

**ОТЗЫВ  
официального оппонента на диссертацию  
Семененко Сергея Игоревича**

«Разработка алгоритмов размещения синхронизированных векторных измерений для повышения эффективности оценивания состояния ЭЭС», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

## **1. Актуальность темы диссертации**

Современные электроэнергетические системы (ЭЭС) являются одними из наиболее сложных и многомерных технических систем, в которых параметры оборудования взаимосвязаны единым электроэнергетическим процессом, оперативная информация о котором необходима для решения широкого спектра задач управления. От достоверности, надёжности и скорости получения информации о режиме ЭЭС напрямую зависит эффективность управления ими. Появление технологии WAMS с синхронизированными измерениями режимных параметров стало революционным этапом в развитии информационного обеспечения задач управления ЭЭС, которое создало качественно новые возможности расчетов и оценивания режимов электрических сетей в реальном времени. Эти возможности напрямую зависят от количества и размещения устройств СВИ в электрических сетях, поэтому задача оптимизации их количества и размещения, несомненно, является актуальной.

## **2. Анализ содержания диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 109 наименований, изложена на 119 страницах машинописного текста, содержит 23 рисунка и 7 таблиц.

Во введении обосновывается актуальность разработки методов и алгоритмов определения мест размещения устройств векторных измерений напряжений и токов в электрических сетях, их эффективного использования в задачах оценивания состояния (режима) электрической сети. Сформулированы цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения о структуре и объеме диссертации.

Первая глава посвящена анализу возможностей использования топологических свойств энергосистемы для ускоренной оценки текущего режима по данным СВИ и SCADA. В ней рассмотрены современные тенденции в развитии информационного обеспечения задач контроля режимов ЭЭС, подходы и методы выбора мест размещения СВИ, предложены алгоритмы размещения PMU, обеспечивающие ускоренное решение системы уравнений установившегося режима ЭЭС.

*Вторая глава* посвящена учёту нелинейности систем уравнений для оценки текущего режима ЭЭС на основе векторных измерений. В ней представлены разработанные алгоритм прямого расчёта режима ЭЭС на основе СВИ, алгоритм прямого расчёта режима ЭЭС на основе векторных измерений напряжений, новая итерационная процедура решения системы нелинейных уравнений установившегося режима ЭЭС.

*В третьей главе* рассматривается двухэтапное оценивание режима на базе измерений PMU и SCADA и необходимый для него алгоритм выбора мест размещения измерений.

*В четвертой главе* предлагается метод выбора весовых коэффициентов и матрицы ковариации в оценивании состояния при интеграции СВИ и измерений SCADA .

*В заключении* сформулированы основные результаты диссертационной работы, подтверждающие решение поставленных задач.

### **3. Соответствие диссертации и автореферата паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы**

Материалы диссертации и автореферата соответствуют паспорту научной специальности 05.14.02, а именно пунктам 6 (Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике), 7 (Разработка методов расчета установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем), 8 (Разработка методов статической и динамической оптимизации для решения задач в электроэнергетике), 13 (Разработка методов использования ЭВМ для решения задач в электроэнергетике).

### **4. Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации**

Автореферат диссертации полно отражает ее основное содержание.

### **5. Методы исследования**

В работе применялись модели электрических сетей и средств измерений, разработанные в теории ЭЭС. Вычислительные эксперименты выполнены с использованием метода Монте-Карло. Анализ погрешностей средств измерений выполнен с использованием методов статистики и метрологии.

Для преобразований систем уравнений установивших режимов применен математический аппарат линейной алгебры. При разработке методов и алгоритмов выбора мест размещения устройств СВИ применены методы теории графов и топологического анализа электрических цепей.

Разработанные методы и алгоритмы апробировались на тестовых моделях энергосистем, используемых в мировой практике и на моделях реальных энергосистем

## **6. Степень обоснованности научных положений и достоверности полученных результатов**

Обоснованность научных положений и достоверность полученных результатов определяются применением фундаментальных теоретических методов исследования в рассматриваемой области, использованием классических методов и алгоритмов расчёта установившегося режима электрической сети, методов математической статистики, положенных в основу предлагаемых методов и алгоритмов, подтверждается согласованностью с результатами, полученными по другим программным комплексам. Результаты, полученные по другим программным комплексам, не противоречат исследованиям, выполненными другими авторами и применяемыми на практике, а также подтверждаются их апробацией на 13 всероссийских и международных научно-технических конференциях, семинарах.

## **7. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

В диссертационной работе теоретически строго:

Обоснована возможность и высокое быстродействие прямого расчёта режима по данным телеметрии PMU и SCADA при условии особого выбора мест размещения СВИ и SCADA.

Предложен метод преобразования нелинейной системы уравнений установившегося режима к виду, позволяющему решать её прямым методом, при условии определенной расстановки векторных измерений.

На основе разработанного метода преобразования системы уравнений установившегося режима определены правила выбора мест размещения СВИ.

Разработаны алгоритмы выбора мест размещения устройств СВИ для двухэтапного оценивания состояния, использующего «каркас» СВИ для увеличения точности ОС.

Исследованы возможности предлагаемых алгоритмов для увеличения точности оценивания состояния и его быстродействия.

Предложен и исследован метод выбора весовых коэффициентов оценивания состояния на базе метода взвешенных наименьших квадратов, позволяющий учесть погрешности измерений комплексных величин токов и напряжений в методе линейного оценивания состояния.

## **8. Практическая значимость результатов диссертационной работы**

заключается в разработке эффективных методов оценки режимов ЭЭС, определения мест размещения устройств векторных измерений в электрических сетях.

## **9. Отличие выполненных исследований от других работ**

Диссертационная работа Семененко С. И. отличается от других работ, выполненных в исследуемой области, комплексным рассмотрением задач

расстановки СВИ и SCADA измерений, расчета и оценивания режима в электрических сетях:

- предложено альтернативное существующему прямое решение задач расчета и оценивания режима электрической сети, основанное на использовании целенаправленного размещения устройств СВИ и SCADA измерений;
- разработаны хорошо теоретически обоснованные простые правила и алгоритмы размещения устройств СВИ в электрических сетях;
- проведен комплекс исследований, подтверждающих уникальные свойства и возможности разработанных методов и алгоритмов.

## **10. Личный вклад автора**

Основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены лично автором или при его непосредственном участии. Личный вклад автора в работы, опубликованные в соавторстве, является преобладающим.

## **11. Опубликованность основных результатов диссертационной работы**

По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 8 статей в изданиях, рекомендованных ВАК для соискателей ученых степеней.

## **12. Замечания**

1. В диссертации отсутствуют разделы «Глоссарий», «Сокращения и обозначения», что затрудняет восприятие материала. В частности, введенные понятия, например, «каркас» СВИ, супер ускоренное решение, нуждаются в их определении.
2. Автором разработаны программы, реализующие предложенные алгоритмы, однако, ни одна из них не зарегистрирована в Госреестре, или не представлены соответствующие свидетельства.
3. Недостаточно внимания уделено другим задачам WAMS, в которых принципы и правила расстановки PMU могут существенно отличаться от условий наблюдаемости режима и эффективности его оценивания.
4. Автором обоснованно представляется тренд развития информационной подсистемы, связанный с переходом к синхронизированным измерениям, однако, не упоминается и не рассматривается не менее значимый тренд децентрализации контроля и управления режимами ЭЭС в связи с развитием распределенной генерации и принятием концепции интернета энергии.
5. В работе недостаточно внимания уделено методическим погрешностям при расчете и оценивании режима электрической сети, связанным с несимметрией, несинусоидальностью, нестабильностью частоты, погрешностями параметров элементов сети.
6. Автор обходит проблему идентификации установившегося режима при синхронизированных измерениях, т.к. строго установившихся режимов на

практике не существует, поэтому можно говорить практически о мгновенном электрическом режиме (на интервале одного периода промышленной частоты) или о среднеинтервальном режиме на некоторой временной продолжительности.

7. В работе не рассматривается задача определения необходимой минимальной избыточности измерений для обеспечения необходимой «надёжности» контроля режима при отказах устройств измерения или сбора данных.
8. В работе не рассматривается вопрос о связи расчета режима с его статической устойчивостью. При использовании итерационных методов решения УУР связь их сходимости с пределами по устойчивости является одним из основных методов определения ограничений по устойчивости ЭЭС.
9. На стр. 76 говорится о методе размещения устройств СВИ. Правильнее говорить о методе определения мест размещения СВИ. Там же говорится о правилах размещения, хотя далее приводятся в смешанном виде требования, правила, определения, предпосылки.
10. Предлагаемые в работе алгоритмы не представлены в формальном виде (на языке блок-схем, ведущей линии или иным образом). Даётся лишь их описание.
11. Автором не выдерживается терминологическое единство. Предлагаемое решение задачи где-то называется алгоритмом, где-то методом (стр. 80, 81).
12. Название предлагаемого «линейного метода оценивания состояния взвешенного по измерениям» и его английского сокращенного обозначения «MWLSE» представляются неудачными.

### **13. Соответствие диссертации критериям Положения о присуждении учёных степеней в УрФУ**

Диссертационная работа Семененко С.И. отвечает требованиям Положения о присуждении учёных степеней ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»:

п.9. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой автором предложено новое научно обоснованное решение задачи выбора состава и мест размещения устройств векторного измерения напряжений и токов в электрических сетях, обеспечивающих высокую техническую и экономическую эффективность расчета и оценивания режимов электроэнергетических систем.

п.10. Диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку. В диссертации представлены сведения о практической полезности результатов и рекомендации по использованию научных выводов.

п.11,13. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях: 8 статей в изданиях, рекомендованных ВАК.

п.14. Диссертация не содержит заимствованного материала без ссылки на автора и (или) источник заимствования. Диссертационное исследование не содержит результатов научных работ, выполненных в соавторстве, без ссылок на соавторов.

#### **14. Общее заключение**

Совокупность выполненных исследований и их результаты доказывают решение актуальной задачи, имеющей большое научное и практическое значение для современной электроэнергетики.

Сделанные замечания не снижают научной и практической значимости результатов диссертационной работы и носят характер уточнений и пожеланий.

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что диссертационная работа «Разработка алгоритмов размещения синхронизированных векторных измерений для повышения эффективности оценивания состояния ЭЭС» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и содержащей значимые научные и практические результаты, а её автор, Семененко Сергей Игоревич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Официальный оппонент,  
профессор кафедры «Автоматизированные  
электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО  
«Новосибирский государственный  
технический университет»,  
доктор технических наук по специальности  
05.14.02 – Электрические станции и  
электроэнергетические системы, профессор

Фишов  
Александр  
Георгиевич

23.10.2019

Сведения:

**Полное наименование организации:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет».

**Юридический адрес:** 630073, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.

**Телефон:** 8 (383) 346-13-34

**Эл. адрес:** [fishov@corp.nstu.ru](mailto:fishov@corp.nstu.ru)

**Должность:** профессор кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы»

**Ф.И.О.:** Фишов Александр Георгиевич

Подпись А.Г. Фишова удостоверяю



 О. К. Пустовалова