

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Колосок Ирины Николаевны  
на диссертацию Максименко Дмитрия Михайловича  
«Оценивание состояния энергосистем и ввод режима в допустимую область  
оптимизационным методом внутренней точки»,  
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по  
специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

На отзыв представлены: диссертационная работа, состоящая из введения, четырех глав с выводами, заключения, библиографического списка из 122 наименований.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ**

Управление режимами электроэнергетической системы (ЭЭС) ввиду сложности объекта управления может осуществляться только с использованием математической модели энергосистемы при максимально точной оценке текущего режима ЭЭС, для формирования которой используются методы оценивания состояния (ОС). Полученная в результате ОС модель текущего режима ЭЭС используется для решения задач оперативного и противоаварийного управления (EMS-приложений), в том числе и такой важной задачи как ввод режима в допустимую область (ВРДО). Эти задачи тесно взаимосвязаны, их математическая постановка состоит в минимизации нелинейной целевой функции (ЦФ) с учетом ограничений в форме равенств и неравенств.

Если учет ограничений при решении задачи ВРДО является обязательным, то некоторые разработчики методов ОС утверждают, что необходимость учета ограничений в форме неравенств при решении задачи ОС не очевидна, поскольку целью ОС является расчет потокораспределения, отражающего реальное состояние ЭЭС. Вместе с тем, информация об ограничениях и их учет при решении задачи ОС является чрезвычайно полезной: она позволяет априори выявить самые грубые ошибки в измерениях, предельные значения генераций реактивных мощностей могут использоваться в качестве псевдоизмерений в ненаблюдаемых узлах, ограничения содержат достоверную информацию о физически возможных технологических пределах оборудования, поэтому их учет позволяет повысить качество оценок и получить решение, корректно отражающее физическое состояние ЭЭС.

Метод взвешенных наименьших квадратов (МВНК), традиционно используемый при решении задачи ОС и ряда других оптимизационных задач, обладает рядом недостатков: искажение расчетного режима из-за ошибочных данных, невозможность строгого выдерживания точных измерений, трудности с учетом ограничений.

Предложенные для решения этих проблем подходы – робастные критерии оценивания, метод контрольных уравнений, метод штрафных функций тем не менее не позволяют в полной мере учесть все режимные и технологические ограничения, либо приводит к заметному усложнению алгоритмов решения.

В диссертационной работе для решения задач ОС и ВРДО предложено использовать метод внутренней точки, получивший в последнее время широкое распространение при решении оптимизационных задач. Этот метод позволяет легко учитывать ограничения в форме неравенств и обеспечивает быструю сходимость вычислительного процесса даже при большом количестве ограничений. Поэтому тема диссертационной работы, посвященная разработке теории и практики решения оптимизационных задач ОС и ВРДО с учетом технологических ограничений на основе метода внутренней точки является актуальной.

### **ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена корректным применением общей теории функционирования энергосистем, методов расчета установившихся режимов и методов оценивания состояния, а также методов математического моделирования. Корректность и эффективность разработанных методов, алгоритмов и их программной реализации оценивалась проведением расчетов с помощью программного комплекса (ПК) “RastrWin3” на тестовых и реальных схемах и сопоставлением результатов с аналогичными результатами, полученными с помощью других ПК.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертации, отвечает требованиям к научным квалификационным работам.

### **НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

В области решения задач ВРДО и ОС выполнено много исследований и разработано большое количество методов и алгоритмов. Задача автора состояла в анализе проблем, связанных с быстрым изменением свойств ЭЭС и условий их функционирования, и разработке методов, позволяющих их решить. Научная новизна работы состоит в следующем.

1. На основе анализа современных методов решения оптимизационных задач в энергетике выявлены их слабые стороны и сформулированы требования к методам решения задач ВРДО и ОС и используемым математическим моделям.

2. Выполнена адаптация метода внутренней точки для решения оптимизационных задач диспетчерского управления (ВРДО И ОС), в которых необходимо учесть технологические ограничения.
3. Предложены способы задания универсальной ЦФ путем комбинирования различных моделей параметров режима (квадратичных, линейных и др.), позволяющие выполнять гибкую настройку оптимизационной модели в зависимости от требований к решению поставленной задачи.
4. На базе МВТ разработан алгоритм ОС, позволяющий эффективно учитывать ограничения в форме равенств и неравенств на параметры режима и функции от них.
5. Выполнен анализ существующих методов выявления ошибочных данных при ОС ЭЭС. Предложены надежные инженерные подходы для проверки правильности привязки измерений к схеме и анализу их значений, выполнена их программная реализация и тестирование.

### **ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Разработанные методы и алгоритмы реализованы в специализированном программном обеспечении «ВРДО», прошедшем опытную эксплуатацию в филиалах АО «СО ЕЭС», алгоритм ОС с использованием МВТ и методы фильтрации ошибочных измерений реализованы в ПК “RastrWin3”, который используется в качестве основного инструмента по расчету и оптимизации режимов более чем в 260 организациях на территории России и за рубежом. Расчеты, проведенные для схем, используемых в задачах ЦСПА и СМЗУ, показали эффективность предложенных подходов, обеспечивающих более корректные результаты по сравнению с другими программами, и высокое быстродействие алгоритмов.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ**

Диссертационная работа Максименко Д.М. в полном объеме отвечает критериям, которые установлены "Положением о присуждении ученых степеней", утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. В ней соблюдены следующие принципы соответствия:

1. Указанная диссертантом *цель работы* – развитие теории и практики ввода режима в допустимую область и оценивания состояния энергосистем с применением метода внутренней точки – *реализована в рамках представленной диссертационной работы.*

2. *Автореферат* диссертации соответствует *диссертационной работе* по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, определению актуальности, научной значимости, новизны, практической ценности и др.

3. *Основные выводы и результаты* диссертационной работы *соответствуют поставленным задачам* исследований и сформулированы автором структурно-содержательно.

4. Научные *публикации* Максименко Д.М., изданные в период с 2010 по 2016 гг., *соответствуют диссертационной работе* и с достаточной полнотой отражают ее суть, основные результаты и выводы.

5. *Тема и содержание* диссертации Максименко Д.М. *соответствует паспорту* специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Диссертационная работа Максименко Д.М. написана доступным языком, корректным в научном и техническом отношении. Материалы и результаты исследований изложены в объеме, достаточном для понимания, четко, доступно и репрезентативно. Результаты, полученные диссертантом, являются вкладом в теорию расчета установившихся режимов и оценивания состояния ЭЭС.

#### **ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ**

1. В работе широко используются термины, связанные с использованием моделей, такие как «модель измерения», «модель установившегося режима», «модель ЭЭС», «математическая модель ЭЭС», «расчетная модель ЭЭС». Следовало бы уточнить, что понимается под этими терминами в зависимости от контекста. Так, например, для проведения тестовых расчетов по ОС расчетные схемы названы «модель большой размерности», «модель ЦСПА», «модель СМЗУ». Есть ли принципиальные различия в этих схемах (моделируемые устройства, состав используемых измерений и т.д.), накладывающие определенные требования на применяемые алгоритмы?
2. Выводы по гл.1 содержат перечисление и анализ недостатков существующих методов оптимизации для задач ВРДО и ОС. Следовало привести заключительную часть, показывающую необходимость выполненных в работе исследований.
3. В качестве традиционных методов ОС при выполнении расчетов автор часто использует метод наименьших квадратов (табл. 4.2) и метод наименьших модулей, в то время как в ПВК ОС используются, как правило, методы взвешенных наименьших квадратов и взвешенных наименьших модулей, в которых весовые коэффициенты задаются обратными точности (дисперсии или средне квадратичному

отклонению) измерений. В определенной степени весовые коэффициенты отражают «цену» измерений, поэтому решают ряд проблем, указанных автором как недостатки традиционных подходов.

4. В тексте диссертации допущен ряд опечаток, связанный с использованием нижнего индекса переменной  $s$ . Так, на стр. 31 в формуле (2.3) переменная  $s$  индексируется по  $j$ , а в последующих формулах (2.4), (2.8) вытекающих из (2.4),  $s$  индексируется по  $i$ . Тем не менее, в последующих примерах используется верная индексация, что позволяет говорить о неточностях, допущенных в формулах, скорее как об опечатках, а не принципиальных ошибках.
5. При записи формул, например, 1.6, автор использует обозначения переменных, чаще применяемые в зарубежных работах, чем в российских например, для обозначения модуля напряжения  $V_i$ , в не  $U_i$ . В этом случае (да и во всех остальных тоже) следует раскрывать используемые обозначения, в зарубежных публикациях это выполняется *обязательно*.
6. В таблицах и расчетных примерах часто не указаны знаки перетоков мощности (табл. 4.4, 4.5 и др), это затрудняет при чтении анализ результатов. Например, в примере 3.5 полученное значение  $P_{20} = -230$  Мвт, не удовлетворяет заданным ограничениям, приведенным на стр. 74. На рис 4.5 оба перетока активной мощности имеют знак «+», при этом переток, вытекающий из узла «начало» примерно в 2 раза меньше, чем переток, втекающий в узел «конец».

## ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертационная работа Максименко Д.М. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней решена важная научно-техническая задача отраслевого значения – разработаны и практически реализованы методы решения задач ВРДО и ОС режимов ЭЭС.

Задачи, решаемые в работе, объединены общей научной идеей совершенствования принципов управления режимами работы современных ЭЭС. Конечной целью является повышение эффективности управления энергосистем в нормальных и аварийных режимах работы.

Основные научные выводы и практические рекомендации сделаны на основе глубокого анализа современных требований к задачам диспетчерского управления

энергосистем и методам их решения, в связи с чем, содержание представляемой работы полностью соответствует паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Содержание диссертации полностью соответствует поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Диссертация написана логичным, понятным языком, выводы и рекомендации аргументированы.

Основные научные результаты диссертации подробно изложены в печатных работах; автор имеет 12 публикаций, 2 из них в изданиях, рекомендованных ВАК, и 1 является свидетельством о госрегистрации программы для ЭВМ. Результаты неоднократно докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах различного уровня. Содержание автореферата соответствует основным идеям и выводам диссертации.

Диссертационная работа полностью отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», от 24 сентября 2013 г. № 842, а соискатель Максименко Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Ведущий научный сотрудник  
отдела электроэнергетических систем  
Федерального государственного бюджетного  
Учреждения науки Институт систем энергетики  
им. Л.А. Мелентьева  
Сибирского отделения Российской академии наук,  
д-р. техн. наук (05.14.02), ст.н.с.

Колосок Ирина Николаевна

30.08.2017

E-mail: kolosok@isem.irk.ru

Тел.: 8(3952)500 646 доб.230

664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, ИСЭМ СО РАН

Подпись И.Н. Колосок заверяю:

