

ОТЗЫВ

официального оппонента **Колосок Ирины Николаевны**

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

На отзыв представлены: диссертационная работа, состоящая из введения, четырех глав с выводами, заключения, библиографического списка из 109 наименований.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Управление режимами электроэнергетической системы (ЭЭС) ввиду сложности объекта управления может осуществляться только с использованием математической модели энергосистемы, для формирования которой используются методы расчета установившегося режима (УР) и оценивания состояния (ОС). На базе полученной модели текущего режима ЭЭС решаются задачи оперативного и противоаварийного управления, поэтому методы ее формирования должны обеспечивать высокую точность результатов и высокое быстродействие. До недавнего времени для решения этих задач в основном использовались телеметрические измерения (ТИ), поступающие от SCADA. К недостаткам SCADA систем можно отнести недостаточный объем ТИ, задержки в их доставке, отсутствие высокоточной синхронизации измерений по астрономическому времени. Рассчитанный по таким данным режим «отстает» от текущего режима ЭЭС и является лишь его аппроксимацией, что может привести к ошибкам при управлении.

Создание и внедрение технологии WAMS (Wide-Area Measurement Systems) в ЭЭС развитых стран, основным измерительным оборудованием которых являются приборы для измерения комплексных электрических величин – PMU, дает возможность контролировать состояние ЭЭС синхронно и с высокой точностью. В России в 2005 г приступили к созданию российского аналога WAMS - Системы мониторинга переходных режимов (СМПР) на базе синхронизированных векторных измерений (СВИ). Полученные от СМПР синхронизированные измерения тока и напряжения и их производные составляют основу инструментов нового качества для расчета УР и ОС ЭЭС и анализа их режимов.

Во многих зарубежных странах пошли по пути оснащении ЭЭС устройствами PMU для обеспечения полной наблюдаемости схемы по СВИ. Это дает возможность выполнять для таких схем линейное оценивание состояния (ЛОС), обеспечивающее высокое быстродействие и точность оценок. В нашей стране из-за большой протяженности ЭЭС такое решение пока неприемлемо. В настоящее время

обеспеченность ЕЭС России датчиками СВИ пока такова, что обеспечивает полную наблюдаемость по СВИ лишь отдельные локальные области, поэтому актуальной задачей является развитие методов расчета УР и ОС по данным SCADA и PMU одновременно. Эффективность алгоритмов ОС при совместном использовании данных SCADA и PMU во многом определяется оптимальной расстановкой PMU с точки зрения критериев, улучшающих свойства решения задачи ОС: обеспечение наблюдаемости, отсутствие критических измерений и критических групп, максимальная точность решения и др. Вместе с тем, в этой области еще много нерешенных проблем, связанных с комплексным подходом к расстановке измерительных устройств для обеспечения оптимальных свойств решения задач расчета режимов ЭЭС в условиях ограниченных экономических возможностей. Поэтому тема диссертационной работы, посвященная разработке алгоритмов расстановки устройств PMU для обеспечения высокой точности результатов расчета УР и ОС ЭЭС и скорости получения решения при минимальном количестве PMU **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 имитационных расчетов с помощью разработанных автором экспериментальных программ на традиционных тестовых моделях энергосистем, используемых в мировой практике, и на моделях реальных энергосистем. Качество полученных результатов оценивалось путем сопоставления результатов с эталонными режимами, полученными по программе “RastrWin3”. 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 задачи расстановки PMU при совместном использовании СВИ и ТИ SCADA для ОС ЭЭС выполнено много исследований и разработано большое количество методов и алгоритмов. Задача автора состояла в анализе проблем, связанных с высокими требованиями к информационному обеспечению задач управления ЭЭС при

появлении новых технических средств и технологий, и разработке методов, позволяющих их решить. Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Предложен способ преобразования нелинейной системы уравнений установившегося режима, который позволяет решать её прямым методом без использования итераций для модели переменного тока, что может быть использовано во многих задачах электроэнергетики.
2. На основе разработанного способа преобразования системы уравнений установившегося режима разработаны алгоритмы расстановки PMU, обеспечивающие безытерационный расчёт параметров режима по данным телеметрии SCADA и СВИ и высокую точность полученных результатов.
3. Проведены исследования влияния погрешностей измерений на точность оценок параметров режима, получаемых в результате безытерационного расчёта, которые позволили обоснована область применения предлагаемых подходов.
4. Разработаны алгоритмы расстановки PMU для двухуровневого оценивания состояния при совместном использовании ТИ SCADA и СВИ, которые позволяют сформировать «каркас» схемы, наблюдаемый по СВИ и обеспечивающий высокую точность результатов ОС.
5. Предложен способ выбора весовых коэффициентов и матрицы ковариации при ОС методом взвешенных наименьших квадратов для учёта измерений электрического угла, обеспечивающий повышение точности линейной ОС.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Применение разработанных в диссертационной работе методов и алгоритмов расстановки PMU при совместном использовании СВИ и ТИ SCADA для ОС ЭЭС и расчета УР позволяет существенно повысить скорость расчета и точность полученных результатов, столь необходимые для решения задач оперативного и противоаварийного управления ЭЭС, а также вносят заметный вклад в развитие и совершенствование системы информационного обеспечения задач диспетчерского управления ЭЭС различного уровня в условиях создания СМПР в России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ

Диссертационная работа Семененко С.И. в полном объеме отвечает критериям, которые установлены Положением о присуждении ученых степеней ФГАОУ ВО

«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». В ней соблюдены следующие принципы соответствия:

1. Указанная диссертантом *цель работы* – разработка методов и подходов для оптимизации состава устройств высокоточных синхронизированных векторных (PMU) и традиционных (SCADA) систем измерений, обеспечивающих увеличение точности и скорости оценивания состояния ЭЭС и учитывающих технико-экономический характер задачи развития информационных систем – *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 Семененко С. И., изданные в период с 2014 по 2019 гг., *соответствуют диссертационной работе* и с достаточной полнотой отражают ее суть, основные результаты и выводы.

5. *Тема и содержание* диссертации Семененко С. И. *соответствует паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.*

Диссертационная работа Семененко С. И. написана доступным языком, корректным в научном и техническом отношениях. Материалы и результаты исследований изложены в объеме, достаточном для понимания, четко, доступно и репрезентативно. Результаты, полученные диссидентом, являются вкладом в теорию расчета установившихся режимов и оценивания состояния ЭЭС.

ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

1. В работе на стр.58 указано, что погрешность измерения узловой нагрузки принимается равной +/- 0,1%. В настоящее время ТИ токов и узловых мощностей (кроме ТИ генерации) имеют существенно большие погрешности, так в табл. 7 (стр.85) погрешности измерений мощности от SCADA приняты равными +/- 5%. Кроме того, во многих узлах отсутствуют ТИ нагрузок, нагрузки задаются в виде псевдоизмерений, погрешности которых еще выше. Такие погрешности могут существенно исказить расчетные значения узловых напряжений, особенно при расчете УР, поскольку в этой задаче погрешности измерений не фильтруются. Как это учитывается в работе?

2. В работе часто используется термин «достоверизация»: на стр.57 «определение параметров установившегося режима проводится без достоверизации», на стр.60: «Второй путь, связанный с достоверизацией информации, как показано ниже, является вполне реализуемым...», стр.66 «формулирование единой оптимизационной задачи, где достоверизации подвергается информация как устройств СВИ, так и SCADAM» и т.д. Судя по этим фразам, под достоверизацией понимается основная функция задачи ОС – фильтрация погрешностей измерений, что не вполне корректно. Под достоверизацией при ОС понимается проверка достоверности измерений с целью выявления в них грубых ошибок, как и в теории измерений, где сказано, что «Достоверизация измерений – это выявление как внезапных, так и постепенных (функциональных) отказов». Аналогично термин «достоверизация» всегда использовался в работах кафедры АЭС УрФУ, например в работах Е.Н. Бегаловой, Е.С. Кочневой и др.
3. В табл.1 приведены данные по погрешностям СВИ, полученным по приборам разных производителей. Далее, в табл.2 эти погрешности показаны для СВИ, выполненных с помощью оптических измерительных трансформаторов (ОТТ и ОТН). Вызывает сомнение: 1) большие значения погрешностей синхронизации (до 50 мксек), 2) действительно ли данные из табл.1 относятся к СВИ, полученным с помощью ОТТ и ОТН, поскольку табл.1 достаточно старая (около 2009г.), а ОТТ и ОТН, по утверждению автора появились сравнительно недавно?
4. На стр. 37 рис.1.9 и в выводах к 1 главе речь идет об алгоритме расстановке PDC, правильнее было бы назвать эти устройства многоканальными PMU, которые измеряют комплексы узлового напряжения в узлах установки и комплексы токов по отходящим линиям. У PDC или концентраторов данных функции другие: по определению **Стандарта Системного Оператора: концентратор синхронизированных векторных данных (КСВД)** – программно-техническое устройство, выполняющее прием, обработку, хранение и передачу данных синхронизированных векторных измерений.
5. Результаты однократных расчетов при моделировании погрешностей измерений, представленные в разделе 4.4, не являются убедительными, а результаты многократных расчетов (1000) для различных тестовых и реальных схем, представленные в разделе 4.5, носят описательный характер и не проиллюстрированы численным показателем точности расчета (критерий S).
6. По рисункам: В тексте нет ссылки на рис.1.2 и пояснений к нему. Рис. 2.1 полностью идентичен рисунку 1.5.

7. В работе следовало привести список обозначений и аббревиатур. Из-за его отсутствия в тексте довольно часто встречаются разные обозначения, например, во введении линейное оценивание состояния обозначается англоязычной аббревиатурой LSE (Linear State Estimation), в главе 4 – русскоязычной ЛОС; комплексы узловых напряжений в первой главе обозначаются как \dot{V} , во 2 главе как \dot{U} , в 3 главе и так и так.
8. В работе речь идет о Методе взвешенных наименьших квадратов, который чаще всего используется для решения задачи ОС и для которого в диссертации подбираются весовые коэффициенты. Но в тексте часто встречается название Метод наименьших квадратов, это некорректно.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертационная работа Семененко С. И. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней решена важная научно-техническая задача отраслевого значения – разработаны и опробованы на реальных схемах методы и алгоритмы размещения синхронизированных векторных измерений для повышения эффективности оценивания состояния 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 информационному обеспечению задач 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 18 публикаций, 8 из них в изданиях, рекомендованных ВАК. 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 в УрФУ», а соискатель Семененко Сергей Игоревич 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

22.10.2019

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:

