включая 8 приложений, список литературы, состоящий из 372 источников, 41 рисунка и 28 таблиц. Текст диссертации написан грамотно, стиль изложения логичный и хорошо доступный для понимания.

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, приведены положения, выносимые на защиту, научная новизна, теоретическая и практическая значимости, достоверность результатов и апробация работы.

В первой главе приведено исследование математической модели потокораспределения для ЭЭС. Анализируются алгебраические особенности уравнений установившегося режима, а также геометрическое отображение данных уравнений. Достаточно подробно изложены вопросы получения вектора нормали к гиперповерхности мощностей и предельных режимов, а также ее кривизны. В главе исследуются параметры предельных по статической апериодической устойчивости режимов. Введены важные фундаментальные понятия для анализа устойчивости режимов ЭЭС, раскрыты механизмы появления «дыр» в областях устойчивости. Показано влияние выбора балансирующего узла на формирование области существования решения уравнений УР, а также связь апериодической устойчивости с относительными приростами потерь мощности отдельных узлов.

Во второй главе анализируются методы расчета потокораспределения электрических систем на основе метода Ньютона. Выявлены основные зависимости скорости сходимости и надежности получения решения от особенностей применения метода Ньютона и формы записи уравнений установившегося режима. Произведен анализ вычислительных моделей потокораспределения на основе метода Ньютона и его модификации: разделенного метода Ньютона; методов Ньютона второго и более высоких порядков. Показано, что применение метода Ньютона по параметру существенно повышает его надежность, особенно если он используется на основе модели УР в форме баланса m -токов в полярной системе координат.

Третья глава посвящена анализу математических моделей нелинейного программирования для получения предельных по устойчивости режимов ЭЭС. Внимание уделено поиску предельных режимов как с сосредоточенным, так и распределенным балансирующим узлом. Анализируются особенности методов нелинейного программирования по определению предельных режимов с учетом технологических ограничений. Особое внимание уделяется методу внутренней точки, который является наиболее продуктивным средством для вычислительной реализации.

В четвертой главе разработаны вычислительные модели нелинейного программирования поиска предельных режимов в заданном направлении утяжеления. Выявлены и проанализированы основные трудности реализации нелинейной модели предельных режимов в заданном направлении. Предложены механизмы преодоления указанных трудностей. В четвертой главе

обсуждается вычислительная эффективность предлагаемого метода нелинейного программирования ПР. Предлагается метод определения критических сечений для предельных режимов. Даны практические рекомендации по расчету предельных режимов и выявлению опасных сечений.

В пятой главе описываются вычислительные модели нелинейного программирования ближайших предельных режимов. Раскрываются многообразие возможных подходов к определению ближайших предельных режимов на основе различных метрик: в Евклидовой-, l_∞ -, l_1 - и l_p -нормах в их общей форме. теоретическое исследование влияния технологических ограничений на ближайшие ПР. Даны рекомендации по практическому использованию различных моделей ближайших предельных режимов.

В заключении представлены основные результаты диссертационной работы, которые подтверждают успешное решение поставленных задач.

В приложениях представлены вычислительные аспекты реализации предложенных моделей.

2. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Содержание диссертации и автореферата соответствуют пунктам:

П.6 Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике;

П.7. Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем;

П.8. Разработка методов статической и динамической оптимизации для решения задач в электроэнергетике;

П10. Теоретический анализ и расчётные исследования по транспорту электрической энергии переменным и постоянным током, включая проблемы повышения пропускной способности транспортных каналов;

П13. Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике

3. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат диссертации в полной мере отражает ее основное содержание.

4. Методы исследования

В диссертационной работе были использованы методы матричного и прикладного нелинейного анализа, дифференциальной геометрии, теорий особенностей, бифуркации и статической устойчивости, теорий графов и нелинейного программирования. Численные эксперименты проводились с

помощью разработанных автором диссертации программных комплексов. При этом использовались

5. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов определяются аргументированным выбором направления работы, применением фундаментальных теоретических методов исследования в рассматриваемой области, обсуждением положений и результатов работы с российскими и зарубежными специалистами на конференциях и других научных мероприятиях. Отдельные положения работы ежегодно докладывались на научно-практических конференциях «Электроэнергетика глазами молодежи», в том числе в УрФУ в 2010 и 2012 годах. Диссертационная работа докладывалась и обсуждалась на научном семинаре кафедры «Автоматизированные электрические системы» УрФУ в декабре 2018 года, получила положительную оценку и единогласно была рекомендована к защите.

6. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций

- Показано, что выбор балансирующего узла оказывает существенное влияние на область существования режимов ЭС и на пределы по статической аperiodической устойчивости.
- Геометрически объяснена причина возникновения дыр в области существования режимов. Показана связь устойчивости с относительными приростами потерь мощности.
- Разработан алгоритм определения критического сечения в предельном режиме, по которому наступает нарушение устойчивости.
- Предложена и обоснована модель нелинейного программирования предельных режимов, позволяющая эффективно находить предельный режим, отвечающий минимуму сформированной целевой функции.
- Предложена группа методов расчета предельного режима в заданном направлении утяжеления, обладающих повышенной надежностью и эффективностью в сравнении с существующими.
- Предложена группа методов расчета ближайшего предельного режима для различных функций цели. Проанализированы их возможности и даны практические рекомендации по применению.

7. Практическая значимость и использование результатов диссертационной работы

Методики, методы и алгоритмы, разработанные в диссертации, рекомендуются для использования в филиалах Системного Оператора любого уровня, где осуществляется планирование электрических режимов и расчеты устойчивости. Применение отдельных методик и программ возможно в рамках автоматических программно-технических комплексов по мониторингу запасов

устойчивости и по централизованному противоаварийному управлению для поддержания устойчивости.

8. Отличие выполненных исследований от других работ

Диссертационная работа имеет отличия от других работ, выполненных в исследуемой области. Эти отличия определяются, прежде всего, научной новизной работы. Основное отличие заключается в комплексном рассмотрении проблемы расчета предельных режимов электроэнергетических систем.

9. Личный вклад автора

Основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично автором или при его участии. По результатам диссертации имеются публикации, написанные лично автором. Вклад автора в работы, опубликованные в соавторстве, является преобладающим.

10. Опубликованность основных результатов диссертационной работы

По теме диссертации опубликовано 59 печатных работ, в том числе: 12 опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК; 2 – в журнале “IEEE Transaction on Power Systems”, входящего в первый квартиль Q1 международной базы и системы цитирования Scopus и Web of Science; имеется патент РФ «Автоматизированное устройство определения предельных режимов электрических систем».

11. Замечания

1. В отечественной литературе принято считать, что относительный прирост потерь мощности балансирующего узла всегда равен нулю, так как любое изменение мощности этого узла не влияет на потокораспределение и на потери. В работе утверждается, что в предельном режиме относительный прирост потерь активной мощности балансирующего узла равен единице. Непонятно как это может соотноситься с классическим определением относительного прироста потерь.
2. Причиной нарушения устойчивости достаточно часто является реактивная мощность. В связи с этим утверждение о том, что в предельном режиме относительный прирост потерь активной мощности одного из узлов достигает единицы, по мнению рецензента, является только частным случаем.
3. В практике расчетов установившихся режимов встречаются ситуации, когда для тяжелых режимов возможно получение сбалансированного с заданной точностью, но неустойчивого «мнимого» решения. Программы расчета установившихся режимов, использующие метод Ньютона и различные его варианты, требуют доработки в части отстройки от таких решений. Было бы полезным сформулировать такие рекомендации в рамках настоящей работы.

4. В процессе утяжеления режима как в заданном направлении, так и в рамках поиска ближайшего предельного режима, возможно нарушение пределов по изменению мощности (регулируемых диапазонов) как узлов генерации, так и узлов нагрузки. Возможен ли учет всех подобных ограничений при программной реализации методов поиска предельных режимов на основе авторских разработок.
5. Проблема выбора опасных (критических) сечений по статической устойчивости очень актуальна для практики эксплуатации электроэнергетических сетей. В работе отсутствуют сведения о возможностях практического применения разработанного в рамках диссертационной работы метода выявления опасных сечений. Были ли подобные попытки и в чем сложность практической реализации?
6. В §3.4 третьей главы диссертации на стр. 253-254 представлены две системы (3.4.13а)-(3.4.13д) и (3.4.14а)-(3.4.13г) комплементарных выражений учета ограничений реактивной мощности генераторов для НЛПР модели, установлена их эквивалентность моделирования работы системы АРВ генераторов, однако не указано, какая система позволяет получить лучшие вычислительные характеристики НЛПР-модели.
7. Работа очень сильно перегружена математическими формулами и выводами, которые носят в большей степени теоретический характер и трудны для понимания. Не очень понятно, зачем этот материал рассматривался, и какую практическую пользу он может принести. Это в частности касается таких разделов работы как 1.5 – Кривизна гиперповерхности мощностей и предельных режимов.
8. В математических выражениях очень часто присутствуют матричные переменные. Для лучшего их визуального восприятия и отделения от простых «нематричных» переменных было бы целесообразно выделять их средствами современных редакторов, например, жирным вертикальным шрифтом.

12. Соответствие диссертации критериям «Положения о присуждении учёных степеней»

Диссертационная работа Давыдова В.В. отвечает требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней».

13. Общее заключение

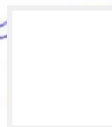
Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, в теоретическом плане носит фундаментальный характер и расширяет представления о предельных режимах электроэнергетических систем. В диссертационной работе представлены научно обоснованные технологические решения, внедрение которых имеет важное хозяйственное значение для развития электроэнергетических систем.

Считаю, что диссертационная работа «Исследование и разработка моделей расчета предельных режимов электрических систем» является

законченной научно-квалификационной работой, обладает актуальностью, содержит значимые для отрасли научные и практические результаты, а её автор, Давыдов В.В., заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент,
Заведующий кафедрой «Автоматизированные электрические системы» ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктор технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, профессор

Паздерин
Андрей
Владимирович



Сведения:

Полное наименование организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Юридический адрес: Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

Телефон: (343) 375-48-75

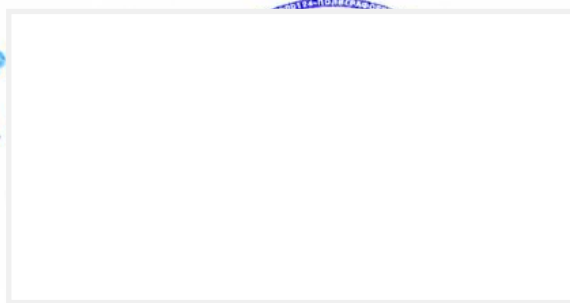
Эл. адрес: a.v.pazderin@urfu.ru

Должность: заведующий кафедрой «Автоматизированные электрические системы»

Ф.И.О.: Паздерин Андрей Владимирович

Подпись А.В. Паздерин удостоверяю .'

УЧЁНЫЙ СЕКР
УРФУ
МОРОЗОВА В.



Отзыв получен 23.10.2019г. *Сот* / *Самушев А.А.*
С отзывом ознакомлен 24.10.2019 *Сот* / *Андреев В.В.*