

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, старшего научного сотрудника Чукреева Юрия Яковлевича на диссертационную работу Валиева Рустама Талгатовича на тему: «Развитие методов расчета показателей балансовой надежности электроэнергетических систем», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

### 1. Актуальность темы

Изменение взаимоотношений в системе производство-распределение-потребление электрической энергии, создание акционерных обществ электроэнергетики и оптовых рынков электроэнергии (мощности) требует постоянного совершенствования методического и модельно-программного обеспечения задач оценки и оптимизации надежности при управлении развитием и функционированием электроэнергетических систем. Системный оператор Единой энергетической системы» (СО ЕЭС) отвечающий за вопросы обеспечения надежности поставки мощности с 2010 г. проводит активную работу по решению вопросов обеспечения надежности всех звеньев ЕЭС России. Для условий эксплуатации в настоящее время разработано необходимое методическое и программное обеспечение для решения задач обеспечения требуемого уровня надежности, согласованные с генерирующими и сетевыми компаниями. Этого нельзя сказать про условия планирования развития энергосистем Российской Федерации. Научно-исследовательские работы в этой области в институтах Министерства науки и высшего образования продолжаются, но нет должной координации в их применении на практике.

В современных условиях, как в нашей стране, так и за рубежом основными методами для решения задачи оценки показателей балансовой надежности являются методы, основанные на многократном формировании случайных состояний генерирующего и сетевого оборудования, вызванные выводом его в плановые и аварийные ремонты. Посредством такого моделирования определяются показатели балансовой надежности, которые сравниваются с нормативными и делается определенное управляющее воздействие на

обоснование средств обеспечения балансовой надежности – резервов мощности и усиления системообразующих связей.

Диссертационное исследование Р.Т. Валиева направлена на решение задачи оценки показателей балансовой надежности не методами статистического моделирования, требующими значительных затрат времени, а с применением так называемых аналитических методов. Их суть состоит в преобразовании функций изменения генерирующей мощности и нагрузки, вызванных случайными факторами (аварийность, ошибки прогнозирования) с помощью методов теории вероятностей и математической статистики для получения результирующих показателей балансовой надежности. При этом основной акцент поставлен на разработке аналитических процедур для расчета как узловых (вероятность дефицита мощности), так и сетевых (вероятности перегрузки межсистемной связи) показателей балансовой надежности. С учетом изложенного актуальность работы не вызывает сомнения.

## **2. Структура и объём диссертации**

Представленная диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, и одного приложения. Работа изложена на 109 страницах, содержит 23 рисунка и 9 таблиц, список литературы включает 94 наименования.

*Во введении* обоснована актуальность темы исследования, поставлены цели и задачи диссертационной работы.

*В первой главе* достаточно полно представлен информационно-аналитический обзор, позволяющий оценить текущее состояние проблемы расчета ПБН ОЭС. Описаны основные и дополнительные ПБН используемые в России и за рубежом. Представлены основные методы расчета ПБН, отмечены их ключевые преимущества и недостатки.

*Во второй главе* рассматриваются основные математические модели и стратегии ограничения нагрузки при оптимальном распределении дефицита мощности (РДМ) в ОЭС. Показано, что основанные на применении линейного программирования математические модели решения задачи оптимального РДМ не гарантируют единственность оптимального решения. При этом выбор окончательного решения осуществляется произвольно (например, любое, которое удовлетворяет критерию оптимальности), что приводит к отличию результирующих ПБН, полученных с использованием различных программ-

ных комплексов (ПК). По этой причине сопоставление ПК относительно ПБН требует конкретизации стратегии ограничения нагрузки, используемой в процедуре РДМ. Выполнен анализ принципов формирования целевой функции в задаче ОРДМ. Показано, что нелинейные целевые функции более точно отражают технико-экономические свойства ОЭС и обеспечивают единственность решения ОРДМ.

*В третьей главе* представлен вероятностно-аналитический метод расчета показателей балансовой надежности ОЭС, основанный на принципах теории вероятности и линейной зависимости (через матрицу потокораспределения) потоков мощности от узловых инъекций. Показано, что наиболее приемлемым критерием оптимизации при использовании ВАМ является минимум квадратичных отклонений узловых инъекций или коэффициентов загрузки, концентрированных ЭЭС от идеальных, полученных без учета сетевых ограничений, значений. Тестовые расчеты подтверждают высокую эффективность предложенного ВАМ для определения ПБН ОЭС. Кроме того, показано, что не учет потерь в межсистемных связях значительно завышает результирующие показатели надежности.

*В четвертой главе* внимание уделено модификации расчетной процедуры при использовании пропорционального критерия РДМ. Отмечено, что учет потенциального распределения перетоков мощности при решении задачи РДМ приводит к изменению вероятностных характеристик перетоков мощности по всей системе, даже в случае локальных перегрузок отдельных ветвей, что должно быть учтено при планировании развития ОЭС. В работе продемонстрировано, что наиболее эффективным по быстродействию и надежности получения решения при квадратичной целевой функции, определяющей затраты от ограничения нагрузки и генерации, является использование в качестве варьируемых переменных значений ограничений нагрузки и генерации (двойной блок переменных).

К работе прилагается официально разосланный в установленные сроки автореферат диссертации на 23 страницах.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных выводов, положений и рекомендаций**

Достоверность и обоснованность сделанных в диссертационной работе научных выводов и рекомендаций обеспечена теоретической базой исполь-

зованных диссертантом методов теории вероятностей и математического программирования.

#### **4. Новизна научных результатов**

Предложены модели и методы определения показателей балансовой надежности электроэнергетической системы для условий различного взаиморезервирования ЭЭС в объединении, повышающие вычислительную эффективность за счет применения аналитических методов расчета. Определенными элементами новизны обладают:

– обоснование вероятностных моделей электроэнергетической системы для получения вероятностных характеристик перетоков мощности сложно-замкнутой энергосистемы;

– модели учета стратегий взаимопомощи отдельных ЭЭС основанные на использовании, потенциального принципа распределения потоков мощности в системообразующих связях при решении задачи оптимизации распределения дефицита мощности.

#### **5. Практическая значимость работы**

Работа ориентирована на повышение вычислительной эффективности расчета показателей балансовой надежности ОЭС. Материалы работы могут найти применение в теоретических и практических курсах надежности, проводимых в УрФУ.

#### **6. Апробация работы и подтверждение опубликования основных положений работы**

Результаты исследований апробированы участием автора на 7 международных и всероссийских научно-практических конференциях. По результатам исследования опубликовано 11 научных работ, из них 8 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ, включая 4 статьи в зарубежных изданиях, входящих в международные базы цитирования Web of Science и Scopus.

Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

## **7. Соответствие диссертации критериям Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ**

Диссертационная работа Валиева Рустама Талгатовича на тему: «Развитие методов расчета показателей балансовой надежности электроэнергетических систем» в полном объеме отвечает критериям, которые указаны в п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой автором **предложено новое научно обоснованное техническое решение** в виде разработанных аналитического метода расчета вероятностных характеристик перетоков мощности сложнзамкнутой ОЭС, математического подхода, связанного с использованием потенциального принципа распределения потоков мощности в МСС при реализации пропорционального критерия решения задачи ОРДМ и оптимальных, с точки зрения вычислительной эффективности и точности получаемых результатов комбинаций «целевая функция – управляющие переменные» в задаче определения ПБН в сложнзамкнутых ЭЭС.

Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации имеются сведения о практической полезности результатов и рекомендации по использованию научных выводов. Полученные решения и выводы аргументированы.

Содержание диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы по следующим пунктам:

1. Оптимизация структуры, параметров и схем электрических соединений электростанций.
4. Разработка методов оценки надежности электрооборудования, структурных схем и схем распределительных устройств электростанций.
6. Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике.
11. Разработка методов анализа структурной и функциональной надежности электроэнергетических систем и систем электроснабжения.

Диссертация отвечает требованию указания ссылок на заимствованные материалы или отдельные результаты.

## 8. Основные замечания по работе

1. В разделе 1.2. Показатели балансовой надежности автор указывает, что показатель *LOLP* является наиболее используемым в США и Канаде. Это ошибочное суждение – основным является показатель *LOLE*.

2. В этом же разделе приведены выражения для определения вероятности исчерпания пропускной способности связи (1.2), но далее в 3-й главе «исчерпание» трансформируется в «перегрузку». Правильно ли понимать: что выражение приведено для понятие перегрузки. Не ясно, почему не приведена формула определения интегральной вероятности дефицита мощности: вместо нее представлено выражение (1.1) для определения норматива надежности Марковича.

3. Представленное в разделе 1.4.1. суждение о том, что изменение генерации можно представлять нормальным законом распределения глубоко ошибочное. К сожалению, в дальнейших главах работы нет подтверждения этого факта и все достаточно справедливые математические выкладки приведены для данной гипотезы.

4. В разделе 2.1 автором совершенно правильно ставится проблема множественности решений по распределению дефицита мощности. При этом совершенно не говорится о проблеме определения узлов, определяющих системный дефицит мощности. Согласно теории двойственности линейного программирования можно на этапе оценки состояния систем однозначно выявить эти узлы и тем самым однозначно определить показатель интегральной вероятности дефицита мощности.

5. Автором во 2-й главе приведены практически все возможные способы распределения дефицита мощности. При этом нет вывода о том, какой же принцип наиболее приемлем для решения задачи обоснования резерва мощности и получения того спектра вероятностных (именно) показателей балансовой надежности, который приведен в разделе 2.1.

6. Предлагаемая в разделах главы 3 модель распределения перетока мощности, основанная на применении метода сетевых коэффициентов, для детерминированного состояния работоспособна и уже применяется в реальных программных комплексах. Ее распространение на вероятностные состо-

яния в виде определенных законов распределения возможно только для определенных допущениях(законах распределения). В диссертации не приведены возможные погрешности, получаемые при использовании действительных биномиальных законов распределения аварийных снижений мощности.

7. Предлагаемый в главе 3 пример не совсем корректен в аспекте представления исходной информации. Никогда генерация не представляется дисперсией (табл. 3.1), она является расчетным параметром на основании состава оборудования. Приведенное сравнение предложенного метода с ММК в этом отношении не корректно в силу изначального принятия нормального закона распределения вероятностей.

8. Показатели балансовой надежности для связей (рис. 3.3 и табл. 3.3) совершенно не согласуются с приведенными в 1-й главе. Не ясно, для какого временного уровня они получены. Вероятность дефицита в процентах не считается.

9. В 4-й главе приводятся разные модификации применения блоков РДМ. К сожалению, автор не приводит сравнения с существующими программными комплексами (Янтарь, Орион). Сравнение выполненное в работе на своих же программных разработках не совсем корректно.

10. Работа грешит неточностями и опечатками (например – нет такой организации СЭИ им. Л.А.Мелентьева: есть ИСЭМ).

Замечания существенно не влияют на основные научные и теоретические результаты диссертации и имеют уточняющий, рекомендательный характер.

## **9. Общее заключение**

Представленная диссертационная работа Валиева Рустама Талгатовича является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, **в которой содержится научно обоснованное техническое решение задачи развития методов расчета показателей балансовой надежности ЭЭС, имеющее существенное значение для развития страны.** Обладает внутренним единством, научной новизной и практической значимостью.

Содержание диссертации полностью соответствует поставленным задачам и отражает последовательность их решения. Работа написана логич-

ным, понятным языком, по каждой главе в работе сделаны чёткие и аргументированные выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации и разработанным теоретическим положениям, научной новизне полученных результатов и их практической значимости с учётом сведений об апробации и публикациях.

Это даёт основание утверждать, что диссертационная работа на тему: «Развитие методов расчета показателей балансовой надежности электроэнергетических систем» **полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, а её автор Валиев Рустам Талгатович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.**

Официальный оппонент  
доктор технических наук,  
сотрудник, директор института



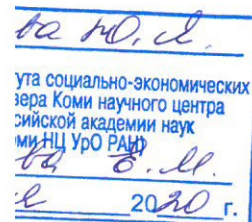
Чукреев  
Юрий Яковлевич

ный

Полное наименование организации:  
Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук».

Россия, 167982, Республика Коми,  
г.Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 26.

e-mail: chukreev@iespn.komisc.ru



Дата \_12.11.2020