

В диссертационный совет Д 512.002.01  
при Акционерном обществе  
«Научно-технический центр  
Федеральной сетевой компании  
Единой энергетической системы»  
(АО «НТЦ ФСК ЕЭС»)

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Гайсина Булата Маратовича на тему: «Разработка методик определения влияния неоднородности электроэнергетических систем на возникновение и развитие аварийных каскадных процессов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

На отзыв представлены:

1. Диссертация общим объемом 186 страниц печатного текста, которая состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 123 наименований, двенадцати приложений, 65 рисунков, 23 таблиц;
2. Автореферат диссертации на 20 страницах с характеристикой работы и кратким изложением основного содержания работы.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Объектом исследования диссертации являются неоднородные электроэнергетические системы (ЭЭС). Предметом исследования являются ее структура, параметры и возможность возникновения и развития каскадных процессов в ЭЭС. В работе разработаны методика построения и определения областей допустимых режимов в неоднородных ЭЭС, а также методики математического и 3D-графического анализа влияния параметров неоднородных ЭЭС на возникновение и развитие аварийных каскадных процессов.

Вышеуказанное подтверждает соответствие диссертации паспорту специальности 05.14.02 - «Электрические станции и электроэнергетические системы». Область исследований диссертации Гайсина Б.М. имеет научную новизну и практическую значимость в части:

- п. 6 – «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»;
- п. 7 – «Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем»;
- п. 11 – «Разработка методов анализа структурной и функциональной надежности электроэнергетических систем и систем электроснабжения»;

п. 13 – «Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике».

### **Актуальность темы диссертационной работы**

Обеспечение требуемого уровня надежности ЭЭС, обладающих динамическими свойствами, является важной задачей управления электроэнергетики. Надежность энергосистемы определяется рядом объективных условий, среди которых важнейшим является сложившаяся топология сети – системообразующая сеть 500 (750) кВ с недостаточной пропускной способностью, связывающая зоны свободного перетока, а также существенно топологически неравномерная распределительная сеть 110 – 220 кВ в регионах и крупных энергоузлах с высокой концентрацией производства электроэнергии и потребления.

В сложных ЭЭС регулярно происходят возмущения, вызываемые различными причинами: короткими замыканиями, отказами оборудования, ошибками обслуживающего персонала и др. Подавляющая часть этих возмущений ликвидируется средствами релейной защиты и противоаварийной автоматики. При недостаточной эффективности и надёжности последней, а также по другим сопутствующим причинам могут происходить тяжёлые системные аварии с нарушением устойчивости и существенными отрицательными последствиями для ЭЭС и потребителей.

Диссертационная работа Гайсина Б.М. посвящена важным для электроэнергетики вопросам: исследованию причин возникновения и развития каскадных процессов, а также выработки научно обоснованных методик определения влияния неоднородности ЭЭС на возникновение и развитие каскадных аварий. Решение этих задач в перспективе поможет повысить распознаваемость траекторий аварийных отключений, заканчивающихся системными авариями. Разработанные методики предотвращения каскадных процессов имеют очевидные перспективы применения, так как позволяют на практике обеспечить надежность и экономичность работы энергоузлов и ЭЭС.

В качестве **новых научных результатов**, полученных лично автором, следует **выделить**:

1. Методику определения и построения областей допустимых режимов при различных параметрах неоднородных ЭЭС, позволяющую определить траектории развития аварийных отключений с возможным переходом в одну из следующих областей: каскадных процессов, допустимых или недопустимых режимов;

2. Методики математического и 3D-графического анализа влияния параметров неоднородных ЭЭС на возникновение и развитие аварийных каскадных процессов. При этом расширенно понятие неоднородности ЭЭС для



формирования или распознавания траектории развития отключений каскадного характера;

3. Специализированный программный комплекс (ПК), позволяющий производить пошаговый расчет траектории каскадного процесса для заданных схемно-режимных условий ЭЭС.

**Значимость для науки и практики результатов диссертационной работы заключается в том, что в исследовании:**

1. Разработанные методики позволяют экономически обоснованно выбирать эффективные управленческие решения по развитию ЭЭС в дополнение к методическим указаниям по устойчивости энергосистем. На основе методик возможен анализ инвестиционных проектов, с точки зрения живучести ЭЭС.

2. Сформированы рекомендации по применению разработанных методик для ведения режимов и проектирования схем развития ЭЭС:

– при расчете режимов с учетом возможного возникновения и развития аварийных каскадных процессов;

– для планирования режимов с учетом ввода и вывода объектов генерации при эксплуатации ЭЭС;

– для анализа схемно-режимной ситуации на момент возникновения и развития аварийного каскадного процесса, произошедшего 02.07.16 в ЭЭС Республики Башкортостан;

– при формировании схемы выдачи мощности Ново-Салаватской ТЭЦ в ЭЭС Республики Башкортостан;

– для поддержания надежности электроснабжения потребителей с учетом полного демонтажа мощности Урусинской ГРЭС.

3. Разработанные методики и программный комплекс внедрены и используются:

- в учебном процессе на кафедре электромеханики ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

- в отделе моделирования сетей в процессе моделирования и формирования режимов распределительных сетей напряжением 35, 110 кВ в деятельности АО «Башкирская электросетевая компания».

Предложенные в диссертационной работе проекты по поиску путей развития каскадных процессов в ЭЭС используются ООО «БЭСК Инжиниринг» в текущих и перспективных проектных решениях.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается** корректным применением в работе положений классической теории электротехники, методов физического и математического моделирования; использованием апробированных, хорошо известных

программно-вычислительных комплексов («RastrWin» и «MATLAB») и проведёнными с их применением расчётами; апробацией результатов исследования на международных и всероссийских научно-технических конференциях.

**Анализ содержания работы и соответствие ее требованиям, предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук**

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационного исследования, объект и предмет исследования, сформулирована цель работы и вытекающие из нее задачи исследования; приведены методы исследования и моделирования, научная новизна работы; сформулированы основные положения, выносимые на защиту, представлены теоретическая и практическая значимость работы, степень достоверности результатов и их апробация; отражены сведения по публикациям.

**В первой главе** представлен анализ существующих методов предотвращения каскадных процессов в ЭЭС, а также методов обеспечения надежности и живучести ЭЭС. Проведен сравнительный анализ и критический обзор публикаций по проблеме. Выполнена общая постановка задачи. Сформулирована методологическая направленность исследований. В работе принимается, что необходимым условием существования каскадного процесса, является превышение допустимого тока в элементе(-ах) ЭЭС. Это позволяет рассматривать развитие каскадного процесса до лавинообразного снижения напряжения и (или) частоты, как последовательность зависимых установившихся режимов, объективно вытекающих друг из друга.

**Во второй главе** применительно к поставленным в диссертационной работе задачам созданы две тестовые схемы ЭЭС, на базе которых выполнены экспериментальные расчеты, моделирование и разработка методики построения и определения областей допустимых режимов неоднородных ЭЭС. Также для моделирования условий реализации каскадных процессов или для распознавания существования таких условий разработаны методики математического и 3D-графического анализа влияния неоднородности ЭЭС на предмет возникновения и развития аварийных каскадных процессов.

**В третьей главе** диссертационной работы на базе тестовых схем апробированы разработанные научно-технические методики, позволяющие определять: области допустимых режимов, пошаговый сценарий траектории развития аварийных отключений на каждом шаге ведения режима ЭЭС. Дополнительно при рассмотрении проектов развития ЭЭС проанализирована возможность применения предлагаемых методик для повышения эффективности управленческих решений по недопущению возникновения крупных системных



аварий каскадного характера.

**В четвертой главе** диссертации представлен ряд экспериментов, подтверждающих работоспособность предложенных методик анализа влияния неоднородности ЭЭС на возникновение и развитие аварийных каскадных процессов. С помощью указанных методик выполнен расчет, анализ и технико-экономическое сопоставление вариантов, позволяющих повысить живучесть ЭЭС и предотвратить развитие каскадного процесса, заканчивающегося в области недопустимых режимов. В вариантных расчетах предполагалось, что повышение живучести ЭЭС достигается за счет определения наиболее рационального расположения объектов генерации, а также подбора места установки устройств FACTS в сравнении с традиционным решением, заключающимся в строительстве новой ЛЭП. Дополнительно в четвертой главе проиллюстрировано применение разработанных методик для анализа реально произошедшей каскадной аварии, а также исследована возможность возникновения и развития каскадной аварии при реализации отдельных инвестиционных проектов.

**В заключении** сформулированы основные научные и практические результаты выполненных исследований.

**В приложениях** приведены результаты расчетов, выполненных в программно-вычислительных комплексах «RastrWin» и «MATLAB» в соответствии с разработанными методиками анализа влияния неоднородности ЭЭС на возможность возникновения и развития аварийных каскадных процессов.

Выводы и рекомендации в диссертационной работе, изложенные по главам и по работе в целом представляются обоснованными, объективно отражающими научную новизну и практическую значимость полученных результатов. Цели и задачи исследования, сформулированные автором, были достигнуты.

**В автореферате** диссертации представлено основное содержание работы по главам, а также сведения: об актуальности работы, о поставленной цели и задачах работы, о научной новизне, теоретической и практической значимости работы, апробации и публикациях по результатам проведенных исследований. Автореферат достаточно полно отражает основные результаты исследований, приведенных в диссертационной работе.

**Апробация результатов работы.** Результаты исследования докладывались и обсуждались на шести международных и пяти всероссийских конференциях.

**Публикации.** Основные результаты работы освещены в научных публикациях автора - в девяти изданиях из перечня ВАК РФ и двух изданиях базы данных Scopus.

**По диссертации имеются следующие основные замечания и вопросы:**

1. Автор позиционирует положения, выносимые на защиту

диссертационной работы, с пунктом 11 паспорта специальности 05.14.02 «Разработка методов анализа структурной и функциональной надежности электроэнергетических систем и систем электроснабжения», что не вызывает сомнений. Однако в ходе исследований не производился расчет соответствующих показателей, а надежность, живучесть оценивалась лишь качественно, что снижает презентабельность и обоснованность результатов исследований.

Например, в главе 4 с использованием разработанных методик анализируются управленческие решения по развитию ЭЭС. В частности отмечается, что методики определения влияния неоднородных ЭЭС на возникновение и развитие аварийных каскадных процессов позволяют «...определять наиболее рациональное с точки зрения живучести ЭЭС расположение генерирующих объектов, а также места установки устройств относящихся к технологиям управляемых систем передачи переменного тока (FACTS) – активно-адаптивным элементам сети». Но как выбрать наиболее рациональное решение в отсутствие расчета показателей живучести?

2. При разработке тестовых схем ЭЭС и проведении расчетов областей допустимых режимов (главы 2,3) предполагалось, что параметры элементов моделей являются известными и неизменными.

Однако, на практике параметры элементов ЭЭС существенно изменяются в ходе эксплуатации. Так, изменения могут носить сезонный характер, зависеть от погодных условий, эксплуатационного состояния объектов и др. С этой точки зрения, может целесообразно трактовать крайние значения областей допустимых режимов вероятностными показателями? При таком подходе возникает вариантный выбор, при котором реализация технических мероприятий для маловероятных крайних режимов, требующих больших затрат, может быть заменена другими более экономичными мероприятиями.

3. На странице 25 диссертации отмечено, что среди начальных событий и событий, ставших причиной развития аварии с переходом в тяжелую системную, значились отказы релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА) – 25-28 % среди начальных событий и 50-70 % случаев при развитии аварии.

Однако, не смотря на значимость РЗ и ПА в развитии аварийной ситуации в ЭЭС, мероприятия по совершенствованию и повышению надежности РЗ и ПА в качестве возможных технических решений по повышению живучести (глава 4) не рассматривались.

В дополнение следует отметить, что в качестве альтернативных вариантов строительству ЛЭП на классе напряжения 500 кВ, целесообразно было бы рассмотреть и другие возможные технические решения на более низком классе напряжения, что может оказаться более экономически выгодным.

4. Из содержания диссертации и автореферата непонятно, каким образом





### Сведения об официальном оппоненте

ФИО	Куликов Александр Леонидович
Ученая степень и наименование отрасли науки, научных специальностей, по которым защищена диссертация	Доктор технических наук 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы
Ученое звание	Доцент
Полное наименование организации, являющейся основным местом работы, должность	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника».
Почтовый адрес организации	603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24
Телефон	8(910) 791-26-56
Адрес электронной почты	inventor61@mail.ru
Основные публикации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Папков Б.В., Куликов А.Л., Осокин В.Л. Вероятности редких случайных событий в электроэнергетике // Электричество. 2019. № 2. С. 4-9.</li> <li>2. Куликов А.Л., Ананьев В.В. Адаптивное определение места повреждения на линии электропередачи с регистрацией импульса в волновом высокочастотном тракте // Электротехника. 2018. № 1. С. 33-38.</li> <li>3. Sharygin M.V., Kulikov A.L. Statistical methods of mode recognition in relay protection and automation of power supply networks // Power Technology and Engineering. July 2018, Volume 52, Issue 2, pp. 235–241.</li> <li>4. Куликов А.Л., Шарыгин М.В. Дифференциально-логический принцип релейной защиты сетей электроснабжения // Электрические станции. 2018. № 3 (1040). С. 37-46.</li> <li>5. Куликов А.Л., Шарыгин М.В., Бездушный Д.И. Оценка эффективности распознавания режимов алгоритмом релейной защиты на этапе её разработки и расчёта уставок // Электрические станции. 2018. № 5 (1042). С. 50-59.</li> </ol>

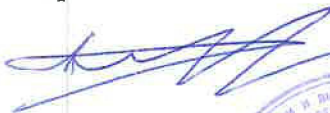


6. Куликов А.Л., Лоскутов А.А., Пелевин П.С. Алгоритм идентификации поврежденного участка на кабельно-воздушных линиях электропередачи на основе распознавания волновых портретов // Электричество. 2018. № 3. С. 11-17.
7. Kulikov A.L., Lukicheva I.A. The usage of median filtering in power system state estimation // 2017 IEEE Manchester PowerTech, Powertech 2017. 18-22 June 2017, pp. 1-3.
8. Kulikov A.L., Sharygin M.V. Automatic control system of power supply of active consumers // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2017 - Proceedings 2017. DOI10.1109/ICIEAM.2017.8076236.
9. Вуколов В.Ю., Куликов А.Л., Папков Б.В. Определение мест размыкания распределительных электрических сетей в задаче повышения надежности электроснабжения // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики Материалы Международного научного семинара им. Ю.Н. Руденко. Ответственные редакторы Н.И. Воропай, Ю.Я. Чукреев. 2016. С. 187-196.
10. Куликов А.Л., Обалин М.Д., Петрова В.А. Применение цифровой обработки сигналов в задаче повышения точности ОМП ЛЭП по параметрам аварийного режима // Электрические станции. 2016. № 4 (1017). С. 39-44.
11. Куликов А.Л., Ананьев В.В. Повышение точности многостороннего волнового определения места повреждения линий электропередачи за счет использования разностно-дальномерного метода // Электротехника. 2016. № 1. С. 25-30.

### Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»

Куликов Александр Леонидович



Личную подпись  
А.Л. Куликов заверяю  
Сотрудник ОИ  
«21» июля 2019 г.

